



(10) **DE 10 2016 109 433 B4** 2018.03.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 109 433.1**

(22) Anmeldetag: **23.05.2016**

(43) Offenlegungstag: **23.11.2017**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.03.2018**

(51) Int Cl.: **G01L 1/18 (2006.01)**

G01L 1/20 (2006.01)

G01L 23/18 (2006.01)

G01L 5/18 (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:

Minebea Intec GmbH, 22145 Hamburg, DE

(74) Vertreter:

**Prinz & Partner mbB Patentanwälte
Rechtsanwälte, 22765 Hamburg, DE**

(72) Erfinder:

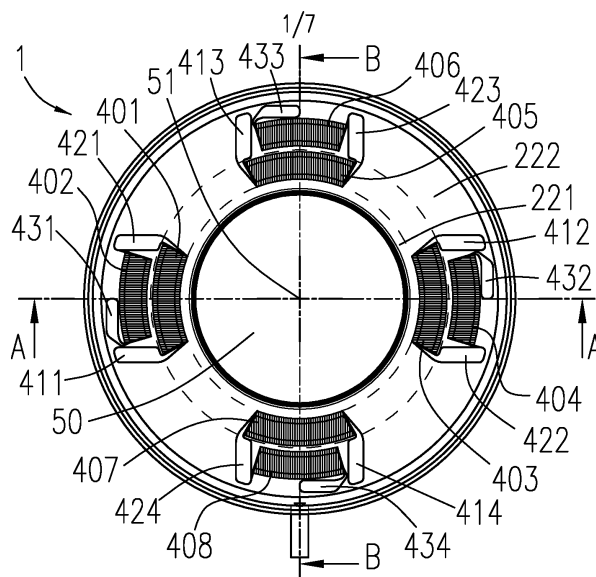
Relling, Volker, Dr.-Ing., 23816 Groß Niendorf, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	36 07 491	C1
DE	39 09 274	A1
DE	103 25 943	A1
GB	2 326 719	A
US	2008 / 0 196 491	A1
EP	0 128 737	A2

(54) Bezeichnung: **Kraftsensor**

(57) Hauptanspruch: Kraftsensor (1) umfassend ein erstes Teil (10) und ein zweites Teil (20), wobei zwischen dem ersten Teil (10) und dem zweiten Teil (20) zumindest ein erster piezoresistiver Widerstand (401) sowie mindestens ein zweiter piezoresistiver Widerstand (402) angeordnet ist, und der Kraftsensor (1) derart ausgestaltet ist, dass bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors (1) durch ein Objekt (2) zumindest der erste piezoresistive Widerstand (401) mit einer aus der axialen Druckbelastung resultierenden Kraft (Fres) belastet wird, und wobei der Kraftsensor (1) derart ausgestaltet ist, dass der zweite piezoresistive Widerstand (402) bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors (1) unbelastet bleibt, wobei das zweite Teil (20) zumindest einen hervorstehenden Bereich (201) sowie einen zweiten Bereich (202) aufweist, wobei der hervorstehende Bereich (201) in der axialen Richtung (Ax) auf einer dem ersten Teil (10) zugewandten und/ oder abgewandten Seite gegenüber dem zweiten Bereich (202) hervorsteht, um bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors die resultierenden Kräfte (Fres) lediglich in den oder die zu belastenden piezoresistiven Widerstände (401, 403, 405, 407) einzuleiten.



Beschreibung**GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung betrifft einen verbesserten Kraft- bzw. Bolzensensor, welcher insbesondere ausgebildet sein kann, um Spannkkräfte in einer Bolzen- oder Schraubenverbindung zu messen.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Ausführungen von Kraftsensoren bekannt. Ein beispielhafter Kraftsensor ist in der britischen Patentanmeldung mit der Publikationsnummer GB 2 326 719 A beschrieben. Der beispielhafte Kraftsensor nutzt einen oder mehrere druckempfindliche Widerstände, welche in Dickfilmtechnik auf ein Trägermaterial aufgebracht werden. In einem Ausführungsbeispiel der Patentanmeldung ist ein Kraftsensor gezeigt, welcher sechs belastete Widerstände und zwei unbelastete Referenzwiderstände in einer Brückenschaltung zeigt.

[0003] US 2008/0 196 491 A1 offenbart einen integrierten Drucksensor mit hohem Vollmaßwert, bei dem ein monolithischer Körper aus Halbleitermaterial eine erste und eine zweite Hauptoberfläche aufweist, die gegenüber einer im wesentlichen gleichmäßigen Distanz gegenüberliegen und getrennt sind. Der monolithische Körper hat einen Schüttgutbereich mit einem empfindlichen Teil neben der ersten Hauptfläche, auf den Druck wirkt. Ein erstes piezoresistives Detektionselement ist in den empfindlichen Teil integriert und hat einen variablen Widerstand als Funktion des Drucks. Der Schüttgutbereich ist ein fester und kompakter Bereich und hat eine Dicke, die im Wesentlichen gleich der Entfernung ist.

[0004] DE 39 09 274 A1 offenbart einen Druck- oder Kraftsensor, der einen Messkörper aufweist, der der zu messenden Kraft ausgesetzt ist, und einem Referenzkörper, die beide über Kraftmesselemente am Gehäuse abgestützt sind. In einer Auswerteschaltung werden die Signale von den Kraftmesselementen, die zweiten zeitlichen Ableitungen dieser Signale und ggf. auch ihre ersten zeitlichen Ableitungen derart logisch gekoppelt, dass ein die zu messende Kraft repräsentierendes Signal erhalten wird, weitgehend unabhängig vom dynamischen Eigenverhalten des Drucksensors bei Schwingung des Gehäuses und bei schnellen Änderungen der zu messenden Kraft.

[0005] DE 36 07 491 C1 offenbart einen Kraft- oder Druckaufnehmer mit einer Plattenfeder, die an mindestens zwei Seiten mit einem überwiegend starren Rahmen verbunden ist, und schlägt vor, dass die Plattenfeder aus mindestens zwei Teilen (**21**, **22**) besteht, wobei der erste, innere Teil (**21**) ausschließlich als deformierbare, im wesentlichen ebene Platte

ausgebildet ist, während der zweite, äußere Teil den äußeren Bereich (**22**) der elastischen Plattenfeder sowie den anschließenden, überwiegend starren Rahmen (**23**) umfasst, dass die Verbindungsstelle zwischen den beiden Teilen der Plattenfeder sich dort befindet, wo das zur Verbindungsstelle normale Biegemoment verschwindend klein ist und dass nur der erste, innere Plattenfederteil (**21**) zur Detektion der durch die Kraft oder den Druck bewirkten Deformation herangezogen wird. Dadurch kann der Federkörper so aufgebaut werden, dass ein herstellungsgünstiger planer, elastischer Fühlerteil – z. B. eine Ronde (**21**) mit Dünnschicht-Dehnungsmessstreifen (**4**, **4'**) – verwendet werden kann, wobei aber die Befestigung dieses Fühlerteils in der massiven Fassung keine Rückwirkungen auf sein Federverhalten verursacht.

[0006] DE 103 25 943 A1 offenbart ein Instrument, das zwei Abstandshalter aufweist, die zueinander verstellbar und als Anschläge (**4**, **6**) angeordnet sind. Der erste besteht aus elektrisch leitendem Material, das als Stopp dient und der andere aus nicht-leitendem Material, das als Stator dient. Ein Wirbelstromsensor ist vorgesehen. Beide Anschläge sind mit einem Ring (**8**) verbunden, wobei die geometrischen Abmessungen des Kraftmessgeräts durch Kraftanwendung veränderbar sind.

BESCHREIBUNG

[0007] Es ist eine Aufgabe der Erfindung einen verbesserten Kraftsensor bereitzustellen. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung ein System mit einem verbesserten Kraftsensor und einer Auswerteelektronik bereitzustellen. Weitere Aufgaben ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung.

[0008] Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfasst der Kraftsensor ein erstes und ein zweites Teil, welche flach ausgebildet sind. Der Kraftsensor, und somit auch das erste und das zweite Teil, weisen eine gemeinsame Öffnung auf, um ein sich in einer axialen Richtung erstreckendes, insbesondere längliches, Objekt, bspw. ein Bolzen, eine Welle oder eine Gewindestange aufzunehmen und mit dem länglichen Objekt zusammenzuwirken. Bei dem länglichen Objekt kann es sich um einen Bolzen und insbesondere um eine Schraube handeln. Zwischen dem ersten und dem zweiten Teil ist zumindest ein erster piezoresistiver Widerstand angeordnet. Der Kraftsensor ist derart ausgestaltet, dass bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors durch das längliche Objekt zumindest der erste piezoresistive Widerstand mit einer aus der axialen Druckbelastung resultierenden Kraft belastet wird.

