



(10) **DE 10 2013 012 507 B4** 2016.06.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 012 507.3**
(22) Anmeldetag: **26.07.2013**
(43) Offenlegungstag: **29.01.2015**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **16.06.2016**

(51) Int Cl.: **G01L 1/22 (2006.01)**
G01L 1/26 (2006.01)
G01L 25/00 (2006.01)
G01L 1/06 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 64293
Darmstadt, DE**

(74) Vertreter:
Staudte, Ralph, Dipl.-Ing., 81541 München, DE

(72) Erfinder:
**Jäger, Andreas, 64753 Brombachtal, DE; Will,
Heinz-Ronald, 64665 Alsbach-Hähnlein, DE;
Schlachter, Werner, 64380 Roßdorf, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	44 16 442	A1
GB	2 162 322	A
US	6 253 626	B1
US	2005 / 0 081 652	A1
US	4 733 571	A
EP	0 800 064	B1

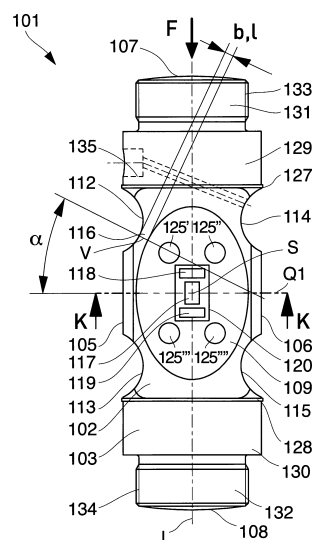
(54) Bezeichnung: **Stabförmiger Kraftaufnehmer mit vereinfachtem Abgleich**

(57) Hauptanspruch: Kraftaufnehmer (101; 201; 301; 401; 501) zur Messung von Druck- und/oder Zugkräften, mit: einem stabförmigen Verformungskörper (102; 202; 302; 402; 502), der zumindest eine vordere Seite (103; 203; 303; 403; 503), eine hintere Seite (104; 204; 304; 404; 504), eine linke Seite (105; 205; 305; 405; 505), eine rechte Seite (106; 206; 306; 406; 506), eine obere Stirnseite (107; 207; 307; 407; 507) und eine untere Stirnseite (108; 208; 308; 408; 508) aufweist; und

zumindest vier Dehnungsaufnehmern (117, 118, 119, 121, 122, 123; 217, 218, 219, 221, 222, 223; 317, 318, 319, 321, 322, 323; 417, 418, 419, 421, 422, 423; 517, 518, 519, 521, 522, 523), die an dem Verformungskörper (102; 202; 302; 402; 502) angebracht und zur Messung einer Längsdehnung und einer Querdehnung des Verformungskörpers (102; 202; 302; 402; 502) eingerichtet sind, wobei an der vorderen Seite (103; 203; 303; 403; 503) eine vordere längliche Ausnehmung (109; 209; 309; 409; 509) im Bereich eines Schnittpunkts (S) zwischen einer zentralen Längsachse (L) und einer zentralen Querachse (Q1) des Verformungskörpers (102; 202; 302; 402; 502) vorgesehen ist und dieser gegenüberliegend an der hinteren Seite (104; 204; 304; 404; 504) eine hintere längliche Ausnehmung (110; 210; 310; 410; 510) vorgesehen ist,

an der linken Seite (105; 205; 305; 405; 505) zumindest eine linke obere Einkerbung (112; 212; 312; 412; 512) oberhalb der zentralen Querachse (Q1) und eine linke untere Einkerbung (113; 213; 313; 413; 513) unterhalb der zentralen Querachse (Q1) vorgesehen sind sowie diesen Einkerbungen jeweils gegenüberliegend an der rechten Seite

(106; 206; 306; 406; 506) zumindest eine rechte obere Einkerbung (114; 214; 314; 414; 514) und eine rechte untere Einkerbung (115; 215; 315; 415; 515) vorgesehen sind, und ein Winkel (α) zwischen der zentralen Querachse (Q1) und einer kürzesten Verbindungslinie (V) zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung (109; 209; 309; 409; 509) und der linken oberen Einkerbung (112; 212; 312; 412; 512) nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen stabförmigen Kraftaufnehmer, der sich leichter abgleichen lässt als bekannte stabförmige Kraftaufnehmer.

[0002] Es sind stabförmige Kraftaufnehmer bekannt, bei denen jeweils mit Hilfe von an einem stabförmigen Messkörper bzw. Verformungskörper angebrachten Dehnungsaufnehmern eine Längsdehnung und eine Querdehnung des Verformungskörpers erfasst werden. Aus den durch die Dehnungsaufnehmer erzeugten elektrischen Signalen kann daraufhin eine zu messende Kraft ermittelt werden. Wenn sie zum Aufbau von Waagen vorgesehen sind, werden solche Kraftaufnehmer auch als Wägezellen bezeichnet.

[0003] Bei einem stabförmigen Kraftaufnehmer der beschriebenen Art ist ein aufwendiger Abgleich erforderlich, der auch als Rotationsabgleich bezeichnet wird. Dadurch soll fertigungsbedingten Toleranzen bei dem Verformungskörper oder den Dehnungsaufnehmern entgegengewirkt und der Kraftaufnehmer unempfindlicher gegen Seiten- oder Querkrafteinflüsse und damit gegen Änderungen in der Krafteinleitung gemacht werden.

[0004] Der Rotationsabgleich wird folgendermaßen durchgeführt. Ein Ende des stabförmigen Kraftaufnehmers wird in einer Halteeinrichtung eingespannt. Der Kraftaufnehmer wird an seinem anderen Ende durch eine Belastungseinrichtung belastet. Dieser Vorgang wird nach einer jeweiligen Drehung der Halteeinrichtung mitsamt dem eingespannten Kraftaufnehmer um 90° noch dreimal wiederholt. Aus den Messwerten des Kraftaufnehmers in den verschiedenen Drehstellungen wird darauf geschlossen, ob ein Abgleich erforderlich ist. Falls dem so ist, wird der Kraftaufnehmer erneut mehrmals gedreht und ein mechanischer Abgleich durch Materialabtrag und/oder ein elektrischer Abgleich vorgenommen. Alternativ kann der Abgleich auch durchgeführt werden, indem nicht der Kraftaufnehmer gedreht wird, sondern die Belastungseinrichtung. In diesem Fall werden für den mechanischen Abgleich mehrere Materialabtragungseinrichtungen oder eine drehbare Materialabtragungseinrichtung benötigt.

[0005] Der Rotationsabgleich erfordert immer mehrere Drehungen und Belastungen. Daher ist die Durchführung des Rotationsabgleichs aufwendig.

[0006] In der EP 0 800 064 B1 ist ein stabförmiger Kraftaufnehmer der vorstehend beschriebenen Art erläutert und der für ihn vorgenommene Rotationsabgleich erwähnt. In der DE 44 16 442 A1 ist der Rotationsabgleich näher beschrieben.

[0007] Selbst nach einem derartigen Rotationsabgleich besteht durch den folgenden Effekt die Gefahr einer Verfälschung der Messergebnisse. Wenn über die Krafteinleitungsflächen an den stirnseitigen Enden des Verformungskörpers eine Kraft nicht völlig koaxial zu der Längsachse des stabförmig ausgebildeten Verformungskörpers eingeleitet wird und/oder zusätzliche Querkräfte wirken, so verformt sich der Verformungskörper in der Richtung quer zu der Längsachse nicht gleichmäßig, sondern einseitig. Mit anderen Worten neigt sich der Verformungskörper nach einer Seite und verformt sich nicht koaxial zu seiner Längsachse, wodurch die Kraftlinien nicht mehr in der gewünschten Weise verlaufen. Dies führt zu einer Verfälschung der Messergebnisse.

[0008] Neben dem Rotationsabgleich wird z. B. auch noch ein Temperaturabgleich durchgeführt, so dass bei den bekannten stabförmigen Kraftaufnehmern der vorstehend beschriebenen Art insgesamt mehrere Abgleichmaßnahmen durchzuführen sind.

[0009] Aus der GB 2 162 322 A ist auch ein stabförmiger Kraftaufnehmer mit einem zylindrischen Stauchkörper, auf dessen Stirnflächen eine zu erfassende Kraft einwirkt, bekannt. Er weist zwei längs zur Krafrichtung ausgerichtete und einander gegenüberliegende Langlöcher auf, deren Grundflächen einen Steg bilden, auf den längs und quer zur Krafrichtung angeordnete Dehnungsmessstreifen aufgebracht sind. Der Steg weist in Krafrichtung vor und hinter den Dehnungsmessstreifen jeweils eine durchgehende Bohrung auf. Bedingt durch die zwei Bohrungen verlaufen bei Einwirkung einer Kraft die Kraftlinien seitlich neben den beiden Bohrungen vorbei. Dadurch wird auch die Kraftlinienverteilung in der Mitte des Stauchkörpers, wo sich die Dehnungsmessstreifen befinden, zunehmend inhomogener. Es verlaufen umso weniger Kraftlinien durch den zwischen den Dehnungsmessstreifen liegenden Bereich des Stegs, je größer der Durchmesser der zwei Bohrungen ist und je geringer deren Abstand von den Dehnungsmessstreifen ist. Die Empfindlichkeit des Kraftaufnehmers kann erhöht werden, indem die beiden Langlöcher vertieft und/oder verbreitert werden. Sie kann verringert werden, indem der Durchmesser der beiden Bohrungen vergrößert wird.

[0010] Bei dem in dieser GB 2 162 322 A beschriebenen Kraftaufnehmer wird durch Materialabtrag das Messverhalten beeinflusst, um den Messbereich mit linearer Kennlinie zu vergrößern. Dabei wird die Empfindlichkeit des Kraftaufnehmers erhöht, indem die zwei Langlöcher vertieft und/oder verbreitert werden, und verringert, indem der Durchmesser der zwei Bohrungen vergrößert wird. So soll der Messbereich mit linearer Kennlinie sehr genau eingestellt werden. Dies ist ein iterativer und aufwendiger Vorgang.

[0011] Aus der US 2005/0081652 A1 ist ein stabförmiger Kraftaufnehmer bekannt, der einen rechteckigen Querschnitt aufweist. Auf halber Länge des Kraftaufnehmers ist eine Ringstruktur ausgebildet, wodurch oberhalb und unterhalb der Ringstruktur der Querschnitt des Kraftaufnehmers jeweils verringert ist. In der Ringstruktur befindet sich ein dünner Steg, auf dem Dehnungsmessstreifen angebracht sind. Darüber hinaus sind in dem Steg Löcher vorgesehen. Es ist auch eine Variante ohne die Ringstruktur beschrieben, bei der stattdessen gerade Seiten, auf halber Länge des Kraftaufnehmers zwei einander gegenüberliegende kreisrunde Ausnehmungen mit einem dazwischen verbleibenden dünnen Steg sowie oberhalb und unterhalb der kreisrunden Ausnehmungen jeweils zwei einander gegenüberliegende Kerben, durch die der Querschnitt des Kraftaufnehmers dort verringert ist, vorhanden sind. Mit dem beschriebenen Kraftaufnehmer soll die Nichtlinearität in den Dehnungsmessstreifen selbst korrigiert werden.

[0012] Aus der US 6,253,626 B1 ist ein stabförmiger Kraftaufnehmer bekannt, bei dem auf halber Länge eine Ringstruktur mit einem dünnen Steg darin ausgebildet ist, wodurch oberhalb und unterhalb der Ringstruktur der Querschnitt des Kraftaufnehmers jeweils verringert ist. Es sind Dehnungsmessstreifen auf und Löcher in dem dünnen Steg angebracht. Auch auf der Außenseite der Ringstruktur sind Dehnungsmessstreifen angebracht. Mit dem Kraftaufnehmer soll die Genauigkeit der Messung von in Richtung seiner Längsachse wirkenden Kräften gesteigert sowie die zusätzliche Messung von Biege- und Scherkräften ermöglicht werden.