[0009] Im vorliegenden Kontext umfasst der Begriff „Bolzen“ jedes längliche Objekt, das zum Befestigen geeignet ist, insbesondere auch Schrauben. Die Be-

griffe „belastet“ und „unbelastet“ sind im Zusammenhang mit den piezoresistiven Widerständen so zu verstehen, dass die Widerstände bei einer axialen Druckbelastung bzw. axialen Kraft (also in Richtung der Erstreckung des länglichen Objekts bzw. des Bolzens) belastet bzw. unbelastet sind.

[0010] Das erste und das zweite Teil sind vorteilhaft so ausgestaltet und angeordnet, dass sie zusammenwirkend einen vorzugsweise hermetisch abgedichteten Innenraum definieren. Der Innenraum kann ggf. mit Schutzgas, bspw. Stickstoff gefüllt werden. Durch eine Kapselung kann der Sensor dann auch in besonders unwirtlichen, beispielsweise korrosiven Umgebungen eingesetzt werden. Allgemein wird die Lebensdauer des Sensors verlängert.

[0011] Zusätzlich kann der erfindungsgemäße Kraftsensor durch seine im Vergleich zu bestehenden Kraftsensoren sehr flache Bauart in einfacher Weise in bestehenden Bolzen- und/ oder Schraubenverbindung integriert werden.

[0012] Gemäß einem vorteilhaften Aspekt der Erfindung, kann der Kraftsensor mindestens einen zweiten piezoresistiven Widerstand aufweisen, wobei der zweite piezoresistive Widerstand bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors unbelastet bleibt. Der unbelastete piezoresistive Widerstand kann bei der Messung und/ oder der Auswertung der Messdaten als Referenz dienen, um unerwünschte Einflüsse auf die Genauigkeit des Messwertes, wie z.B. die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes, zu minimieren.

[0013] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt kann der Kraftsensor weiterhin mindestens einen dritten und einen vierten piezoresistiven Widerstand aufweisen. Bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors kann der dritte piezoresistive Widerstand mit einer resultierenden Kraft belastet werden. Der vierte piezoresistive Widerstand kann bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors unbelastet bleiben. Auf diese Weise kann die Messgenauigkeit weiter verbessert werden. Bei Nutzung von mindestens vier piezoresistiven Widerständen können diese beispielsweise in einer Wheatston'schen Brückenschaltung im Kraftsensor verschalten sein. Durch die Wheatston'sche Brücke können auch sehr kleine Widerstandsänderungen der belasteten Widerstände gemessen und Temperatureffekte kompensiert werden.

[0014] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt kann der Kraftsensor zusätzlich mindestens einen fünften bis achten piezoresistiven Widerstand aufweisen. Der Kraftsensor kann somit insgesamt acht piezoresistive Widerstände aufweisen. Der erste Teil und der zweite Teil sind dabei so ausgebildet, dass der erste, der dritte, der fünfte und der siebte piezo-

resistive Widerstand jeweils mit einer aus der axialen Druckbelastung des Kraftsensors resultierenden Kraft belastet werden, und der zweite, der vierte, der sechste und der achte piezoresistive Widerstand unbelastet bleiben. Vorteilhaft können auch diese Widerstände in einer Wheatston'schen Brückenschaltung verschaltet sein. Vorteilhaft können hierbei jeweils zwei belastete piezoresistive Widerstände bzw. zwei unbelastete piezoresistive Widerstände zu einem Widerstand der Wheatston'schen Brückenschaltung zusammengefasst sein. Ein Kraftsensor gemäß diesem vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann einen vorteilhaften Kraftfluss aufweisen. Der Kraftsensor liefert so noch bessere bzw. genauere Ergebnisse.

[0015] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die belasteten piezoresistiven Widerstände, also bspw. der erste, der dritte, der fünfte und der siebte piezoresistive Widerstand, im Innenraum umfänglich, vorzugsweise gleichmäßig voneinander und/ oder von der Öffnung beabstandet, um die Öffnung herum angeordnet sein. Beispielfhaft können zwischen zwei piezoresistiven Widerständen 180° liegen, oder zwischen vier piezoresistive Widerständen jeweils 90° . Eine solche Anordnung der piezoresistiven Widerstände, und insbesondere der belasteten piezoresistiven Widerstände, führt dazu, dass sich die Kraft der axialen Druckbelastung des Kraftsensors im Kraftfluss gleichmäßig aufteilt und in die belasteten piezoresistiven Widerstände eingeleitet wird.

[0016] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die piezoresistiven Widerstände Widerstandspaare bilden und die Widerstandspaare jeweils einen der belasteten piezoresistiven Widerstände und einen der unbelasteten piezoresistiven Widerstände enthalten. Anders formuliert kann ein Kraftsensor mit acht piezoresistiven Widerständen, von denen vier belastete Widerstände und vier unbelastete Widerstände sein können, vier Widerstandspaare aufweisen. In jedem der vier Widerstandspaare können je ein belasteter piezoresistiver Widerstand und ein unbelasteter piezoresistiver Widerstand enthalten sein. Eine Gruppierung jeweils zweier Widerstände zu einem Widerstandspaar kann sich vorteilhaft auf die Produktionsprozesse auswirken, insbesondere dann, wenn jeweils identische Widerstandspaare in einem Kraftsensor Verwendung finden.

[0017] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die belasteten piezoresistiven Widerstände näher an der Öffnung liegen als die unbelasteten piezoresistiven Widerstände. Zusammen mit weiteren vorteilhaften Aspekten der Erfindung kann eine solche Anordnung der Widerstände den Kraftsensor robuster und die Produktionsprozesse effizienter gestalten. Alternativ wäre es auch mög-

lich die unbelasteten piezoresistiven Widerstände näher an der Öffnung und die belasteten piezoresistiven Widerstände weiter entfernt von der Öffnung zu platzieren.

[0018] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die belasteten piezoresistiven Widerstände im Wesentlichen konzentrisch um einen Mittelpunkt der Öffnung angeordnet sein. Diese Anordnung kann sich positiv auf den Kraftfluss auswirken.

[0019] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann das zweite Teil zumindest einen hervorstehenden Bereich aufweisen. Der hervorstehende Bereich kann in der axialen Richtung auf einer dem ersten Teil zugewandten oder abgewandten Seite des zweiten Teils im Vergleich zu einem zweiten Bereich des zweiten Teils hervorstehen. Der hervorstehende Bereich kann auch sowohl auf der dem ersten Teil zugewandten als auch der dem ersten Teil abgewandten Seite hervorstehen. Der hervorstehende Bereich kann bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors die resultierenden Kräfte in den oder die belasteten piezoresistiven Widerstände einleiten.

[0020] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die Widerstandspaare umfänglich und vorzugsweise gleichmäßig voneinander und/oder von der Öffnung beabstandet um die Öffnung herum angeordnet sein.

[0021] Zusammen mit weiteren vorteilhaften Aspekten der Erfindung kann eine solche Anordnung den Kraftsensor weiter optimieren.

[0022] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die Widerstandspaare jeweils einen ersten bis dritten Kontakt aufweisen. Dabei kann der erste Kontakt mit dem belasteten piezoresistiven Widerstand elektrisch leitend verbunden sein. Der belastete piezoresistive Widerstand ist zusätzlich mit dem zweiten Kontakt elektrisch leitend verbunden. Der zweite Kontakt ist wiederum zusätzlich mit dem unbelasteten piezoresistiven Widerstand elektrisch leitend verbunden. Der unbelastete piezoresistive Widerstand wiederum ist zusätzlich mit dem dritten Kontakt elektrisch leitend verbunden. Die Widerstandspaare weisen somit eine Reihenschaltung auf. Anders formuliert folgt in der Reihenschaltung auf den ersten Kontakt der belastete piezoresistive Widerstand, auf diesen folgt der zweite Kontakt, auf den zweiten Kontakt folgt der unbelastete piezoresistive Widerstand und auf diesen wiederum folgt der dritte Kontakt. Die Ausgestaltung der Widerstandspaare mit den Kontakten in einer Reihenschaltung kann die elektrische Kopplung bzw. Verdrahtung innerhalb des Kraftsensors vereinfachen.

[0023] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können zumindest zwei der Widerstandspaare im Wesentlichen gleichartig und vorzugsweise identisch, insbesondere bezüglich ihres Layout und der Lage der Kontakte, ausgebildet sein. Auf diese Weise kann die Abstimmung der Messbrücke weiter vereinfacht werden und etwaige Messfehler werden verringert. Auch die Arbeitsschritte zur elektrischen Kopplung bzw. Verdrahtung der Widerstände können auf diese Weise effizienter gestaltet werden.

[0024] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die piezoresistiven Widerstände aus einer piezoresistiven Legierung wie Manganin oder Zeranin bestehen. Beide Materialien finden ansonsten üblicherweise Anwendung bei der Produktion von dynamischen Drucksensoren. Unter die Bezeichnung Manganin fallen Kupfer – Mangan – Legierungen, insbesondere solche mit einem Anteil von 83–87 Prozent Kupfer, etwa 12–13 Prozent Mangan und 0–4 Prozent Nickel. Beispielhaft kann Manganin 84 Prozent Kupfer, 12 Prozent Mangan und 4 Prozent Nickel enthalten. Manganin weist einen großen positiven piezoresistiven Effekt auf, und gleichzeitig eine geringe Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Aufgrund seiner Materialeigenschaften ist Manganin für die Produktionen in Dünnschichttechnik oder Folientechnik besonders geeignet. Als alternativer Werkstoff kann Zeranin genutzt werden. Auch bei Zeranin handelt es sich um eine Kupfer – Mangan – Verbindung. Zeranin weist einen ca. 90-prozentigen Kupferanteil, einen 7-prozentigen Mangananteil, einem etwa 2,3-prozentigen Zinnanteil, und weiteren Beimengungen von Aluminium, Eisen und Nickel auf. Aufgrund ihrer Materialeigenschaften eignen sich die genannten Legierungen und weitere vergleichbare Materialien für den vorgesehenen Zweck gut.

[0025] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung können die piezoresistiven Widerstände in Dünnschichttechnik oder Folientechnik gefertigt sein. Vorteilhaft können die Widerstandspaare dabei aus einem, bzw. in einem Stück gefertigt werden. Als Träger- und oder Deckfolie kommen vorteilhaft Polyimide oder andere Hochleistungspolymere (PEEK, Polysulfone oder ähnliches) in Betracht.

[0026] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann das zweite Teil des Kraftsensors in einem ersten Lagerbereich und in einem zweiten Lagerbereich mit dem ersten Teil in Verbindung stehen. Anders formuliert, kann das zweite Teil in einem ersten und in einem zweiten Lagerbereich auf dem ersten Teil auflagern. Vorteilhaft können das erste und das zweite Teil dabei formschlüssig oder stoffschlüssig verbunden sein. Beispielhaft können das zweite Teil und das erste Teil in dem ersten und zweiten Lagerbereich eine ineinander greifende Kontur

aufweisen, und über die gesamte Länge der Lagerbereiche verschweißt sein.

[0027] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann das zweite Teil einen ersten und einen zweiten Federbereich aufweisen, wobei die Federbereiche ausgestaltet sind, um eine elastische Verformung des zweiten Teils in axialer Richtung zu ermöglichen. Der zuvor erwähnte hervorstehende Bereich kann dabei zwischen dem ersten und dem zweiten Federbereich angeordnet sein. Beispielfhaft kann das zweite Teil beidseits des hervorstehenden Bereiches verdünnt sein. Die Federbereiche ermöglichen eine vorteilhafte elastische Verformung des zweiten Teils, sodass der hervorstehende Bereich des zweiten Teils sich stempelartig in Richtung der belasteten Widerstände bewegt, diese berührt und eine aus der axialen Druckbelastung des Kraftsensors resultierende Kraft in die jeweiligen belasteten piezoresistiven Widerstände einleitet.

[0028] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Innenraum des Kraftsensors eine lichte Höhe von 0,2 mm bis 3 mm und eine lichte Breite von zumindest 0,2 mm bis 3 mm aufweisen. Die Abmaße des Innenraums ermöglichen eine einfache Kontaktierung der Widerstände, und stellen weiterhin sicher, dass die unbelasteten Widerstände nicht durch die axiale Druckbelastung des Kraftsensors belastet werden.

[0029] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann das zweite Teil eine Leitungsöffnung in einer außen umlaufenden Randfläche aufweisen. Anschlussleitungen können durch die Leitungsöffnung in den Innenraum geführt und dort elektrisch, z.B. mittels der Kontakte, mit den Widerständen verbunden sein. Dies kann eine unkomplizierte Montage, bzw. den Ersatz von Scheibenringen durch den Kraftsensor ermöglichen.

[0030] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Innenraum auch einen Kanal in einer dem zweiten Teil zugewandten Oberfläche des ersten Teils umfassen. Vorzugsweise kann der Kanal in einem äußeren Bereich des ersten Teils teilweise oder ganz umlaufen. Auch der Kanal kann vorzugsweise eine Kanalhöhe und eine Kanalbreite zwischen 0,2 mm und 3 mm aufweisen. Die Anschlussleitungen können zumindest abschnittsweise in dem Kanal verlegt sein.

[0031] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann der Innenraum zumindest teilweise mit einem Polymer verfüllt sein. Vorteilhaft kann zumindest der Kanal um die Leitungsöffnung verfüllt sein, um eine hermetische Abdichtung des Innenraums zu gewährleisten.

[0032] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein System mit einem erfindungsgemäßen Kraftsensor und einer Auswerteelektronik bereitgestellt. Die Auswerteelektronik ist geeignet, um ein Messsignal des Kraftsensors auszuwerten. Die Auswerteelektronik ist weiterhin geeignet, eine Nachricht, beispielsweise mittels Netzwerkinfrastruktur und/ oder Nachrichtenbus an einen Nachrichtenempfänger zu versenden. Die Nachricht kann die Auswertung oder Teile der Auswertung, bzw. weitere Daten umfassen. Das System kann die Kontrolle der Vorspannkraft einer Bolzen- oder Schraubenverbindung vereinfachen.

[0033] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann das System einen Energiespeicher umfassen, wobei die Auswerteelektronik mit in dem Energiespeicher gespeicherter Energie autark betrieben werden kann. Durch den autarken Betrieb können Messungen, bzw. die kontinuierliche Überwachung von etwa Schrauben- oder Bolzenverbindungen auch an unzugänglichen Stellen durchgeführt werden.

[0034] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Aspekt der Erfindung kann die Auswerteelektronik weiterhin geeignet sein, den Energiespeicher mit verfügbarer Energie zu laden. Die verfügbare Energie kann beispielsweise aus Solarzellen, einem Windgenerator, oder mittels Energy-Harvesting bereitgestellt werden. Energy-Harvesting beschreibt ein Verfahren zur quasi-parasitären Nutzung elektromagnetischer Strahlung aus der Umwelt.

BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0035] Im Folgenden werden die Merkmale und Aspekte der Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, dabei zeigt

[0036] Fig. 1 eine Draufsicht auf einen erfindungsgemäßen Kraftsensor,

[0037] Fig. 2 eine Schnittdarstellung durch den Kraftsensor an der Schnittlinie A-A,

[0038] Fig. 3 eine Ausschnittvergrößerung des Bereichs X der Fig. 2,

[0039] Fig. 4 eine Ausschnittvergrößerung des Bereichs Y der Fig. 2,

[0040] Fig. 5 eine Schnittdarstellung durch den Kraftsensor an der Schnittlinie B-B,

[0041] Fig. 6 eine Ausschnittvergrößerung des Bereichs S der Fig. 5,

[0042] Fig. 7 eine Ausschnittvergrößerung des Bereichs T der Fig. 5,

[0043] Fig. 8 den Kraftsensor von Fig. 1 mit Anschlussleitungen,

[0044] Fig. 9 das Schaltbild des Kraftsensors nach Fig. 8,

[0045] Fig. 10 ein Widerstandspaar des Kraftsensors,

[0046] Fig. 11 eine Explosionszeichnung des Kraftsensors mit einer Unterlegscheibe und einem Bolzen,

[0047] Fig. 12 ein erfindungsgemäßes System mit einem Kraftsensor.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0048] Die Fig. 1–Fig. 11 zeigen einen exemplarischen erfindungsgemäßen Kraftsensor.