[0013] In der US 4,733,571 ist ein stabförmiger Kraftaufnehmer beschrieben, bei dem mit Hilfe verschiedener Maßnahmen die Linearität des Messergebnisses verbessert werden soll. Auf halber Länge des Kraftaufnehmers befinden sich zwei einander gegenüberliegende Ausnehmungen mit einem dazwischen verbleibenden dünnen Steg, auf dem Dehnungsmessstreifen angebracht sind. Die Ausnehmungen können die Form eines Rechtecks oder eines Langlochs haben. Die Linearität des Messergebnisses soll mittels Abschnitten mit verringertem Querschnitt auf beiden Seiten der Ausnehmungen, mit Hilfe einer Art von Gelenken an beiden Enden, mittels eines über Membrane mit dem Kraftaufnehmer verbundenen Rohrs oder mit Hilfe einer Kombination von mehreren dieser Maßnahmen verbessert werden.

[0014] Es ist die Aufgabe der Erfindung, einen Kraftaufnehmer bereitzustellen, bei dem kein mechanischer Abgleich durch Materialabtrag und/oder elektrischer Abgleich zur Kompensation fertigungsbedingter Toleranzen bei seinem Verformungskörper oder seinen Dehnungsaufnehmern erforderlich ist,

der aber dennoch hochlinear arbeitet und sehr genaue Messergebnisse liefert.

[0015] Diese Aufgabe wird mit dem Kraftaufnehmer nach dem unabhängigen Anspruch 1 gelöst. Vorteilhaftige Weiterbildungen des Kraftaufnehmers sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0016] Nach Anspruch 1 umfasst ein Kraftaufnehmer zur Messung von Druck- und/oder Zugkräften einen stabförmigen Verformungskörper, der zumindest eine vordere Seite, eine hintere Seite, eine linke Seite, eine rechte Seite, eine obere Stirnseite und eine untere Stirnseite aufweist, und zumindest vier Dehnungsaufnehmer, die an dem Verformungskörper angebracht und zur Messung einer Längsdehnung und einer Querdehnung des Verformungskörpers eingerichtet sind. An der vorderen Seite ist eine vordere längliche Ausnehmung im Bereich eines Schnittpunkts zwischen einer zentralen Längsachse und einer zentralen Querachse des Verformungskörpers vorgesehen. Der vorderen länglichen Ausnehmung gegenüberliegend ist an der hinteren Seite eine hintere längliche Ausnehmung vorgesehen. An der linken Seite sind zumindest eine linke obere Einkerbung oberhalb der zentralen Querachse und eine linke untere Einkerbung unterhalb der zentralen Querachse vorgesehen. Diesen Einkerbungen an der linken Seite jeweils gegenüberliegend sind an der rechten Seite zumindest eine rechte obere Einkerbung und eine rechte untere Einkerbung vorgesehen. Ein Winkel zwischen der zentralen Querachse und einer kürzesten Verbindungslinie zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung und der linken oberen Einkerbung ist nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° .

[0017] Die spezielle Ausgestaltung des Verformungskörpers mit den länglichen Ausnehmungen an seiner vorderen und hinteren Seite, den Einkerbungen an seiner linken und rechten Seite sowie einem ganz bestimmten Winkel führt dazu, dass sich der Verformungskörper bei Einwirkung einer zu messenden Druckkraft zu der linken Seite hin und zu der rechten Seite hin symmetrisch ausdehnt. Bei Einwirkung einer zu messenden Zugkraft zieht er sich entsprechend von der linken Seite her und von der rechten Seite her symmetrisch zusammen. Dies gilt jeweils auch bei einer nicht ganz koaxial einwirkenden Kraft und/oder dem Einfluss von zusätzlichen Querkräften.

[0018] Die symmetrische Verformung wird dadurch erreicht, dass zwischen den länglichen Ausnehmungen und den Einkerbungen, die in einer ganz bestimmten Art und Weise angeordnet sind, jeweils nur ein dünner Steg verbleibt. Dadurch wird eine Art von „Gelenkwirkung“ erzielt, die zu der symmetrischen Verformung führt.

[0019] Dieser Effekt tritt dann besonders deutlich auf, wenn der Winkel zwischen der zentralen Querachse und der kürzesten Verbindungslinie nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° ist. Dies gilt unabhängig von einer Nennlast des Kraftaufnehmers.

[0020] Somit ist der Kraftaufnehmer nach seiner Herstellung auch ohne einen mechanischen Abgleich durch Materialabtrag und/oder elektrischen Abgleich zur Kompensation fertigungsbedingter Toleranzen bei dem Verformungskörper oder den Dehnungsaufnehmern, insbesondere ohne einen Rotationsabgleich, unempfindlich gegen Störkrafteinflüsse. Dadurch kann auf eine aufwendige Abgleichmaßnahme verzichtet werden und der Kraftaufnehmer lässt sich leichter abgleichen. Er weist zudem eine hohe Linearität und Messgenauigkeit auf, die bei normalen Anforderungen an die Messgenauigkeit völlig ausreichend sind. Dies trifft unabhängig von der Nennlast des Kraftaufnehmers immer zu, wenn die vorstehend beschriebenen Merkmale vorhanden sind.

[0021] Nach Anspruch 2 sind die länglichen Ausnehmungen jeweils im Wesentlichen ellipsenförmig ausgebildet.

[0022] Bei einer ellipsenförmigen oder annähernd ellipsenförmigen Gestaltung der länglichen Ausnehmungen sind sie durchgängig konvex ausgebildet. Wenn die Einkerbungen ebenfalls durchgängig konvex ausgebildet sind, ist dann jeweils genau eine dünnste Stelle zwischen Ausnehmung und Einkerbung vorhanden. Dies begünstigt die symmetrische Verformung des Verformungskörpers sowohl bei Einwirkung einer zu messenden Druckkraft als auch bei Einwirkung einer zu messenden Zugkraft. Zudem lassen sich die im Wesentlichen ellipsenförmigen länglichen Ausnehmungen gut mit einem rotationssymmetrischen Werkzeug herstellen.

[0023] Nach Anspruch 3 sind die Einkerbungen jeweils im Wesentlichen teilkreisförmig ausgebildet.

[0024] Bei einer teilkreisförmigen oder annähernd teilkreisförmigen Gestaltung der Einkerbungen sind sie durchgängig konvex ausgebildet. Wenn die länglichen Ausnehmungen ebenfalls durchgängig konvex ausgebildet sind, ist dann jeweils genau eine dünnste Stelle zwischen Ausnehmung und Einkerbung vorhanden. Dies begünstigt wiederum die symmetrische Verformung des Verformungskörpers sowohl bei Einwirkung einer zu messenden Druckkraft als auch bei Einwirkung einer zu messenden Zugkraft. Zudem lassen sich auch die im Wesentlichen teilkreisförmigen Einkerbungen gut mit einem rotationssymmetrischen Werkzeug herstellen.

[0025] Nach Anspruch 4 sind die vordere längliche Ausnehmung und die hintere längliche Ausnehmung jeweils bezüglich des Schnittpunkts zentriert ange-

ordnet. Zudem sind die linke obere Einkerbung und die linke untere Einkerbung sowie die rechte obere Einkerbung und die rechte untere Einkerbung jeweils bezüglich der zentralen Querachse symmetrisch angeordnet.

[0026] Die zentrierte Anordnung der länglichen Ausnehmungen und die symmetrische Anordnung der Einkerbungen führen dazu, dass sich Kraftlinien einer zu messenden Druckkraft oder Zugkraft gleichmäßig in dem Verformungskörper verteilen. Dadurch verformt sich auch der Verformungskörper gleichmäßig.

[0027] Nach Anspruch 5 sind in der vorderen länglichen Ausnehmung zumindest vier vordere Ausnehmungen vorgesehen und diesen jeweils gegenüberliegend in der hinteren länglichen Ausnehmung zumindest vier hintere Ausnehmungen vorgesehen, wobei es sich jeweils um durchgehende oder nicht durchgehende Ausnehmungen handeln kann.

[0028] Durch die vorderen und hinteren Ausnehmungen wird die symmetrische Verformung des Verformungskörpers in der gewünschten Art und Weise unterstützt.

[0029] Nach Anspruch 6 liegt bei einer Kraftmessung das Verhältnis zwischen der Querdehnung und der Längsdehnung zwischen 55% und 72%.

[0030] Mit diesem Verhältnis zwischen der Querdehnung und der Längsdehnung, das deutlich von dem üblichen Verhältnis zwischen der Querdehnung und der Längsdehnung von ca. 30% für aus Metall bestehende Kraftaufnehmer wie beispielsweise den in der EP 0 800 064 B1 beschriebenen Kraftaufnehmer abweicht, werden bei der speziellen Ausgestaltung des Verformungskörpers die besten Messergebnisse erzielt.

[0031] Nach Anspruch 7 sind in der vorderen länglichen Ausnehmung zumindest zwei vordere Dehnungsaufnehmer angeordnet und in der hinteren länglichen Ausnehmung zumindest zwei hintere Dehnungsaufnehmer angeordnet. Einer der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer der hinteren Dehnungsaufnehmer ist bezüglich des Schnittpunkts zentriert angeordnet und zur Messung der Längsdehnung eingerichtet. Einer der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer der hinteren Dehnungsaufnehmer ist bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Längsachse verlaufenden und die zentrale Querachse umfassenden Mittelebene außermittig angeordnet und zur Messung der Querdehnung eingerichtet.

[0032] Durch die Zentrierung der Dehnungsaufnehmer für die Messung der Längsdehnung bezüglich des Schnittpunkts sind diese jeweils an der Stelle angeordnet, wo sie die besten Messergebnisse lie-

fern. Die außermittige Anordnung der Dehnungsaufnehmer für die Messung der Querdehnung, die nicht ebenfalls jeweils an dieser Stelle angeordnet werden können, hat einen geringen Einfluss auf den von dem Kraftaufnehmer ausgegebenen Messwert. Ihre Messergebnisse tragen weniger zu dem ausgegebenen Messwert bei als die Messergebnisse der Dehnungsaufnehmer für die Messung der Längsdehnung.

[0033] Nach Anspruch 8 sind in der vorderen länglichen Ausnehmung zumindest drei vordere Dehnungsaufnehmer angeordnet und in der hinteren länglichen Ausnehmung zumindest drei hintere Dehnungsaufnehmer angeordnet. Einer der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer der hinteren Dehnungsaufnehmer ist bezüglich des Schnittpunkts zentriert angeordnet und zur Messung der Längsdehnung eingerichtet. Zwei der vorderen Dehnungsaufnehmer und zwei der hinteren Dehnungsaufnehmer sind bezüglich der zentralen Querachse symmetrisch oberhalb und unterhalb derselben angeordnet und zur Messung der Querdehnung eingerichtet.

[0034] Durch die Zentrierung der Dehnungsaufnehmer für die Messung der Längsdehnung bezüglich des Schnittpunkts sind diese jeweils an der Stelle angeordnet, wo sie die besten Messergebnisse liefern. Die symmetrische Anordnung von jeweils zwei vorderen und hinteren Dehnungsaufnehmern für die Querdehnung ermöglicht es, durch die außermittige Anordnung dieser Dehnungsaufnehmer bedingte Abweichungen ihrer Messergebnisse zu kompensieren.

[0035] Nach Anspruch 9 ist der Verformungskörper bezüglich einer durch die zentrale Längsachse und die zentrale Querachse gebildeten ersten Ebene symmetrisch ausgebildet. Zudem ist der Verformungskörper zumindest in einem Bereich, in dem sich die vordere längliche Ausnehmung, die hintere längliche Ausnehmung und die Einkerbungen befinden, auch bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Querachse verlaufenden und die zentrale Längsachse umfassenden zweiten Ebene symmetrisch ausgebildet und bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Längsachse verlaufenden und die zentrale Querachse umfassenden Mittelebene symmetrisch ausgebildet.