[0049] Fig. 1 zeigt eine Draufsicht, wobei das zweite Teil 20 nicht dargestellt ist. Der Kraftsensor ist flach und ringartig ausgebildet und weist eine durchgehende Öffnung 50 auf. Wie in Fig. 11 gezeigt, kann ein Bolzen bzw. eine Schraube durch die Öffnung geführt werden. Zwischen dem ersten Teil 10 und dem nicht dargestellten zweiten Teil 20 ist ein erster piezoresistive Widerstand 401 angeordnet.

[0050] Wie im Schnitt A-A von Fig. 2 dargestellt, wird bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors 1 durch das längliche Objekt 2 der erste piezoresistive Widerstand 401 mit einer aus der axialen Druckbelastung resultierenden Kraft F belastet. Konkret führt eine axiale Druckbelastung des Kraftsensors 1 zu einem Kräftepaar F , dass in axialer Richtung von unten durch das erste Teil 10 und von oben durch das zweite Teil 20 wirkt. Durch den hervorstehenden Bereich 201, wie er in Fig. 4 vergrößert dargestellt ist, wird die Kraft F in den ersten piezoresistiven Widerstand 401 eingeleitet.

[0051] Das erste Teil 10 und das zweite Teil 20 definieren zusammenwirkend den vorteilhafterweise hermetisch abgedichteten Innenraum 30.

[0052] Vorteilhafterweise umfasst der Kraftsensor, wie hier gezeigt, einen zweiten piezoresistiven Widerstand 402, wobei der Kraftsensor 1 derart ausgestaltet ist, dass der zweite piezoresistive Widerstand 402 bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors 1 unbelastet bleibt. Wie in der Detailansicht in Fig. 3 zu sehen, ist der zweite piezoresistive Widerstand derart angeordnet, dass keine Kraft in den zweiten piezoresistiven Widerstand 402 durch das zweite Teil eingeleitet werden kann. Insbesondere ist der zweite piezoresistive Widerstand 402 derart angeordnet, dass

er auch unter einer axialen Druckbelastung keinen Kontakt zum zweiten Teil 20 hat.

[0053] Fig. 1 zeigt ebenfalls einen dritten und einen vierten piezoresistiven Widerstand 403, 404, wobei auch in den dritten piezoresistiven Widerstand 403 ein Anteil F der durch die axiale Druckbelastung wirkenden Kräfte in diesen eingeleitet wird. Der vierte piezoresistive Widerstand 404 stellt ebenfalls eine unbelastete Referenz dar.

[0054] Der Kraftsensor 1 aus Fig. 1 zeigt eine besonders vorteilhafte Ausführungsform mit insgesamt acht piezoresistiven Widerständen 404–408, wobei vier der Widerstände bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors 1 mit Druckkräften F beaufschlagt werden, und vier weitere piezoresistive Widerstände 402, 404, 406, 408 als unbelastete Referenz dienen können.

[0055] Der dargestellte Kraftsensor zeigt eine vorteilhafte Anordnung der piezoresistiven Widerstände, welche regelmäßig beabstandet voreinander, gleichmäßig um den Umfang verteilt sind.

[0056] In Fig. 8 ist ebenfalls der Kraftsensor 1 von Fig. 1 dargestellt. Zu erkennen ist die Gruppierung jeweils eines belasteten Widerstandes und eines unbelasteten Widerstandes zu einem Widerstandspaar 441–444. Wenn sich die belasteten piezoresistiven Widerstände 401, 403, 405, 407, wie in den Fig. 1 und Fig. 8, bzw. in Fig. 2 und Fig. 5 gezeigt, näher an der Öffnung 50 befinden als die unbelasteten piezoresistiven Widerstände 402, 404, 406, 408, so vereinfacht dies die Leitungsführung stark.

[0057] Alternativ wäre es auch möglich die unbelasteten piezoresistiven Widerstände näher an der Öffnung 50 zu platzieren und die belasteten piezoresistiven Widerstände weiter von der Öffnung 50 entfernt.

[0058] Gezeigt ist eine Anordnung der belasteten piezoresistiven Widerstände 401, 403, 405, 407, in welcher die genannten Widerstände konzentrisch um einen Mittelpunkt 51 der Öffnung 50 anordnet sind.

[0059] Deutlich zu erkennen ist, dass die Widerstandspaare, wie sie in Fig. 10 gezeigt sind, ähnlich ausgebildet sind und rotationssymmetrisch mit einer Schrittweite von 90° im Innenraum 30 zwischen dem ersten Teil 10 und dem zweiten Teil 20, angeordnet sind.

[0060] Wie in den Fig. 2 und Fig. 5 gezeigt, ist der hervorstehende Bereich 201 in einer vorteilhaften Ausführungsform verdickt ausgeführt, sodass der hervorstehende Bereich 201 in einer vom ersten Teil 10 abgewandten Richtung über die anderen Bereiche hervorsteht. Gleichzeitig steht der verdickte Bereich 201 des zweiten Teils 20 auch in axialer Richtung

zum ersten Teil **10** hingewandt hervor. Der hervorstehende Bereich ist hier demnach stempelartig ausgeführt und ermöglicht die Krafteinleitung in die belasteten piezoresistiven Widerstände.

[0061] Weitere vorteilhafte Merkmale sind in den **Fig. 2** und **Fig. 5** gut zu erkennen. So weist das erste Teil **10** in einem inneren, die Öffnung **50** umschließenden Bereich und in einem äußeren Bereich jeweils einen sich in axialer Richtung erstreckenden Rand auf. Direkt neben dem äußeren Rand ist ein innenliegender Kanal **31** zu erkennen. Ebenso wie der Innenraum **30**, sollte der Kanal **31** Abmessungen aufweisen, die es erlauben, einfach und zuverlässig Anschlussleitungen zu verlegen. Die Kanalhöhe KH und die Kanalbreite KB kann vorteilhaft zumindest 0,2 mm bis 3 mm betragen. Die Leitungsöffnung **32** ist in **Fig. 7** noch einmal vergrößert dargestellt. Die nicht dargestellten Anschlussleitungen werden durch die Leitungsöffnung **32** geführt und in dem Kanal **31** am Umfang entlang gelegt.

[0062] Das zweite Teil **20** weist beidseits des hervorstehenden Bereichs **201** dünner ausgeführte Federbereiche **221** und **222** auf. Gut zu erkennen ist, dass der umlaufende Federbereich **221** nebenliegend zur Öffnung **50** ist, und eine deutlich kürzere Breite in radialer Richtung Ra aufweist, als der zweite Federbereich **222**. Im vorliegenden Fall weist die nach innen gerichtete, dem ersten, kürzeren Federbereich **221** abgewandte Kante **231** eine Rundung auf, um Belastungsspitzen zu vermeiden. Durch die unterschiedlich breiten Federbereiche **221**, **222** kann der hervorstehende Bereich **201**, hier als Ring ausgeführt, leicht tordieren. In einem inneren Lagerbereich **211** und einem äußeren Lagerbereich **212** liegt das zweite Teil **20** in einer entsprechenden Ausnehmung in den Rändern des ersten Teils **10** auf. Zusätzlich zu dem Formschluss bei Druckbelastung können das erste und das zweite Teil in den Lagerbereichen **212**, **211** auf ganzer Länge durch schweißen verbunden werden.

[0063] Vorteilhaft werden der Kanal **31** und der Innenraum **30** zumindest soweit mit einem Polymer aufgefüllt, dass die hermetische Abdichtung des Innenraums **30** sichergestellt ist, und dass die verlegten Leitungen festgesetzt sind. Die Leitungen können über Kontakte **411–414**, **421–424**, **431–434**, der Widerstandspaare **441–444** mit dem piezoresistiven Widerständen **401–408** elektrisch verbunden werden.

[0064] Eine vorteilhafte Ausführung eines Widerstandspaares, wie sie in dem Kraftsensor von **Fig. 1** bis **Fig. 12** Verwendung findet, ist in **Fig. 10** dargestellt.