[0036] Die zum ganz überwiegenden Teil symmetrische Ausgestaltung des Verformungskörpers begünstigt seine symmetrische Verformung.

[0037] Nach Anspruch 10 besteht der Verformungskörper aus Stahl, Titan, Aluminium oder Berylliumkupfer.

[0038] Die genannten Metalle weisen Materialeigenschaften und insbesondere Querkontraktionszahlen

auf, die das gewünschte Verformungsverhalten des Verformungskörpers ermöglichen.

[0039] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0040] Fig. 1a, Fig. 1b und Fig. 1c einen Kraftaufnehmer **101** gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

[0041] Fig. 2a, Fig. 2b und Fig. 2c einen Kraftaufnehmer **201** gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

[0042] Fig. 3a, Fig. 3b und Fig. 3c einen Kraftaufnehmer **301** gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel;

[0043] Fig. 4a, Fig. 4b und Fig. 4c einen Kraftaufnehmer **401** gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel; und

[0044] Fig. 5a, Fig. 5b und Fig. 5c einen Kraftaufnehmer **501** gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel.

[0045] Fig. 1a zeigt eine Vorderansicht des Kraftaufnehmers **101** gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel, Fig. 1b einen Schnitt K-K durch den Kraftaufnehmer **101** und Fig. 1c eine perspektivische Ansicht des Kraftaufnehmers **101**.

[0046] Der Kraftaufnehmer **101** umfasst einen stabförmigen Verformungskörper **102** aus einem Material wie beispielsweise Stahl, Titan, Aluminium oder Berylliumkupfer. Er kann aus einem Stab mit einem kreisförmigen, quadratischen oder anderen Querschnitt herausgearbeitet sein, z. B. aus einem Stück Rundstahl oder Rechteckstahl. Die folgende Beschreibung geht davon aus, dass der Verformungskörper auf einem zylindrischen Stab basiert und selber eine zylindrische Grundform hat wie in den Zeichnungen dargestellt. Es sind jedoch auch andere Varianten möglich, bei denen der Verformungskörper **102** dann auch mehr Seiten als die im Folgenden beschriebenen Seiten aufweisen kann.

[0047] Der Verformungskörper **102** weist eine zentrale Längsachse L auf, die in der in Fig. 1a gezeigten Vorderansicht vertikal verläuft. Er weist auch eine erste zentrale Querachse Q1 auf, die orthogonal zu der zentralen Längsachse L angeordnet ist und in der in Fig. 1a gezeigten Vorderansicht horizontal verläuft. Eine zweite zentrale Querachse Q2 des Verformungskörpers **102**, die orthogonal zu der zentralen Längsachse L und der ersten zentralen Querachse Q1 angeordnet ist, würde in der in Fig. 1a gezeigten Vorderansicht in die Bildebene hinein verlaufen und ist in Fig. 1b gezeigt. Die zentrale Längsachse

L sowie die beiden zentralen Querachsen Q1 und Q2 verlaufen alle durch einen gemeinsamen Schnittpunkt S und jeweils orthogonal zueinander. Sie bilden drei Ebenen, die ebenfalls jeweils orthogonal zueinander verlaufen. Der Kraftaufnehmer **101** und sein Verformungskörper **102** sind größtenteils bezüglich jeder der drei durch die zentrale Längsachse L sowie die beiden zentralen Querachsen Q1 und Q2 gebildeten bzw. aufgespannten Ebenen symmetrisch, was im Folgenden näher erläutert ist.

[0048] Der Verformungskörper **102** weist eine vordere Seite **103** auf, die in der in **Fig. 1a** gezeigten Vorderansicht frontal dargestellt ist. Er weist auch eine in den Zeichnungen nicht vollständig zu sehende hintere Seite **104** auf, die in **Fig. 1b** zumindest im Querschnitt dargestellt ist. Sie ist zu der in **Fig. 1a** abgebildeten vorderen Seite **103** symmetrisch und sieht in einer frontalen Darstellung wie diese aus. Mit anderen Worten könnte in **Fig. 1a** auch die hintere Seite **104** in einer frontalen Darstellung gezeigt sein, wenn sie mit anderen Bezugszeichen versehen wäre. Der Verformungskörper **102** weist weiterhin eine in **Fig. 1a** links befindliche linke Seite **105**, eine in **Fig. 1a** rechts befindliche rechte Seite **106**, eine in **Fig. 1a** oben befindliche obere Stirnseite **107** und eine in **Fig. 1a** unten befindliche untere Stirnseite **108** auf.

[0049] Die obere Stirnseite **107** und die untere Stirnseite **108** bilden jeweils eine Krafteinleitungsfläche, über die eine zu messende Kraft F bzw. eine entsprechende Gegenkraft eingeleitet werden können. Die obere Stirnseite **107** und die untere Stirnseite **108** sind vorzugsweise sphärisch und bezüglich der zentralen Längsachse L zentriert ausgebildet. Die obere Stirnseite **107** oder die untere Stirnseite **108** kann aber beispielsweise auch eben ausgebildet sein. Es können auch sowohl die obere Stirnseite **107** als auch die untere Stirnseite **108** eben ausgebildet sein.

[0050] Wie es in **Fig. 1b** angedeutet und in **Fig. 1c** gut zu erkennen ist, wurde bei der Herausarbeitung des Verformungskörpers **102** aus dem zylindrischen Stab, auf dem er basiert, in seinem in Längsrichtung mittleren Bereich vorne und hinten Material abgetragen, so dass die vordere Seite **103** und die hintere Seite **104** in diesem mittleren Bereich jeweils abgeflacht bzw. eben ausgebildet sind. Am oberen und unteren Ende des Verformungskörpers **102** wurde jeweils die zylindrische Grundform beibehalten, jedoch der Durchmesser in mehreren Stufen verändert, worauf nachstehend noch näher eingegangen ist.

[0051] Wie besonders in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** gut zu sehen ist, weist der Verformungskörper **102** an seiner vorderen Seite **103** eine vordere längliche Ausnehmung **109** auf, die sich in der Richtung der durch die obere Stirnseite **107** und die untere Stirnseite **108** verlaufenden zentralen Längsachse L des Verformungskörpers **102** in dem abgeflachten Bereich

der vorderen Seite **103** erstreckt. Sie weist an ihrem oberen Ende und ihrem unteren Ende noch einen deutlichen Abstand zu dem Rand des abgeflachten Bereichs der vorderen Seite **103** auf, während sie an ihrem linken Ende und ihrem rechten Ende erst kurz vor diesem Rand endet. Anders ausgedrückt verläuft die Hauptachse der vorderen länglichen Ausnehmung **109** in der Richtung der zentralen Längsachse L und ihre Nebenachse in der Richtung der ersten zentralen Querachse Q1, wobei ihre Hauptscheitel ihr oberes und unteres Ende bilden sowie ihre Nebenscheitel ihr linkes und rechtes Ende bilden.

[0052] An seiner hinteren Seite **104** weist der Verformungskörper **102** eine hintere längliche Ausnehmung **110** auf, die in den Zeichnungen nicht vollständig zu sehen ist, aber in **Fig. 1b** zumindest im Querschnitt dargestellt ist. Sie liegt der vorderen länglichen Ausnehmung **109** gegenüber, weist die gleiche Form wie diese auf und befindet sich in dem abgeflachten Bereich der hinteren Seite **104**. Mit anderen Worten könnte in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** auch die hintere längliche Ausnehmung **110** gezeigt sein, wenn sie mit anderen Bezugszeichen versehen wären.

[0053] Die beiden länglichen Ausnehmungen **109** und **110** befinden sich jeweils in der Mitte des Verformungskörpers **102**, das heißt im Bereich des Schnittpunkts S zwischen der zentralen Längsachse L, der von der linken Seite **105** zu der rechten Seite **106** verlaufenden ersten zentralen Querachse Q1 und der von der vorderen Seite **103** zu der hinteren Seite **104** verlaufenden zweiten zentralen Querachse Q2. Genauer gesagt sind die beiden länglichen Ausnehmungen **109** und **110** jeweils bezüglich des Schnittpunkts S zentriert angeordnet. Jede der länglichen Ausnehmungen **109** und **110** ist vorzugsweise ellipsenförmig ausgebildet. Es sind jedoch auch andere längliche Formen wie beispielsweise eine Langlochform oder die nachstehend im Zusammenhang mit dem fünften Ausführungsbeispiel beschriebene Form möglich.

[0054] Wie in **Fig. 1b** gut zu erkennen ist, verbleibt zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und der hinteren länglichen Ausnehmung **110** ein mittlerer Steg **111**, auf dem wie nachstehend näher erläutert Dehnungsaufnehmer appliziert sind. Eine Grundfläche an dem unteren Ende der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und eine Grundfläche an dem unteren Ende der hinteren länglichen Ausnehmung **110**, die jeweils eine Seite des mittleren Stegs **111** bilden, sind vorzugsweise planparallel.

[0055] Eine Tiefe der länglichen Ausnehmungen **109** und **110** und damit eine Dicke d des zwischen ihnen verbleibenden mittleren Stegs **111** sind im Hinblick darauf gewählt, für welche Nennlast der Kraftaufnehmer **101** ausgelegt ist. Das erste Ausführungsbeispiel geht von einer relativ niedrigen Nennlast wie beispielsweise 7500 kg aus, so dass die Dicke d des

mittleren Stegs **111** in diesem Fall vergleichsweise gering ist. Bei höheren Nennlasten ist die Dicke d entsprechend größer, um die dann höheren Anforderungen an die Stabilität des Verformungskörpers **102** zu erfüllen.

[0056] Wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** gut zu sehen ist, weist der Verformungskörper **102** an seiner linken Seite **105** eine linke obere Nut bzw. Einkerbung **112**, die sich oberhalb der ersten zentralen Querachse $Q1$ befindet, und eine linke untere Nut bzw. Einkerbung **113**, die sich unterhalb der ersten zentralen Querachse $Q1$ befindet, auf. Weiterhin sind an der rechten Seite **106** des Verformungskörpers **102** eine rechte obere Nut bzw. Einkerbung **114**, die sich oberhalb der ersten zentralen Querachse $Q1$ befindet und der linken oberen Einkerbung **112** gegenüberliegt, und eine rechte untere Nut bzw. Einkerbung **115**, die sich unterhalb der ersten zentralen Querachse $Q1$ befindet und der linken unteren Einkerbung **113** gegenüberliegt, vorgesehen. Es sind auch Varianten mit mehr als zwei Einkerbungen pro Seite vorstellbar.

[0057] Die linken Einkerbungen **112** und **113** weisen beide den gleichen Abstand zu der ersten zentralen Querachse $Q1$ bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse $Q2$ gebildeten Ebene auf, d. h. sie sind bezüglich der ersten zentralen Querachse $Q1$ bzw. dieser Ebene symmetrisch angeordnet. Das Gleiche gilt auch für die rechten Einkerbungen **114** und **115**. Jede der Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** ist vorzugsweise teilkreisförmig ausgebildet, kann jedoch auch eine andere Form wie beispielsweise die eines Ellipsenabschnitts aufweisen. Bei dem Kraftaufnehmer **101** gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel erstreckt sich jede der Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** bis in den abgeflachten Bereich der vorderen Seite **103** und den abgeflachten Bereich der hinteren Seite **104** hinein.

[0058] Zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und den Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** verbleibt ebenso wie zwischen der hinteren länglichen Ausnehmung **110** und den Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** jeweils ein Steg, der an seiner dünnsten Stelle eine Breite b aufweist. Dies ist in **Fig. 1a** beispielhaft für die vordere längliche Ausnehmung **109**, die linke obere Einkerbung **112** und den Steg **116** zwischen ihnen dargestellt, gilt jedoch aufgrund der weitgehend symmetrischen Ausgestaltung des Verformungskörpers **102** entsprechend auch für die anderen Einkerbungen **113**, **114** und **115** sowie die hintere längliche Ausnehmung **110**. Mit anderen Worten ist zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und jeder der Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** sowie zwischen der hinteren länglichen Ausnehmung **110** und jeder der Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** jeweils ein Steg, der an seiner dünnsten Stelle eine Breite b aufweist, vorhanden.

[0059] Wenn die vordere längliche Ausnehmung **109** und die hintere längliche Ausnehmung **110** strikt konvex bzw. durchgängig konvex ausgebildet sind, d. h. beispielsweise wie vorstehend beschrieben ellipsenförmig sind, sowie die Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** ebenfalls strikt konvex bzw. durchgängig konvex ausgebildet sind, d. h. beispielsweise wie vorstehend beschrieben teilkreisförmig sind, ist jeweils zwischen einer der länglichen Ausnehmungen **109** und **110** sowie einer der Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** genau eine dünnste Stelle vorhanden, an welcher der jeweilige Steg die Breite b aufweist. Somit gibt es jeweils genau eine kürzeste Verbindungslinie mit einer Länge l , die gleich der Breite b des Stegs ist, zwischen länglicher Ausnehmung und Einkerbung. Beispielsweise existiert wie in **Fig. 1a** gezeigt eine kürzeste Verbindungslinie V mit der Länge l zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und der linken oberen Einkerbung **112**.

[0060] Ein Winkel α zwischen der ersten zentralen Querachse $Q1$ und der kürzesten Verbindungslinie V mit der Länge l zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **109** und der linken oberen Einkerbung **112** bzw. einer Verlängerung dieser kürzesten Verbindungslinie V wie in **Fig. 1a** dargestellt beträgt zwischen 17° und 29° , d. h. ist nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° . Dies gilt aufgrund der weitgehend symmetrischen Ausgestaltung des Verformungskörpers **102** entsprechend auch für die hintere längliche Ausnehmung **110** sowie die anderen Einkerbungen **113**, **114** und **115**.

[0061] An der vorderen Seite **103** des Verformungskörpers **102** sind wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** dargestellt ein vorderer mittlerer Dehnungsaufnehmer **117**, ein vorderer oberer Dehnungsaufnehmer **118** und ein vorderer unterer Dehnungsaufnehmer **119** angebracht, die auf einem gemeinsamen Träger oder getrennten Trägern realisiert sein können. In **Fig. 1a** und **Fig. 1c** ist die Variante mit einem vorderen gemeinsamen Träger **120** gezeigt. Ein gemeinsamer Träger bringt die in der EP 0 800 064 B1 beschriebenen Vorteile wie beispielsweise niedrigere Herstellungskosten, einen geringeren Verschaltungsaufwand und eine vereinfachte Anbringung mit sich.

[0062] Der vordere gemeinsame Träger **120** bzw. die vorderen Dehnungsaufnehmer **117**, **118** und **119** sind in der vorderen länglichen Ausnehmung **109** angeordnet. Der vordere mittlere Dehnungsaufnehmer **117** ist zur Messung einer in Richtung der zentralen Längsachse L auftretenden Längsdehnung des Verformungskörpers **102** eingerichtet und bezüglich des Schnittpunkts S zentriert angeordnet. Der vordere obere Dehnungsaufnehmer **118** und der vordere untere Dehnungsaufnehmer **119** sind hingegen zur Messung einer in Richtung der ersten zentralen Querachse $Q1$ auftretenden Querdehnung des Verformungskörpers **102** eingerichtet, bezüglich der

zentralen Längsachse L zentriert positioniert und bezüglich der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse Q2 gebildeten Ebene symmetrisch, d. h. mit gleichem Abstand zu ihnen, oberhalb und unterhalb der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. dieser Ebene angeordnet.

[0063] An der hinteren Seite **104** des Verformungskörpers **102** sind ein hinterer mittlerer Dehnungsaufnehmer **121**, ein hinterer oberer Dehnungsaufnehmer **122** und ein hinterer unterer Dehnungsaufnehmer **123** angebracht, die in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** nicht und in **Fig. 1b** nur teilweise zu sehen sind. Sie entsprechen den vorderen Dehnungsaufnehmern **117**, **118** und **119** und liegen diesen jeweils gegenüber. Sie können ebenso auf einem gemeinsamen Träger oder getrennten Trägern realisiert sein, wobei hier von einem in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** nicht und in **Fig. 1b** im Querschnitt zu sehenden hinteren gemeinsamen Träger **124** ausgegangen wird. In **Fig. 1a** und **Fig. 1c** könnten dementsprechend auch die drei hinteren Dehnungsaufnehmer **121**, **122** und **123** sowie deren hinterer gemeinsamer Träger **124** gezeigt sein, wenn sie mit anderen Bezugszeichen versehen wären.

[0064] Somit sind der hintere gemeinsame Träger **124** bzw. die hinteren Dehnungsaufnehmer **121**, **122** und **123** in der hinteren länglichen Ausnehmung **110** und jeweils gegenüber dem vorderen gemeinsamen Träger **120** bzw. den vorderen Dehnungsaufnehmern **117**, **118** und **119** angeordnet. Der hintere mittlere Dehnungsaufnehmer **121** ist ebenso wie der vordere mittlere Dehnungsaufnehmer **117** zur Messung der in Richtung der zentralen Längsachse L auftretenden Längsdehnung des Verformungskörpers **102** eingerichtet und bezüglich des Schnittpunkts S zentriert angeordnet. Der hintere obere Dehnungsaufnehmer **122** und der hintere untere Dehnungsaufnehmer **123** sind hingegen ebenso wie die vorderen Dehnungsaufnehmer **118** und **119** zur Messung der in Richtung der ersten zentralen Querachse Q1 auftretenden Querdehnung des Verformungskörpers **102** eingerichtet, bezüglich der zentralen Längsachse L zentriert positioniert und bezüglich der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse Q2 gebildeten Ebene symmetrisch, d. h. mit gleichem Abstand zu ihnen, oberhalb und unterhalb der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. dieser Ebene angeordnet.

[0065] Bei den Dehnungsaufnehmern **117**, **118**, **119**, **121**, **122** und **123** kann es sich beispielsweise um elektrische oder optische Dehnungsaufnehmer handeln. So können z. B. die vorderen Dehnungsaufnehmer **117**, **118** und **119** als drei Messgitter auf einer Folie eines Folien-Dehnungsmessstreifens sowie die hinteren Dehnungsaufnehmer **121**, **122** und **123** als drei Messgitter auf einer Folie eines weiteren Folien-

Dehnungsmessstreifens realisiert sein oder auch alle Dehnungsaufnehmer als Bragg-Gitter von optischen Dehnungsmessstreifen realisiert sein.

[0066] Es kann auch eine andere Anzahl von Dehnungsaufnehmern vorgesehen sein. So können beispielsweise sowohl an der vorderen Seite **103** als auch an der hinteren Seite **104** jeweils nur ein Dehnungsaufnehmer zur Messung der Längsdehnung und ein Dehnungsaufnehmer zur Messung der Querdehnung angebracht sein, wie es in der EP 0 800 064 B1 beschrieben ist. Die Dehnungsaufnehmer können in einer Wheatstone'schen Brückenschaltung miteinander verschaltet sein. Zudem können bestimmte elektronische Bauelemente zur Weiterverarbeitung der von den Dehnungsaufnehmern gelieferten Signale wie beispielsweise Verstärker, A/D-Wandler etc. vorgesehen sein, wobei diese auch als Teile einer integrierten Schaltung realisiert sein können.

[0067] Wenn der Kraftaufnehmer **101** zum Messen der eingeleiteten Kraft F verwendet wird, d. h. bei einer Kraftmessung, liegt das Verhältnis zwischen der von den Dehnungsaufnehmern **117**, **118**, **119**, **121**, **122** und **123** gemessenen Querdehnung und Längsdehnung des Verformungskörpers **102** zwischen 55% und 72%.

[0068] Wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** zu sehen ist, sind in der vorderen länglichen Ausnehmung **109** vier vordere Ausnehmungen **125'**, **125''**, **125'''** und **125''''** vorgesehen, die im Folgenden zusammen als vordere Ausnehmungen **125** bezeichnet sind. Die erste vordere Ausnehmung **125'** und die zweite vordere Ausnehmung **125''** sind oberhalb der vorderen Dehnungsaufnehmer **117**, **118** und **119** bzw. oberhalb von dem vorderen gemeinsamen Träger **120** angeordnet und weisen beide den gleichen Abstand zu der zentralen Längsachse L bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse Q2 gebildeten Ebene auf, d. h. sie sind bezüglich der zentralen Längsachse L bzw. dieser Ebene symmetrisch angeordnet. Die dritte vordere Ausnehmung **125'''** und die vierte vordere Ausnehmung **125''''** sind unterhalb der vorderen Dehnungsaufnehmer **117**, **118** und **119** bzw. unterhalb von dem vorderen gemeinsamen Träger **120** angeordnet und weisen beide den gleichen Abstand zu der zentralen Längsachse L bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse Q2 gebildeten Ebene auf, d. h. sie sind bezüglich der zentralen Längsachse L bzw. dieser Ebene symmetrisch angeordnet.

[0069] Die erste vordere Ausnehmung **125'** und die zweite vordere Ausnehmung **125''** auf der einen Seite sowie die dritte vordere Ausnehmung **125'''** und die vierte vordere Ausnehmung **125''''** auf der anderen Seite weisen zudem jeweils den gleichen Abstand zu der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. der durch sie und die zweite zentrale Querachse Q2 gebildeten

Ebene auf, d. h. sie sind bezüglich der ersten zentralen Querachse Q1 bzw. dieser Ebene symmetrisch angeordnet.

[0070] In der hinteren länglichen Ausnehmung **110** sind vier hintere Ausnehmungen **126'**, **126''**, **126'''** und **126''''** vorgesehen, die in den Zeichnungen nicht gezeigt und im Folgenden zusammen als hintere Ausnehmungen **126** bezeichnet sind. Diese liegen den vier vorderen Ausnehmungen **125** jeweils gegenüber und weisen die gleiche Form wie sie auf. Mit anderen Worten könnten in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** auch die vier hinteren Ausnehmungen **126** gezeigt sein, wenn sie mit anderen Bezugszeichen versehen wären.

[0071] Die vier vorderen Ausnehmungen **125** können jeweils durchgehende Ausnehmungen sein, wobei sie in diesem Fall mit den vier hinteren Ausnehmungen **126** zusammenfallen bzw. identisch sind. Die vier vorderen Ausnehmungen **125** und die vier hinteren Ausnehmungen **126** können auch jeweils nicht durchgehende Ausnehmungen sein, wobei in diesem Fall jeweils Material zwischen Grundflächen an den unteren Enden der sich gegenüberliegenden Ausnehmungen verbleibt. Dies ist bei dem Kraftaufnehmer **101** gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Fall.

[0072] Die vier vorderen Ausnehmungen **125** und die vier hinteren Ausnehmungen **126** können einen kreisförmigen Querschnitt aufweisen wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** gezeigt, können aber beispielsweise auch einen ellipsenförmigen Querschnitt aufweisen, als Langlöcher ausgebildet sein oder andere Formen aufweisen. Zudem können auch jeweils mehr oder weniger als vier Ausnehmungen vorgesehen sein und die Ausnehmungen anders positioniert sein als in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** dargestellt.

[0073] An dem oberen und unteren Ende des Verformungskörpers **102** befindet sich jeweils an einem Übergang von dem abgeflachten Bereich der vorderen Seite **103** bzw. der hinteren Seite **104** zu dem Bereich, in dem die zylindrische Grundform beibehalten wurde, zunächst ein umlaufender schmaler oberer Vorsprung **127** bzw. ein umlaufender schmaler unterer Vorsprung **128**, dessen Durchmesser geringfügig größer ist als sowohl ein Abstand von der linken Seite **105** bis zu der rechten Seite **106** als auch ein Durchmesser des Verformungskörpers **102** unmittelbar jenseits der Vorsprünge **127** und **128**, der vorzugsweise so groß wie dieser Abstand ist. Es folgen ein oberer erster Abschnitt **129** bzw. ein unterer erster Abschnitt **130** mit diesem Durchmesser und ein oberer zweiter Abschnitt **131** bzw. ein unterer zweiter Abschnitt **132** mit geringerem Durchmesser, wobei der obere zweite Abschnitt **131** an seinem oberen Ende durch die obere Stirnseite **107** bzw. die durch die obere Stirnseite **107** gebildete Krafteinleitungsfläche abgeschlossen ist und der untere zweite Abschnitt **132**

an seinem unteren Ende durch die untere Stirnseite **108** bzw. die durch die untere Stirnseite **108** gebildete Krafteinleitungsfläche abgeschlossen ist.