[0065] Das Widerstandspaar **441** weist einen mäanderförmigen belasteten piezoresistiven Widerstand **401** und einen mäanderförmigen unbelasteten piezoresistiven Widerstand **402**, sowie drei Kontakte **411**,

421, **431**, auf. Wie ersichtlich, handelt es sich um eine Reihenschaltung, in der ein erster Kontakt **411** an einem Ende an den mäanderförmigen belasteten Widerstand **401** angeschlossen ist. An den ersten belasteten Widerstand **401** schließt sich der zweite Kontakt **421** an, auf welchen dann der zweite piezoresistive Widerstand **402** anschließt. Der zweite piezoresistive Widerstand **402** ist auch bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors **1** unbelastet. Ein dritter Kontakt **431** schließt sich an den unbelasteten piezoresistiven Widerstand **402** an, und dient zusammen mit dem ersten Kontakt **411** und dem zweiten Kontakt **421** dazu, das Widerstandspaar **441** in eine elektrische Schaltung zu integrieren.

[0066] Der erste piezoresistive Widerstand **401** und der zweite piezoresistive Widerstand **402** weisen in der gezeigten mäanderförmigen Ausgestaltung eine identische Gesamtlänge des von einem Strom durchflossenen piezoresistiven Materials, wie z.B. Manganin oder Zeranin auf.

[0067] In der mäandernden Struktur folgt jeweils auf eine links gerichtete Leiterschleife **500** ein Leiter definierter Länge **501** mit einem geringen Querschnitt, an welchen sich eine nach rechts gerichtete Leiterschleife **502** und ein weiterer piezoresistiver Leiter **503** anschließt. Auf diesen wiederum folgt eine weitere links gerichtete Leiterschleife **504**.

[0068] Das dargestellte Layout des Widerstandspaares **441** zeichnet sich durch seine Kompaktheit aus.

[0069] Die Kontakte **411**, **421**, **431** können beispielsweise als Lötflächen ausgestaltet sein.

[0070] Durch die Anordnung des innen liegenden belasteten piezoresistiven Widerstands **401** und des außen liegenden unbelasteten Widerstands **402**, sowie die drei Kontakte, lässt sich eine ausgesprochene einfache Kontaktierung erreichen. Insbesondere müssen Leiter nicht im druckbelasteten Bereich geführt werden.

[0071] Um wie dargestellt eine Wheatston'sche Brückenschaltung zu erreichen, wird der erste piezoresistive Widerstand **401** des ersten piezoresistiven Widerstandspaar **441** mit dem fünften piezoresistiven Widerstand **405** im dritten Widerstandspaar **443** verbunden. Der sechste piezoresistive Widerstand **406**, welcher ebenfalls im dritten Widerstandspaar **443** liegt, wird mit dem vierten piezoresistiven Widerstand **404** aus dem zweiten Widerstandspaar **442** verbunden. Ebenso verhält es sich mit dem dritten piezoresistiven Widerstand **403**, welcher ebenfalls im zweiten Widerstandspaar **442** liegt. Dieser wird mit dem siebten piezoresistiven Widerstand **407** des vierten Widerstandspaares **444** verbunden. Der achte piezoresistive Widerstand **408** wird an den zweiten piezoresis-

tiven Widerstand **402** aus dem ersten Widerstands-paar **441** angeschlossen.

[0072] Legt man an den zweiten Kontakt **423**, **424** des jeweils dritten und vierten Widerstands-paares **443**, **444** eine Spannung an, so ergibt sich die ge-suchte Messgröße in den jeweils zweiten Kontakten **421**, **422** des ersten und des zweiten Widerstandpaa-res **441**, **442**.

[0073] Mittels der Leiter **51–54** kann der Kraftsensor **1** an eine Auswerteelektronik **5**, wie in **Fig. 12** ge-zeigt, angeschlossen werden. Das System **4** mit ei-nem Kraftsensor **1**, und einer Auswerteelektronik **5** umfasst weiterhin Kommunikationsmittel, welche ge-eignet sind, Nachrichten mit einer Auswertung des Messsignals beispielsweise über eine Netzwerkin-frastruktur zu versenden. Die Netzwerkinfrastruktur kann vorzugsweise drahtlos, aber auch drahtgebun-den ausgestaltet sein.

[0074] Die Nachrichten können durch einen geeig-neten Nachrichtenempfänger empfangen und verar-beitet werden. Der Nachrichtenempfänger ist in der Lage, die Nachrichten einer Vielzahl von Auswerte-elektroniken mit Kraftsensor zu verarbeiten und an geeigneter Stelle an einen Bediener auszugeben.

[0075] In einer vorteilhaften Ausführungsform um-fasst das System mit der Auswerteelektronik und dem Kraftsensor zusätzlich einen Energiespeicher, wo-durch die Auswerteelektronik ohne eine externe En-ergieversorgung autark betrieben werden kann.

[0076] In besonders vorteilhafter Ausführung, ist die Auswerteelektronik zusätzlich geeignet, den Energie-speicher mit verfügbarer Energie, beispielsweise aus Solarzellen, einem Windgenerator oder mittels Ener-gy-Harvesting zu laden.

Bezugszeichenliste

1	Kraftsensor
2	Längliches Objekt
3	Unterlegscheibe
4	Messsystem
5	Auswertelektronik
6	Energiespeicher
10	Erstes Teil
20	Zweites Teil
30	Innenraum
31	Kanal
32	Leitungsöffnung
50	Öffnung
51	Mittelpunkt
52	Leiter
53	Leiter
54	Leiter
55	Leiter
107	Belasteter piezoresistiver Widerstand

108	Unbelasteter piezoresistiver Widerstand
201	Hervorstehender Bereich
202	Zweiter Bereich
211	Erster Lagerbereich
212	Zweiter Lagerbereich
221	Verdünnter Federbereich
222	Verdünnter Federbereich
231	Abgewandte Kante
401	Piezoresistiver Widerstand
402	Piezoresistiver Widerstand
403	Piezoresistiver Widerstand
404	Piezoresistiver Widerstand
405	Piezoresistiver Widerstand
406	Piezoresistiver Widerstand
407	Piezoresistiver Widerstand
408	Piezoresistiver Widerstand
411	Kontakt
412	Kontakt
413	Kontakt
414	Kontakt
421	Kontak
422	Kontakt
423	Kontakt
424	Kontakt
431	Kontakt
432	Kontakt
433	Kontakt
434	Kontakt
441	Widerstandspaare
442	Widerstandspaare
443	Widerstandspaare
444	Widerstandspaare
500	Leiterschleife
501	Definierte Länge
502	Leiterschleife
503	Piezoresistiver Leiter
504	Leiterschleife
Ax	Axiale Richtung
Fres	resultierende Kraft
KB	Kanaltiefe
KH	Kanaltiefe
LB	Lichte Breite
LH	Lichte Höhe
Ra	Radiale Richtung

Patentansprüche

1. Kraftsensor (**1**) umfassend ein erstes Teil (**10**) und ein zweites Teil (**20**), wobei zwischen dem ers-ten Teil (**10**) und dem zweiten Teil (**20**) zumindest ein erster piezoresistiver Widerstand (**401**) sowie min-destens ein zweiter piezoresistiver Widerstand (**402**) angeordnet ist, und der Kraftsensor (**1**) derart aus-gestaltet ist, dass bei einer axialen Druckbelastung des Kraftsensors (**1**) durch ein Objekt (**2**) zumindest der erste piezoresistive Widerstand (**401**) mit einer aus der axialen Druckbelastung resultierenden Kraft (**Fres**) belastet wird, und wobei der Kraftsensor (**1**) derart ausgestaltet ist, dass der zweite piezoresistive Widerstand (**402**) bei der axialen Druckbelastung des

Kraftsensoren (1) unbelastet bleibt, wobei das zweite Teil (20) zumindest einen hervorstehenden Bereich (201) sowie einen zweiten Bereich (202) aufweist, wobei der hervorstehende Bereich (201) in der axialen Richtung (Ax) auf einer dem ersten Teil (10) zugewandten und/ oder abgewandten Seite gegenüber dem zweiten Bereich (202) hervorsticht, um bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors die resultierenden Kräfte (Fres) lediglich in den oder die zu belastenden piezoresistiven Widerstände (401, 403, 405, 407) einzuleiten.

2. Kraftsensor (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Teil (10) und der zweite Teil (20) derart ausgestaltet und angeordnet sind, um zusammenwirkend einen hermetisch verschlossenen Innenraum (30) zu definieren.