[0074] An dem oberen zweiten Abschnitt **131** kann zur Verbindung mit einer Krafteinleitungsrichtung wie z. B. einer Wägeplattform einer Waage, über welche die zu messende Kraft **F** eingeleitet werden kann, wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** gezeigt ein Gewinde **133** angebracht sein oder ein nicht dargestelltes anderes Befestigungsmittel wie beispielsweise eine Querbohrung vorgesehen sein. An dem unteren zweiten Abschnitt **132** kann zur Verbindung mit einer Krafteinleitungsrichtung wie z. B. einer Grundplatte einer Waage, über welche die entsprechende Gegenkraft eingeleitet werden kann, wie in **Fig. 1a** und **Fig. 1c** gezeigt ein Gewinde **134** angebracht sein oder ein nicht dargestelltes anderes Befestigungsmittel wie beispielsweise eine Querbohrung vorgesehen sein.

[0075] In dem oberen ersten Abschnitt **129** kann ein durchgehendes Loch **135** vorgesehen sein, das horizontal beginnt, dann schräg nach unten abknickt und schließlich unterhalb des oberen Vorsprungs **127** in einem oberen Bereich der rechten oberen Einkerbung **114** endet. Es dient zur Hindurchführung eines in den Zeichnungen nicht dargestellten Kabels, über das die Dehnungsaufnehmer **117**, **118**, **119**, **121**, **122** und **123** oder ihnen nachgeschaltete elektronische Bauelemente angeschlossen werden können. Auf diese Weise können die Dehnungsaufnehmer **117**, **118**, **119**, **121**, **122** und **123** oder die elektronischen Bauelemente auch dann, wenn sie zum Schutz vor Staub, Feuchtigkeit oder anderen Umwelteinflüssen hermetisch eingekapselt sind, beispielsweise mit einer Auswertevorrichtung und/oder Anzeigevorrichtung verbunden werden. Die Einkapselung kann dabei z. B. durch eine rundum geschlossene Hülse, die sich entlang der zentralen Längsachse **L** etwa genauso weit erstreckt wie der abgeflachten Bereich der vorderen Seite **103** bzw. der hinteren Seite **104**, realisiert sein.

[0076] **Fig. 2a** zeigt eine Vorderansicht des Kraftaufnehmers **201** gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel, **Fig. 2b** einen Schnitt K-K durch den Kraftaufnehmer **201** und **Fig. 2c** eine perspektivische Ansicht des Kraftaufnehmers **201**.

[0077] Die Elemente **202** bis **224** und **227** bis **235** entsprechen bis auf die im Folgenden beschriebenen Modifikationen den im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Elementen **102** bis **124** und **127** bis **135**, während bei dem Kraftaufnehmer **201** gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel keine den vorderen Ausnehmungen **125** und den hinteren Ausnehmungen **126** entsprechenden Elemente vorgesehen sind. Die Modifikationen sind dadurch bedingt, dass bei dem zweiten Ausführungs-

beispiel von einer erhöhten Nennlast wie beispielsweise 15000 kg ausgegangen wird.

[0078] Wie in **Fig. 2a**, **Fig. 2b** und **Fig. 2c** erkennbar sind die länglichen Ausnehmungen **209** und **210** etwas schmaler ausgestaltet als die länglichen Ausnehmungen **109** und **110**, was in gleichem Maße für die abgeflachten Bereiche der vorderen Seite **203** und der hinteren Seite **204** gilt. Die Dicke d des mittleren Stegs **211** ist etwas größer als diejenige des mittleren Stegs **111**. Die länglichen Ausnehmungen **209** und **210** weisen jeweils an ihrem oberen Ende und ihrem unteren Ende einen deutlichen Abstand zu dem Rand des abgeflachten Bereichs der vorderen Seite **203** bzw. der hinteren Seite **204** auf, gehen jedoch jeweils an ihrem linken Ende und ihrem rechten Ende fast ganz bis an diesen Rand heran.

[0079] Die Einkerbungen **212**, **213**, **214** und **215** sind etwas weniger tief ausgestaltet als die Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115** und erstrecken sich jeweils bis an den Rand des abgeflachten Bereichs der vorderen Seite **203** und den Rand des abgeflachten Bereichs der hinteren Seite **204**.

[0080] **Fig. 3a** zeigt eine Vorderansicht des Kraftaufnehmers **301** gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel, **Fig. 3b** einen Schnitt K-K durch den Kraftaufnehmer **301** und **Fig. 3c** eine perspektivische Ansicht des Kraftaufnehmers **301**.

[0081] Die Elemente **302** bis **332** und **335** entsprechen bis auf die im Folgenden beschriebenen Modifikationen den im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Elementen **102** bis **132** und **135**, während bei dem Kraftaufnehmer **301** gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel keine dem oberen Gewinde **133** und dem unteren Gewinde **134** entsprechenden Elemente vorgesehen sind. Die Modifikationen sind dadurch bedingt, dass bei dem dritten Ausführungsbeispiel von einer höheren Nennlast wie beispielsweise 20000 kg ausgegangen wird.

[0082] Wie in **Fig. 3a**, **Fig. 3b** und **Fig. 3c** erkennbar sind die länglichen Ausnehmungen **309** und **310** schmaler ausgestaltet als die länglichen Ausnehmungen **109** und **110**, was in gleichem Maße für die abgeflachten Bereiche der vorderen Seite **303** und der hinteren Seite **304** gilt. Die Dicke d des mittleren Stegs **311** ist größer als diejenige des mittleren Stegs **111**. Die länglichen Ausnehmungen **309** und **310** weisen jeweils an ihrem oberen Ende und ihrem unteren Ende einen deutlichen Abstand zu dem Rand des abgeflachten Bereichs der vorderen Seite **303** bzw. der hinteren Seite **304** auf, reichen jedoch jeweils an ihrem linken Ende und ihrem rechten Ende bis an diesen Rand heran.

[0083] Die Einkerbungen **312**, **313**, **314** und **315** sind tiefer und mit einem kleineren Radius ausgestaltet als

die Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115**, erstrecken sich aber auch bis in den abgeflachten Bereich der vorderen Seite **303** und den abgeflachten Bereich der hinteren Seite **304** hinein.

[0084] Die vier vorderen Ausnehmungen **325** sind jeweils durchgehende Ausnehmungen und fallen mit den vier hinteren Ausnehmungen **326** zusammen bzw. sind identisch mit diesen.

[0085] **Fig. 4a** zeigt eine Vorderansicht des Kraftaufnehmers **401** gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel, **Fig. 4b** einen Schnitt K-K durch den Kraftaufnehmer **401** und **Fig. 4c** eine perspektivische Ansicht des Kraftaufnehmers **401**.

[0086] Die Elemente **402** bis **432** und **435** entsprechen bis auf die im Folgenden beschriebenen Modifikationen den im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Elementen **102** bis **132** und **135**, während bei dem Kraftaufnehmer **401** gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel keine dem oberen Gewinde **133** und dem unteren Gewinde **134** entsprechenden Elemente vorgesehen sind. Die Modifikationen sind dadurch bedingt, dass bei dem vierten Ausführungsbeispiel von einer noch höheren Nennlast wie beispielsweise 30000 kg ausgegangen wird.

[0087] Wie in **Fig. 4a**, **Fig. 4b** und **Fig. 4c** erkennbar sind die länglichen Ausnehmungen **409** und **410** deutlich schmaler ausgestaltet als die länglichen Ausnehmungen **109** und **110**, was in gleichem Maße für die abgeflachten Bereiche der vorderen Seite **403** und der hinteren Seite **404** gilt. Die Dicke d des mittleren Stegs **411** ist deutlich größer als diejenige des mittleren Stegs **111**. Die länglichen Ausnehmungen **409** und **410** weisen jeweils an ihrem oberen Ende und ihrem unteren Ende einen deutlichen Abstand zu dem Rand des abgeflachten Bereichs der vorderen Seite **403** bzw. der hinteren Seite **404** auf, reichen jedoch jeweils an ihrem linken Ende und ihrem rechten Ende bis an diesen Rand heran.

[0088] Die Einkerbungen **412**, **413**, **414** und **415** sind tiefer und mit einem kleineren Radius ausgestaltet als die Einkerbungen **112**, **113**, **114** und **115**. Sie erstrecken sich jeweils nicht ganz bis zu dem abgeflachten Bereich der vorderen Seite **403** und dem abgeflachten Bereich der hinteren Seite **404**.

[0089] In der vorderen länglichen Ausnehmung **409** sind sechs vordere Ausnehmungen **425'**, **425''**, **425'''**, **425''''**, **425'''''** und **425''''''** vorgesehen, die im Folgenden zusammen als vordere Ausnehmungen **425** bezeichnet sind. Die vier vorderen Ausnehmungen **425'**, **425''**, **425'''** und **425''''** entsprechen den vier vorderen Ausnehmungen **125'**, **125''**, **125'''** und **125''''**. Die fünfte vordere Ausnehmung **425'''''** ist oberhalb der ersten vorderen Ausnehmung **425'**

und der zweiten vorderen Ausnehmung **425''** sowie bezüglich der zentralen Längsachse L zentriert angeordnet. Die sechste vordere Ausnehmung **425''''''** ist unterhalb der dritten vorderen Ausnehmung **425'''** und der vierten vorderen Ausnehmung **425''''** sowie bezüglich der zentralen Längsachse L zentriert angeordnet. Die sechs vorderen Ausnehmungen **425** sind jeweils durchgehende Ausnehmungen und fallen mit den sechs hinteren Ausnehmungen **426** zusammen bzw. sind identisch mit diesen.

[0090] Fig. 5a zeigt eine Vorderansicht des Kraftaufnehmers **501** gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel, Fig. 5b einen Schnitt K-K durch den Kraftaufnehmer **501** und Fig. 5c eine perspektivische Ansicht des Kraftaufnehmers **501**.

[0091] Der Kraftaufnehmer **501** gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel ist dem Kraftaufnehmer **101** gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel sehr ähnlich. Die Elemente **502** bis **508** und **511** bis **535** entsprechen den im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Elementen **102** bis **108** und **111** bis **135**. Lediglich die länglichen Ausnehmungen **509** und **510** sind anders ausgestaltet als die länglichen Ausnehmungen **109** und **110**.

[0092] Wie in Fig. 5a und Fig. 5c erkennbar weiten sich die länglichen Ausnehmungen **509** und **510** an ihrem oberen Ende und an ihrem unteren Ende jeweils noch einmal auf. Dadurch verlaufen die Ränder der Einkerbungen **512**, **513**, **514** und **515** und die Ränder der länglichen Ausnehmungen **509** und **510** jeweils ein Stück weit parallel und es ist nicht eine dünnste Stelle, sondern ein dünnster Bereich mit der Breite b bei dem jeweiligen Steg zwischen Ausnehmung und Einkerbung vorhanden. Somit gibt es nicht genau eine kürzeste Verbindungslinie mit einer Länge l, die gleich der Breite b des Stegs ist, zwischen länglicher Ausnehmung und Einkerbung. Daher ist hier für die Definition des Winkels α diejenige kürzeste Verbindungslinie relevant, die durch die Mitte des dünnsten Bereichs mit der Breite b verläuft. Dies ist in Fig. 5a für eine kürzeste Verbindungslinie V mit der Länge l zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung **509** und der linken oberen Einkerbung **512** gezeigt.

[0093] Solange die Ränder der Einkerbungen **512**, **513**, **514** und **515** und der länglichen Ausnehmungen **509** und **510** jeweils nur ein kurzes Stück weit parallel verlaufen und somit der dünnste Bereich mit der Breite b bei dem jeweiligen Steg zwischen Ausnehmung und Einkerbung klein ist, treten dann, wenn der Winkel α nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° ist, die gleichen positiven Effekte wie bei den anderen Ausführungsbeispielen auf.

[0094] Bei der Form der länglichen Ausnehmungen **509** und **510** handelt es sich um eine von mehreren

möglichen Alternativen zu einer völlig ellipsenförmigen Gestaltung der länglichen Ausnehmungen. Dabei können diese Alternativen nicht nur basierend auf dem ersten Ausführungsbeispiel, sondern auch basierend auf dem zweiten, dritten oder vierten Ausführungsbeispiel zum Einsatz kommen.

[0095] Es sind weitere Modifikationen der Kraftaufnehmer **101** bis **501** gemäß dem ersten bis fünften Ausführungsbeispiel möglich. So können z. B. bei dem Kraftaufnehmer **101** gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel die vorderen Ausnehmungen **125** und die hinteren Ausnehmungen **126** auch durchgehend sein und somit zusammenfallen. Bei dem Kraftaufnehmer **201** gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel können den vorderen Ausnehmungen **125** und den hinteren Ausnehmungen **126** entsprechende Elemente vorgesehen sein, wobei es sich um durchgehende oder nicht durchgehende Ausnehmungen handeln kann. Zudem sind bei allen Ausführungsbeispielen andere Anzahlen der vorderen und hinteren Ausnehmungen möglich.

[0096] Weiterhin können beispielsweise bei dem Kraftaufnehmer **301** gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel und dem Kraftaufnehmer **401** gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel jeweils dem oberen Gewinde **133** und dem unteren Gewinde **134** entsprechende Elemente oder andere Befestigungsmittel vorgesehen sein. Ebenso können die Kraftaufnehmer gemäß den anderen Ausführungsbeispielen ohne derartige Gewinde oder Befestigungsmittel ausgestaltet sein.

[0097] Darüber hinaus sind zahlreiche weitere Modifikationen der vorstehend beschriebenen Kraftaufnehmer möglich, insbesondere hinsichtlich der erläuterten Elemente dieser Kraftaufnehmer.

[0098] Zusammenfassend bezieht sich die vorliegende Erfindung auf einen Kraftaufnehmer zur Messung von Druck- und/oder Zugkräften, der einen stabförmigen Verformungskörper mit zumindest einer vorderen Seite, einer hinteren Seite, einer linken Seite, einer rechten Seite, einer oberen Stirnseite und einer unteren Stirnseite sowie zumindest vier Dehnungsaufnehmer, die an dem Verformungskörper angebracht und zur Messung einer Querdehnung und einer Längsdehnung des Verformungskörpers eingerichtet sind, aufweist. An der vorderen Seite ist eine vordere längliche Ausnehmung im Bereich eines Schnittpunkts zwischen einer zentralen Längsachse und einer zentralen Querachse des Verformungskörpers vorgesehen. Der vorderen länglichen Ausnehmung gegenüberliegend ist an der hinteren Seite eine hintere längliche Ausnehmung vorgesehen. An der linken Seite sind zumindest eine linke obere Einkerbung oberhalb der zentralen Querachse und eine linke untere Einkerbung unterhalb der zentralen Querachse vorgesehen. Diesen Einkerbungen an der lin-

ken Seite jeweils gegenüberliegend sind an der rechten Seite zumindest eine rechte obere Einkerbung und eine rechte untere Einkerbung vorgesehen. Ein Winkel zwischen der zentralen Querachse und einer kürzesten Verbindungslinie zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung und der linken oberen Einkerbung ist nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° .

[0099] Der Kraftaufnehmer kann auch ohne einen mechanischen Abgleich durch Materialabtrag und/oder elektrischen Abgleich zur Kompensation fertigungsbedingter Toleranzen bei dem Verformungskörper oder den Dehnungsaufnehmern hochlinear arbeiten und sehr genaue Messergebnisse liefern.

Patentansprüche

1. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) zur Messung von Druck- und/oder Zugkräften, mit: einem stabförmigen Verformungskörper (**102; 202; 302; 402; 502**), der zumindest eine vordere Seite (**103; 203; 303; 403; 503**), eine hintere Seite (**104; 204; 304; 404; 504**), eine linke Seite (**105; 205; 305; 405; 505**), eine rechte Seite (**106; 206; 306; 406; 506**), eine obere Stirnseite (**107; 207; 307; 407; 507**) und eine untere Stirnseite (**108; 208; 308; 408; 508**) aufweist; und zumindest vier Dehnungsaufnehmern (**117, 118, 119, 121, 122, 123; 217, 218, 219, 221, 222, 223; 317, 318, 319, 321, 322, 323; 417, 418, 419, 421, 422, 423; 517, 518, 519, 521, 522, 523**), die an dem Verformungskörper (**102; 202; 302; 402; 502**) angebracht und zur Messung einer Längsdehnung und einer Querdehnung des Verformungskörpers (**102; 202; 302; 402; 502**) eingerichtet sind, wobei an der vorderen Seite (**103; 203; 303; 403; 503**) eine vordere längliche Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) im Bereich eines Schnittpunkts (S) zwischen einer zentralen Längsachse (L) und einer zentralen Querachse (Q1) des Verformungskörpers (**102; 202; 302; 402; 502**) vorgesehen ist und dieser gegenüberliegend an der hinteren Seite (**104; 204; 304; 404; 504**) eine hintere längliche Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) vorgesehen ist, an der linken Seite (**105; 205; 305; 405; 505**) zumindest eine linke obere Einkerbung (**112; 212; 312; 412; 512**) oberhalb der zentralen Querachse (Q1) und eine linke untere Einkerbung (**113; 213; 313; 413; 513**) unterhalb der zentralen Querachse (Q1) vorgesehen sind sowie diesen Einkerbungen jeweils gegenüberliegend an der rechten Seite (**106; 206; 306; 406; 506**) zumindest eine rechte obere Einkerbung (**114; 214; 314; 414; 514**) und eine rechte untere Einkerbung (**115; 215; 315; 415; 515**) vorgesehen sind, und ein Winkel (α) zwischen der zentralen Querachse (Q1) und einer kürzesten Verbindungslinie (V) zwischen der vorderen länglichen Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) und der linken oberen Einkerbung

(**112; 212; 312; 412; 512**) nicht kleiner als 17° und nicht größer als 29° ist.

2. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die länglichen Ausnehmungen (**109, 110; 209, 210; 309, 310; 409, 410; 509, 510**) jeweils im Wesentlichen ellipsenförmig ausgebildet sind.

3. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Einkerbungen (**112, 113, 114, 115; 212, 213, 214, 215; 312, 313, 314, 315; 412, 413, 414, 415; 512, 513, 514, 515**) jeweils im Wesentlichen teilkreisförmig ausgebildet sind.

4. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die vordere längliche Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) und die hintere längliche Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) jeweils bezüglich des Schnittpunkts (S) zentriert angeordnet sind, und die linke obere Einkerbung (**112; 212; 312; 412; 512**) und die linke untere Einkerbung (**113; 213; 313; 413; 513**) sowie die rechte obere Einkerbung (**114; 214; 314; 414; 514**) und die rechte untere Einkerbung (**115; 215; 315; 415; 515**) jeweils bezüglich der zentralen Querachse (Q1) symmetrisch angeordnet sind.

5. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der vorderen länglichen Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) zumindest vier vordere Ausnehmungen (**125; 225; 325; 425; 525**) vorgesehen sind und diesen jeweils gegenüberliegend in der hinteren länglichen Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) zumindest vier hintere Ausnehmungen (**126; 226; 326; 426; 526**) vorgesehen sind, wobei es sich jeweils um durchgehende oder nicht durchgehende Ausnehmungen handeln kann.

6. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei einer Kraftmessung das Verhältnis zwischen der Querdehnung und der Längsdehnung zwischen 55% und 72% liegt.

7. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der vorderen länglichen Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) zumindest zwei vordere Dehnungsaufnehmer (**117, 118, 119; 217, 218, 219; 317, 318, 319; 417, 418, 419; 517, 518, 519**) angeordnet sind und in der hinteren länglichen Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) zumindest zwei hintere Dehnungsaufnehmer (**121, 122, 123; 221, 222, 223; 321, 322, 323; 421, 422, 423; 521, 522, 523**) angeordnet sind, einer (**117; 217; 317; 417; 517**) der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer (**121; 221; 321; 421;**

521) der hinteren Dehnungsaufnehmer bezüglich des Schnittpunkts (S) zentriert angeordnet und zur Messung der Längsdehnung eingerichtet ist, und einer (**118; 218; 318; 418; 518**) der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer (**122; 222; 322; 422; 522**) der hinteren Dehnungsaufnehmer bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Längsachse (L) verlaufenden und die zentrale Querachse (Q1) umfassenden Mittelebene außermittig angeordnet und zur Messung der Querdehnung eingerichtet ist.

Verformungskörper (**102; 202; 302; 402; 502**) aus Stahl, Titan, Aluminium oder Berylliumkupfer besteht.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

8. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in der vorderen länglichen Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**) zumindest drei vordere Dehnungsaufnehmer (**117, 118, 119; 217, 218, 219; 317, 318, 319; 417, 418, 419; 517, 518, 519**) angeordnet sind und in der hinteren länglichen Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) zumindest drei hintere Dehnungsaufnehmer (**121, 122, 123; 221, 222, 223; 321, 322, 323; 421, 422, 423; 521, 522, 523**) angeordnet sind, einer (**117; 217; 317; 417; 517**) der vorderen Dehnungsaufnehmer und einer (**121; 221; 321; 421; 521**) der hinteren Dehnungsaufnehmer bezüglich des Schnittpunkts (S) zentriert angeordnet und zur Messung der Längsdehnung eingerichtet ist, und zwei (**118, 119; 218, 219; 318, 319; 418, 419; 518, 519**) der vorderen Dehnungsaufnehmer und zwei (**122, 123; 222, 223; 322, 323; 422, 423; 522, 523**) der hinteren Dehnungsaufnehmer bezüglich der zentralen Querachse (Q1) symmetrisch oberhalb und unterhalb derselben angeordnet und zur Messung der Querdehnung eingerichtet sind.

9. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Verformungskörper (**102; 202; 302; 402; 502**) bezüglich einer durch die zentrale Längsachse (L) und die zentrale Querachse (Q1) gebildeten ersten Ebene symmetrisch ausgebildet ist, und der Verformungskörper (**102; 202; 302; 402; 502**) zumindest in einem Bereich, in dem sich die vordere längliche Ausnehmung (**109; 209; 309; 409; 509**), die hintere längliche Ausnehmung (**110; 210; 310; 410; 510**) und die Einkerbungen (**112, 113, 114, 115; 212, 213, 214, 215; 312, 313, 314, 315; 412, 413, 414, 415; 512, 513, 514, 515**) befinden, auch bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Querachse (Q1) verlaufenden und die zentrale Längsachse (L) umfassenden zweiten Ebene symmetrisch ausgebildet ist und bezüglich einer orthogonal zu der zentralen Längsachse (L) verlaufenden und die zentrale Querachse (Q1) umfassenden Mittelebene symmetrisch ausgebildet ist.