3. Kraftsensor (1) nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass dieser Kraftsensor (1) mit einer Öffnung (50) derart ausgestaltet ist, um das sich in einer axialen Richtung (Ax) erstreckende Objekt (2) aufzunehmen.

4. Kraftsensor (1) nach Anspruch 1, umfassend mindestens einen dritten und einen vierten piezoresistiven Widerstand, wobei der Kraftsensor (1) derart ausgestaltet ist, dass bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors (1) der dritte piezoresistive Widerstand (403) mit einer resultierenden Kraft (Fres) belastet wird und der vierte piezoresistive Widerstand (404) unbelastet bleibt.

5. Kraftsensor (1) nach Anspruch 4, umfassend mindestens einen fünften bis achten piezoresistiven Widerstand, wobei der Kraftsensor (1) derart ausgestaltet ist, dass bei der axialen Druckbelastung des Kraftsensors (1) der fünfte und der siebte piezoresistive Widerstand (405, 407) mit jeweils einer resultierenden Kraft (Fres) belastet werden und der sechste und der achte piezoresistive Widerstand (406, 408) unbelastet bleiben.

6. Kraftsensor (1) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, wobei die belasteten piezoresistiven Widerstände (401, 403, 405, 407) sowie die unbelasteten piezoresistiven Widerstände im Innenraum (30) jeweils konzentrisch um einen Mittelpunkt (51) herum angeordnet sind.

7. Kraftsensor (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die belasteten piezoresistiven Widerstände sowie die unbelasteten piezoresistiven Widerstände jeweils vorzugsweise gleichmäßig voneinander und/ oder von dem Mittelpunkt (51) beabstandet sind.

8. Kraftsensor (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die piezoresistiven Widerstände (401–408) Widerstandspaare (441–444) bilden und die Wider-

standspaare (441–444) jeweils einen der belasteten piezoresistiven Widerstände (401, 403, 405, 407) und einen der unbelasteten piezoresistiven Widerstände (402, 404, 406, 408) enthalten.

9. Kraftsensor (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die belasteten piezoresistiven Widerstände (401, 403, 405, 407) auf einem anderen Radius liegen als die unbelasteten piezoresistiven Widerstände (402, 404, 406, 408) liegen.

10. Kraftsensor (1) nach Anspruch 8, wobei die Widerstandspaare (441–444) konzentrisch, vorzugsweise gleichmäßig voneinander und/ oder von dem Mittelpunkt (51) beabstandet, um den Mittelpunkt (51) herum angeordnet sind.

11. Kraftsensor (1) nach Anspruch 8, wobei die Widerstandspaare (441–444) jeweils einen ersten bis dritten Kontakt (411–414, 421–424, 431–434) aufweisen und der erste Kontakt (411–414) mit dem belasteten piezoresistiven Widerstand (401, 403, 405, 407), der belastete piezoresistive Widerstand zusätzlich mit dem zweiten Kontakt (421–424), der zweite Kontakt (421–424) zusätzlich mit dem unbelasteten piezoresistiven Widerstand (402, 404, 406, 408), und der unbelastete piezoresistive Widerstand (402, 404, 406, 408) zusätzlich mit dem dritten Kontakt (431–434) elektrisch leitend verbunden ist, so dass die Widerstandspaare (441–444) jeweils eine Reihenschaltung aufweisen.

12. Kraftsensor (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei der Kraftsensor (1) zumindest zwei der Widerstandspaare (441–444) nach Anspruch 8 enthält und die Widerstandspaare gleichartig oder identisch ausgebildet sind.

13. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die piezoresistiven Widerstände (401–408) aus einer piezoresistiven Legierung wie Manganin oder Zernin bestehen.

14. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die piezoresistiven Widerstände in Dünnschichttechnik und/oder Folientechnik gefertigt sind.

15. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das zweite Teil (20) an seinem Außenumfang (211) mit dem ersten Teil (10) in Verbindung steht.

16. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das zweite Teil (20) einen ersten und einen zweiten verdünnten Federbereich (221, 222) aufweist und der hervorstehende Bereich (201) radial zwischen dem ersten und zweiten Federbereich (211, 212) angeordnet ist.

17. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Innenraum (30) zwischen den nicht belasteten piezoresistiven Widerständen (402, 404, 406, 408) und dem zweiten Bereich (202) des zweiten Teils (20) eine lichte Höhe (LH) von 0,2 mm bis 3 mm und eine lichte Breite (LB) von zumindest 0,2 mm bis 3 mm aufweist.

18. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das erste Teil (10) eine Leitungsöffnung (32) in einer umlaufenden Randfläche aufweist, wobei Anschlussleitungen (51–54) durch die Leitungsöffnung (32) in den Innenraum (30) geführt werden.

19. Kraftsensor (1) nach Anspruch 17, wobei der Innenraum (30) einen Kanal (31) im ersten Teil (10) umfasst, wobei der Kanal (31) in einem äußeren Bereich des ersten Teils (10) zumindest teilweise und vorzugsweise ganz umläuft und vorzugsweise eine Kanalbreite (KB) und eine Kanalhöhe (KH) zwischen 0,2 mm und 3 mm aufweist, und wobei die Anschlussleitungen (51–54) zumindest abschnittsweise in dem Kanal (31) verlegt sind.

20. Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Innenraum (30) zumindest teilweise mit einem Polymer verfüllt ist.

21. Messsystem (4), einen Kraftsensor (1) nach einem der vorherigen Ansprüche und eine Auswerteelektronik (5) umfassend, wobei die Auswerteelektronik (5) geeignet ist, um ein Messsignal des Kraftsensors (1) auszuwerten und eine Auswertung zu erstellen, und die Auswerteelektronik (5) weiterhin geeignet ist, eine Nachricht die Auswertung umfassend, beispielsweise mittels Netzwerkinfrastruktur und/ oder Nachrichtenbus, an einen Nachrichtempfänger zu versenden.

22. Messsystem (4) nach Anspruch 21, weiterhin einen Energiespeicher (6) umfassend, wobei die Auswerteelektronik (5) mit in dem Energiespeicher (6) gespeicherter Energie autark betrieben werden kann.

23. Messsystem (4) nach Anspruch 21, wobei die Auswerteelektronik (5) geeignet ist, den Energiespeicher (6) mit verfügbarer Energie, beispielsweise aus Solarzellen, einem Windgenerator oder mittels Energy-Harvesting, zu laden.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Fig. 3
Detail X

212 30 202

H KB KH

31 402

Fig. 4
Detail Y

201 211 401

Fig. 5
B-B

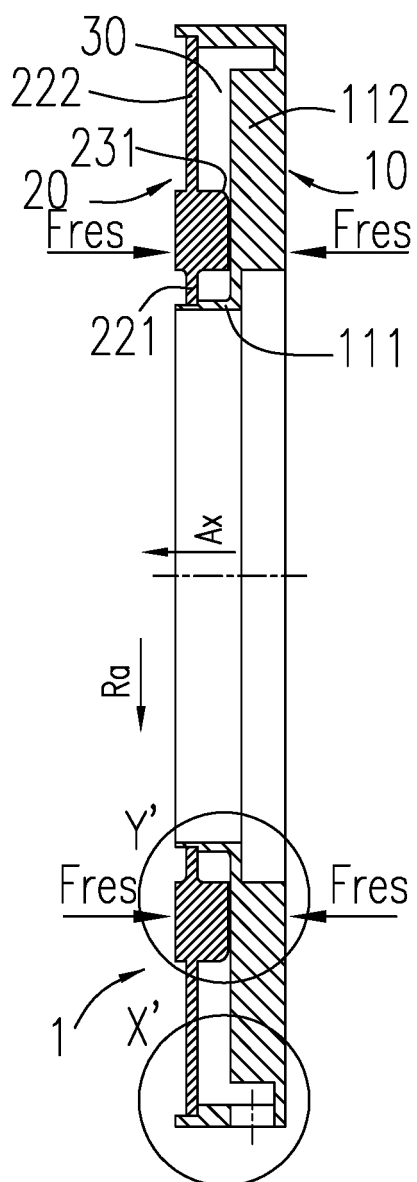


Fig. 6
Detail Y'