10. Kraftaufnehmer (**101; 201; 301; 401; 501**) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der

Anhängende Zeichnungen

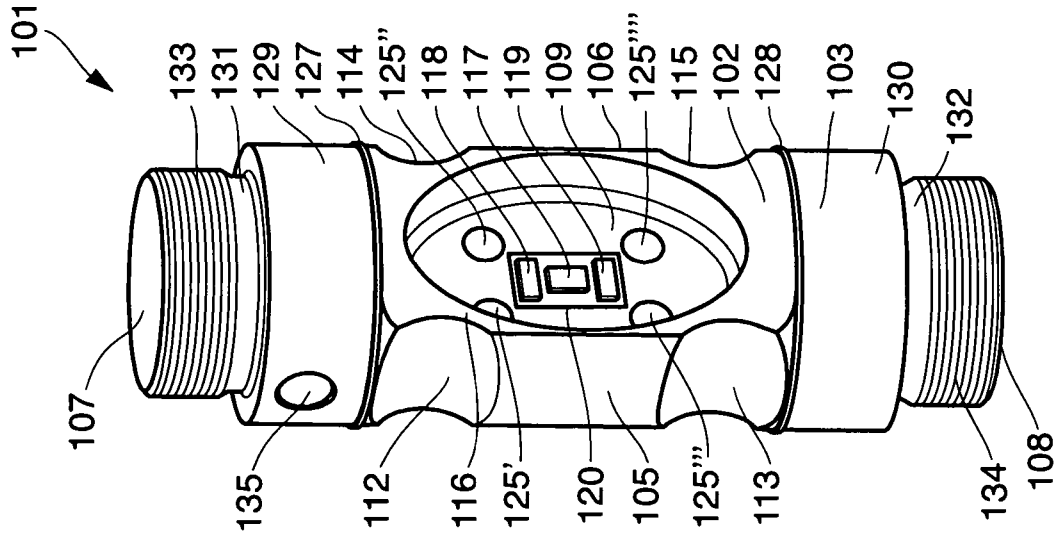


Fig. 1c

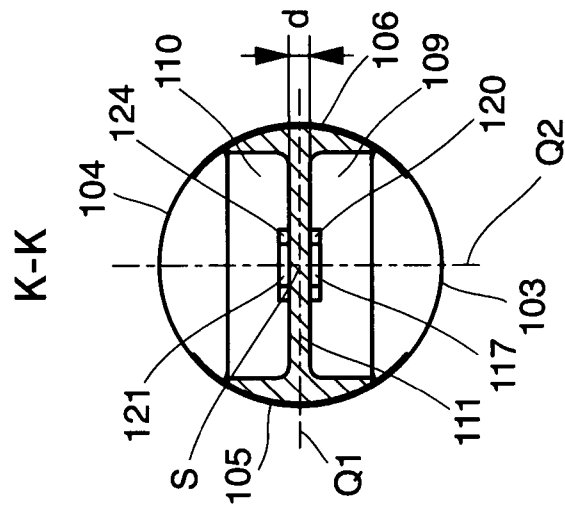


Fig. 1b

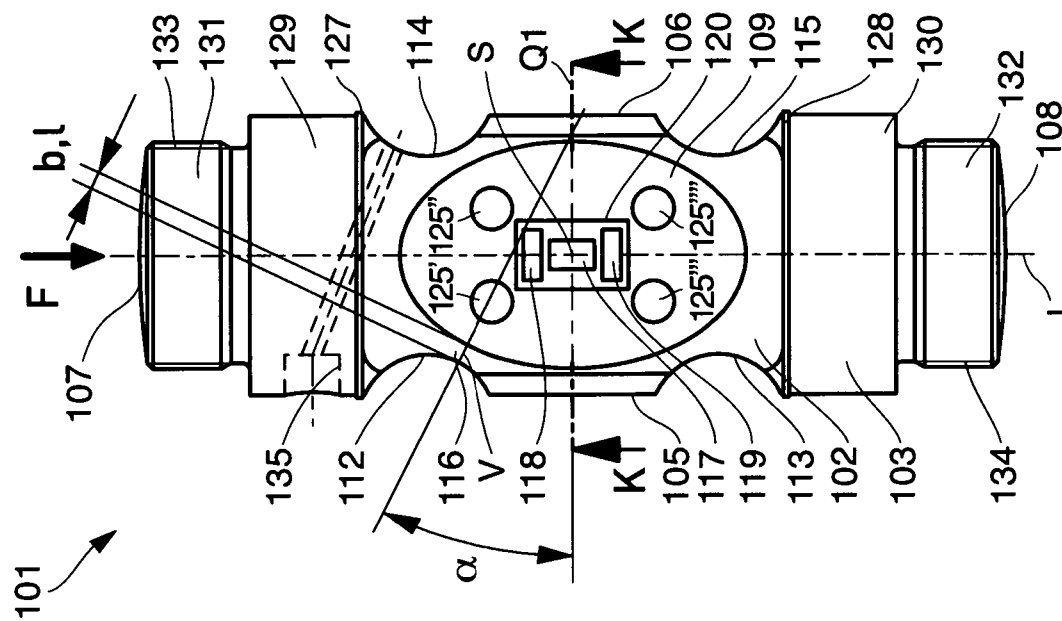


Fig. 1a

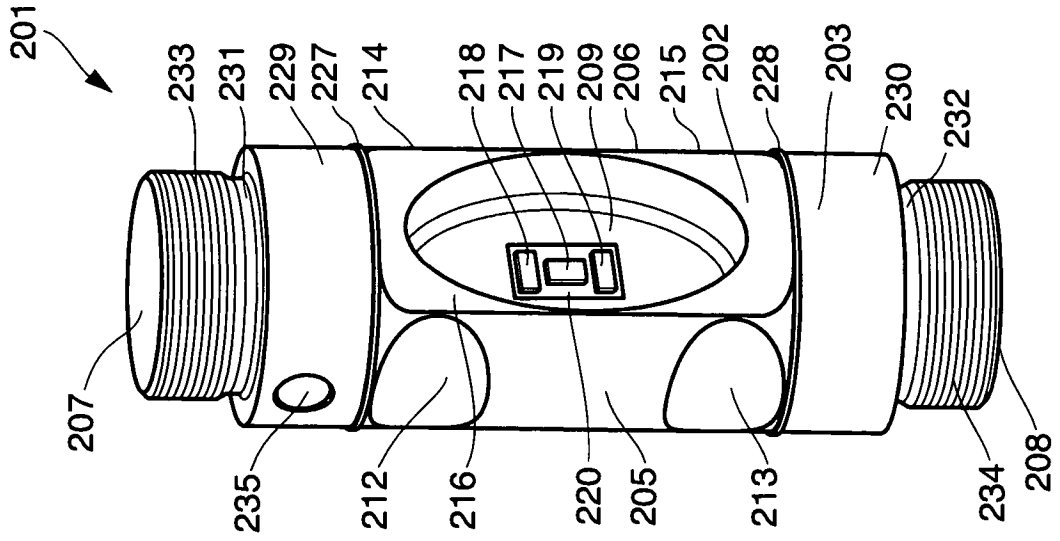


Fig. 2c

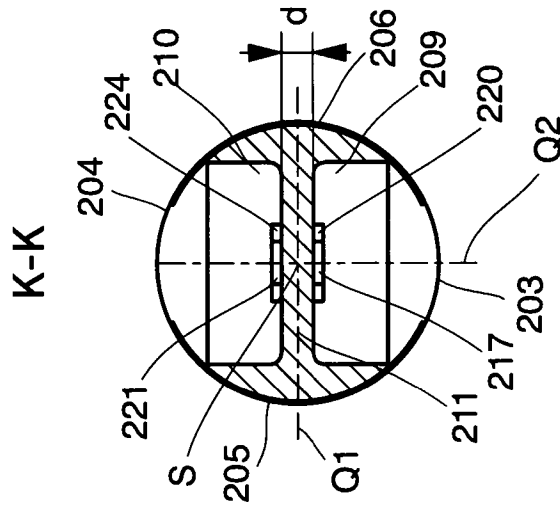


Fig. 2b