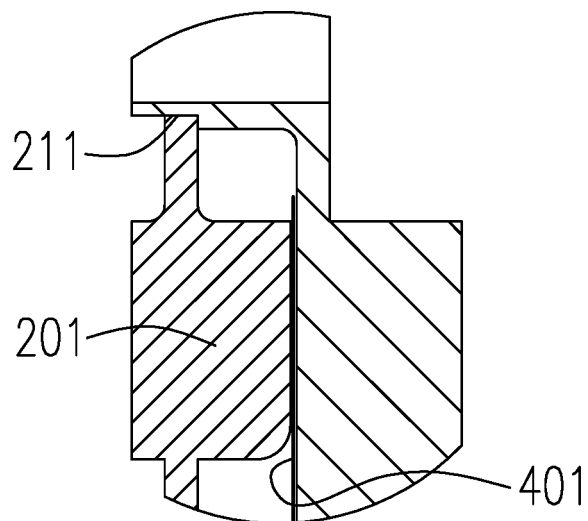


Fig. 7
Detail X'

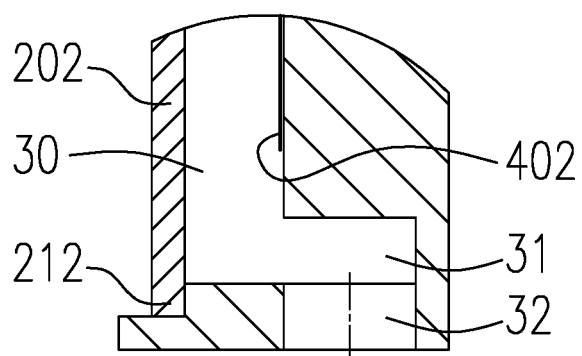


Fig. 8

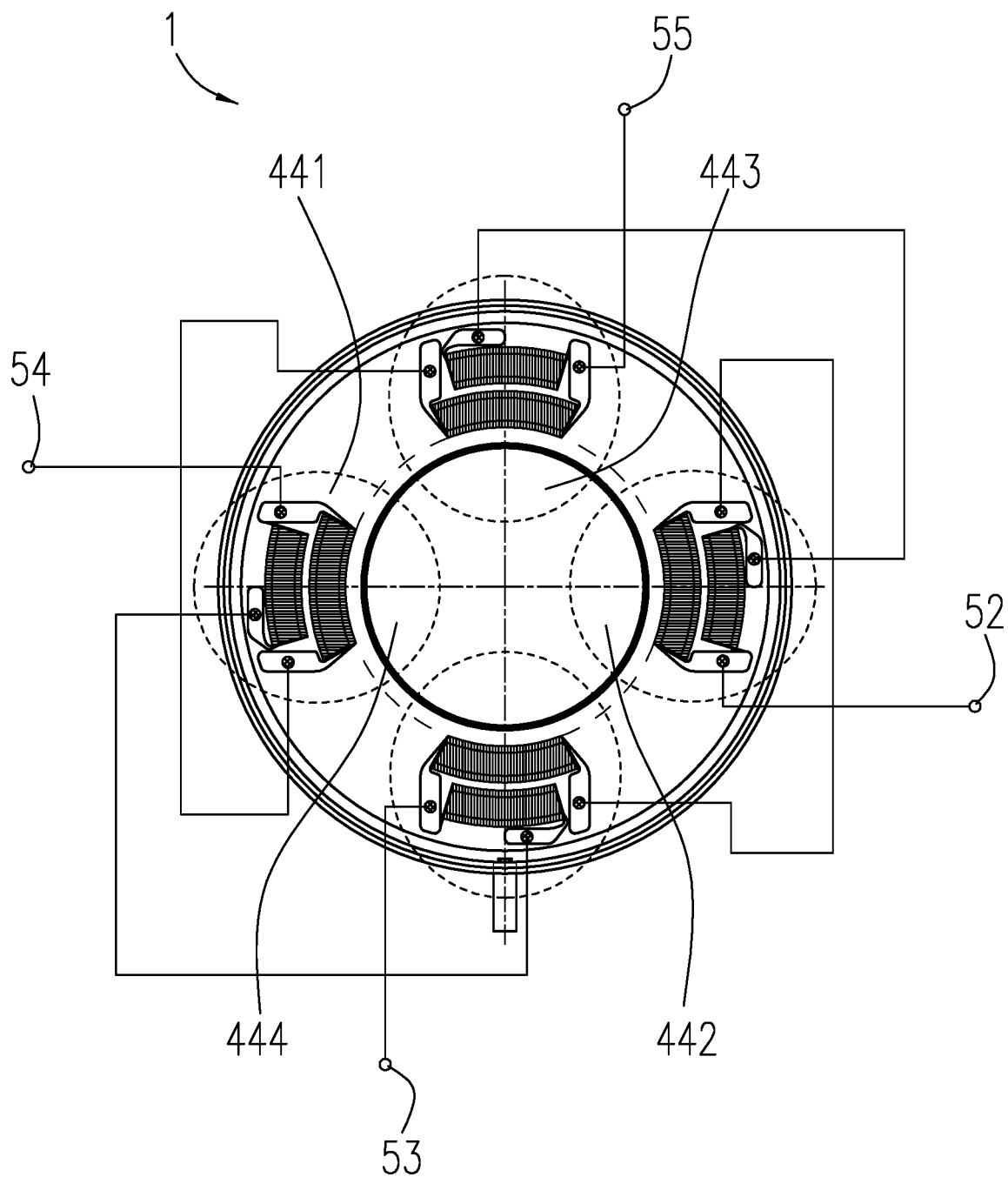


Fig. 9