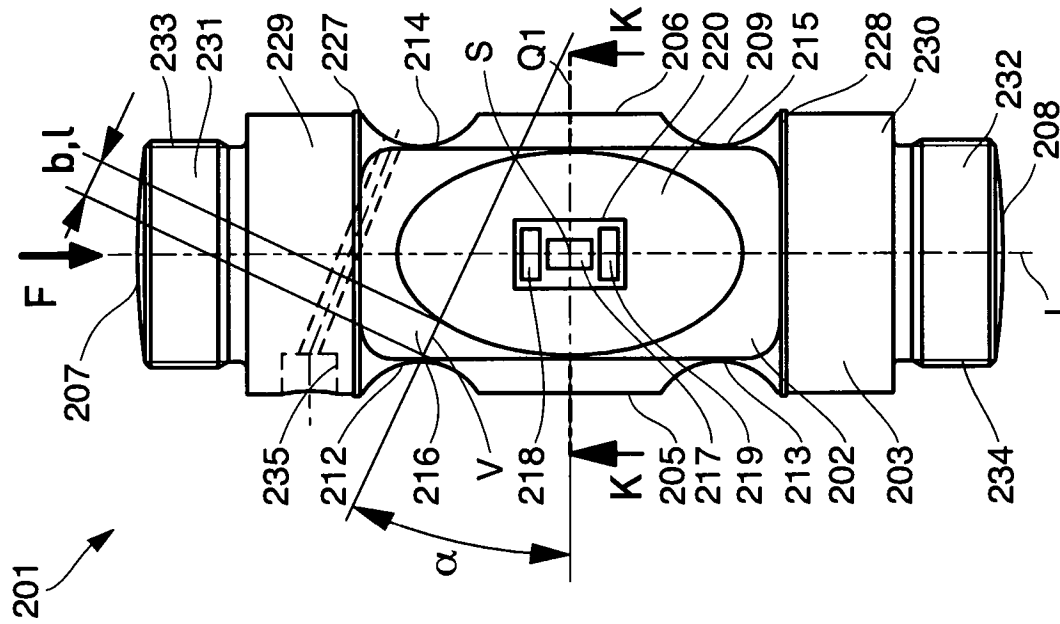


Fig. 2a

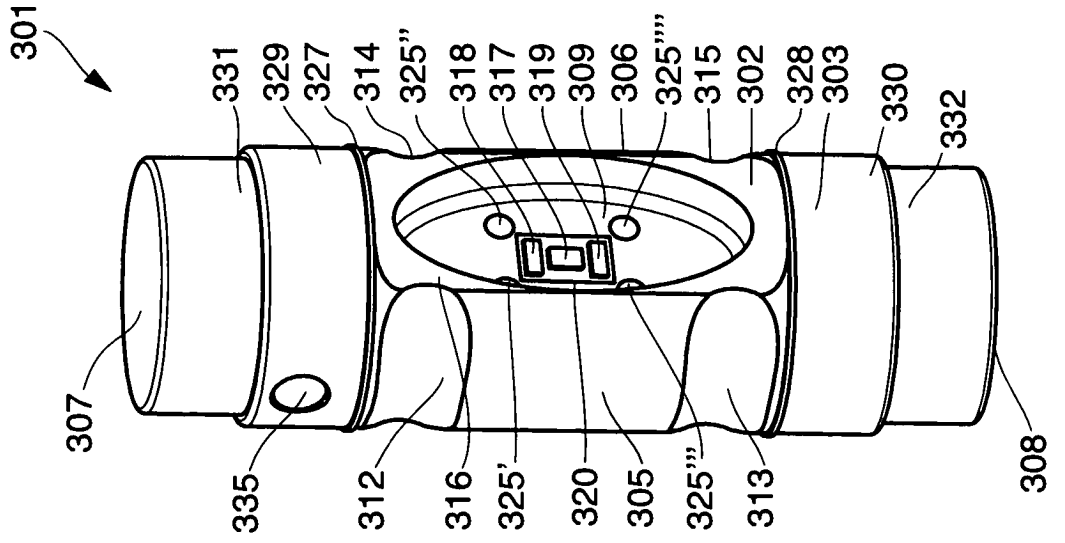


Fig. 3c

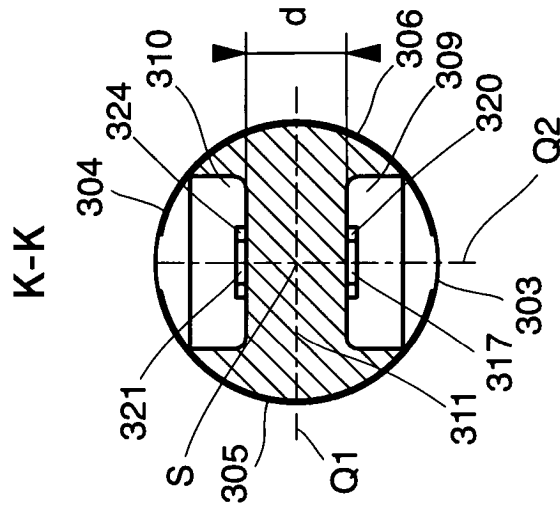


Fig. 3b

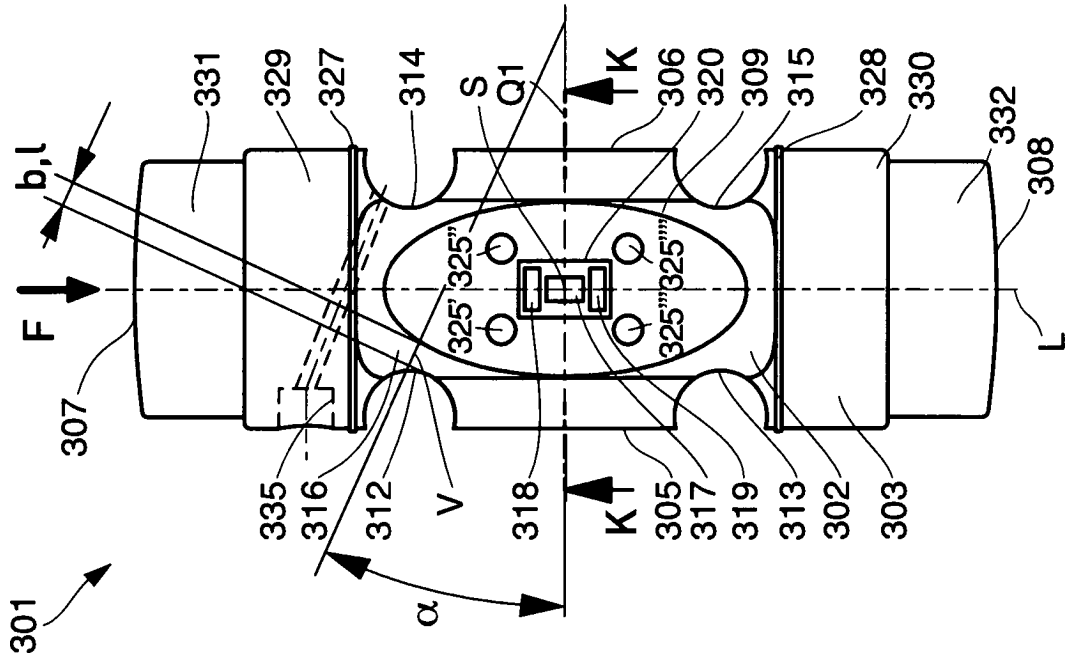


Fig. 3a

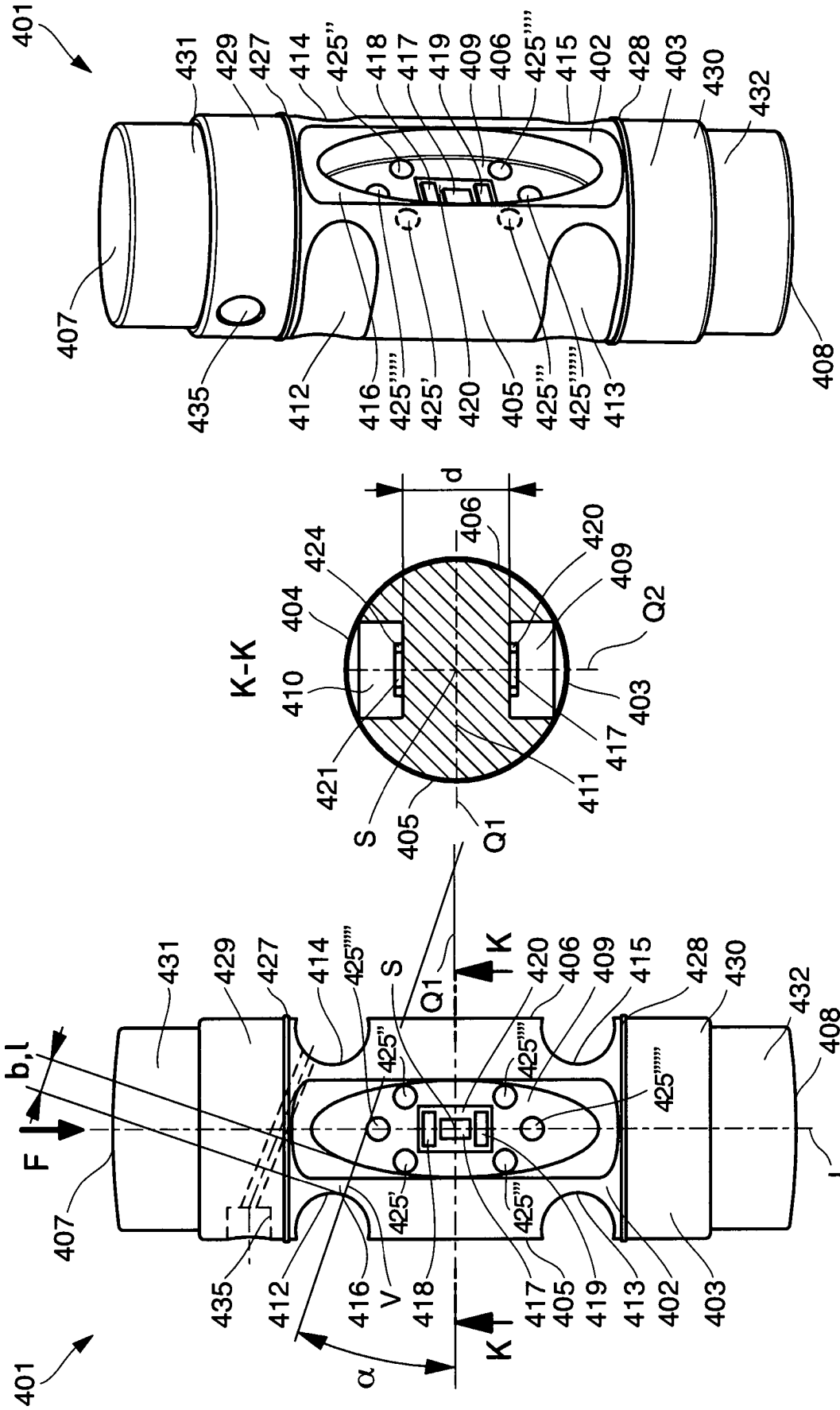


Fig. 4c

Fig. 4b

Fig. 4a

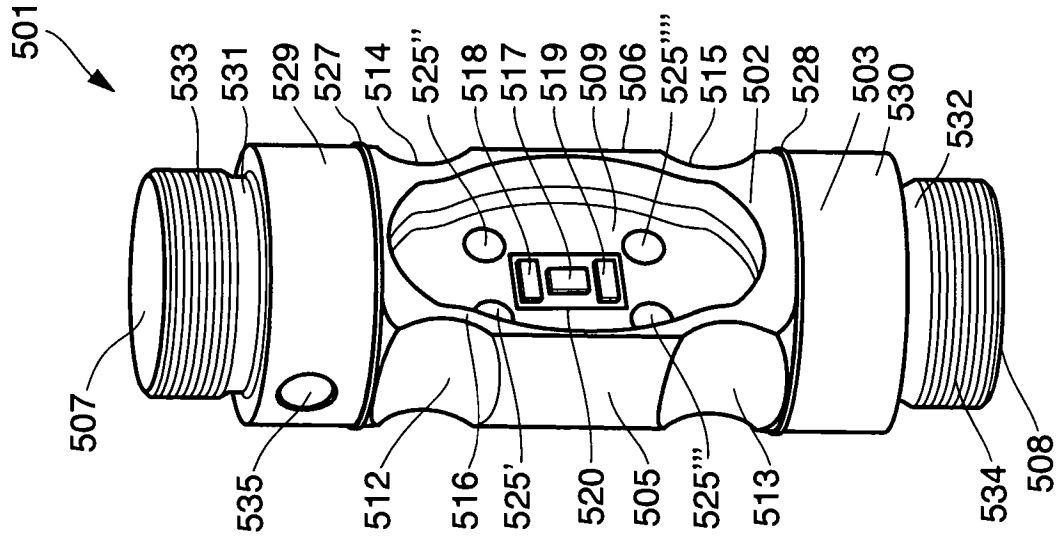


Fig. 5c

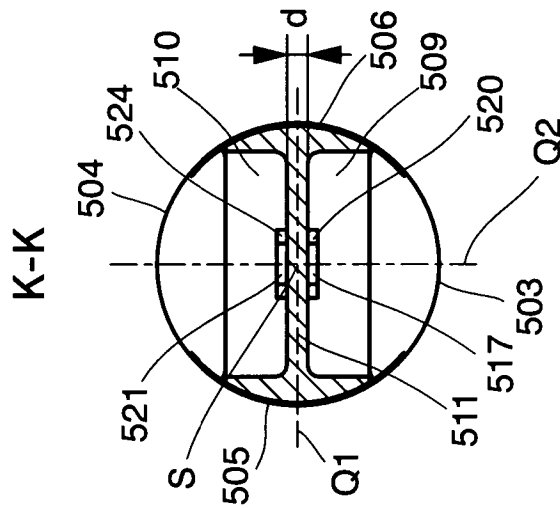


Fig. 5b

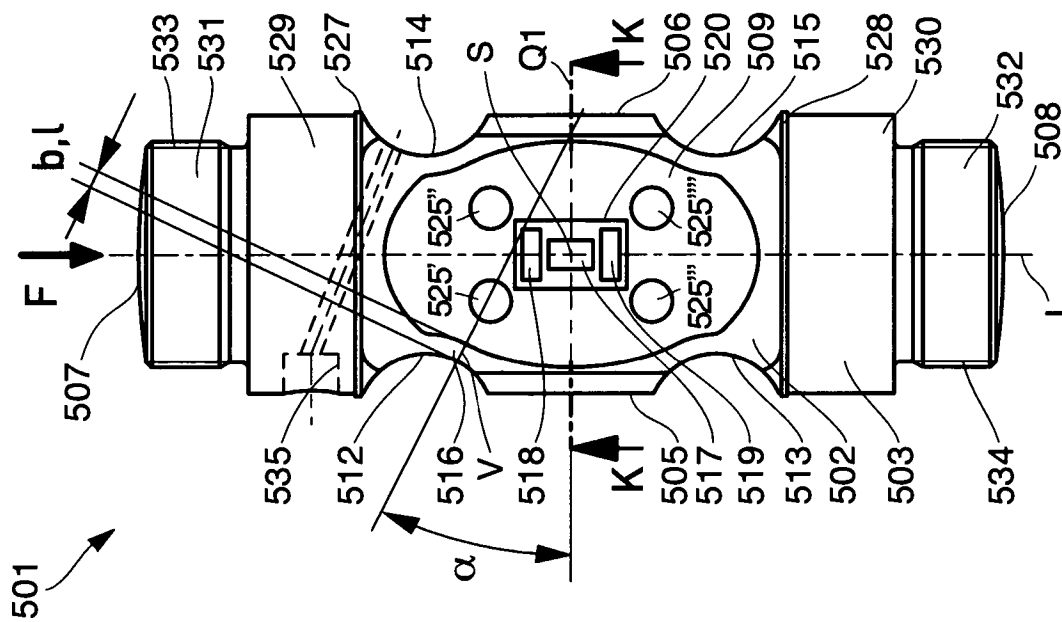


Fig. 5a