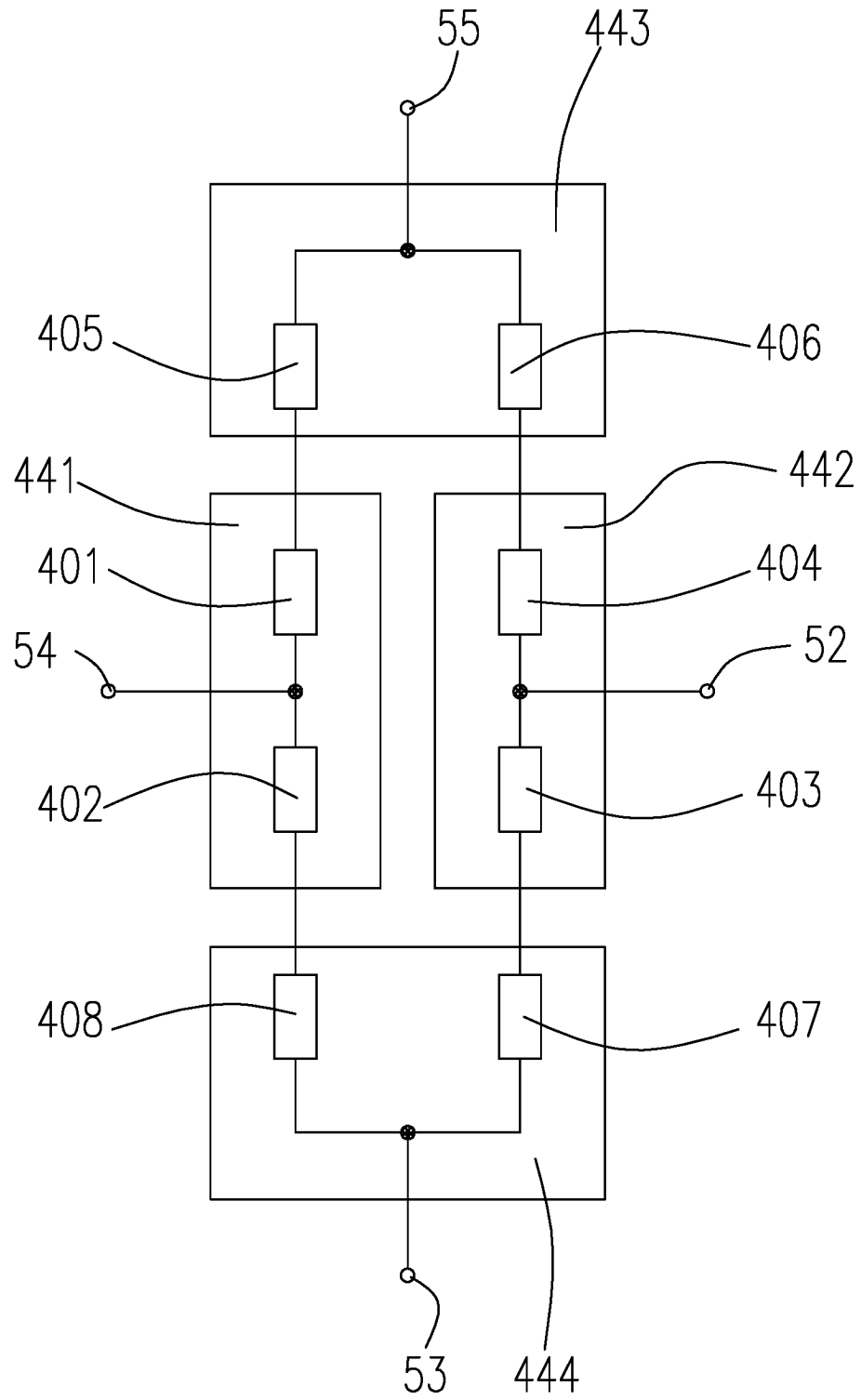


Fig. 10

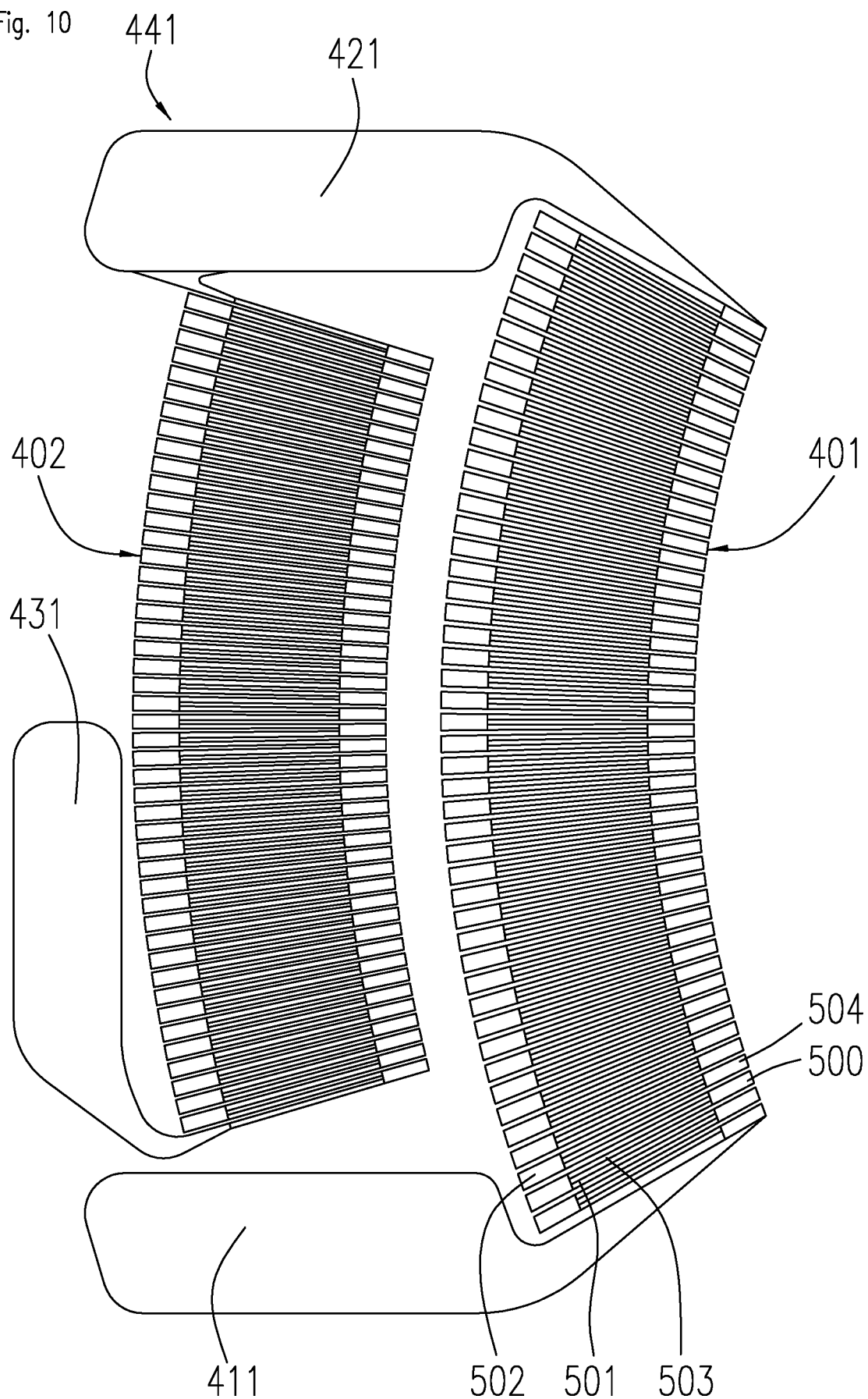


Fig. 11

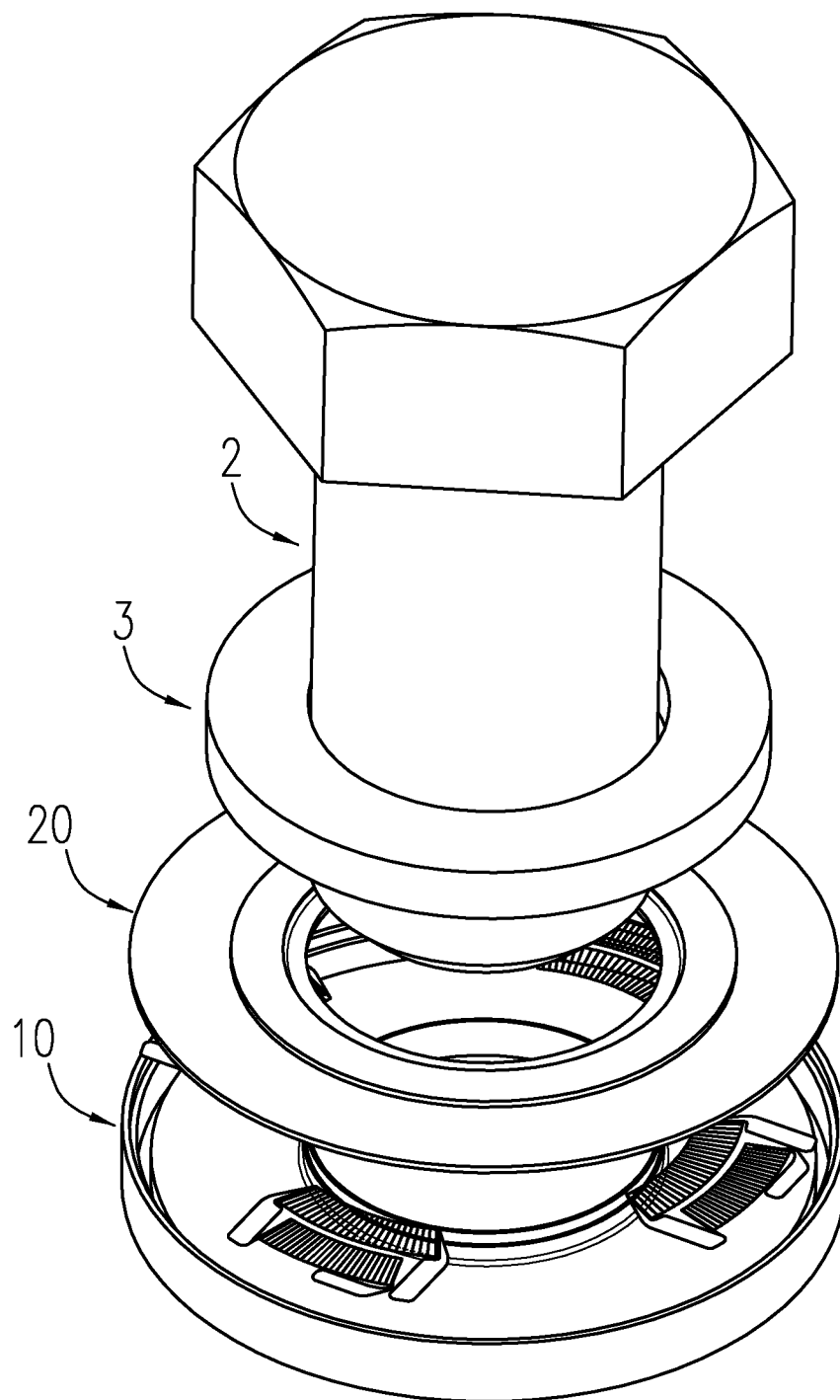


Fig. 12

