



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

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

eine Mantelfläche (32, 32') und einen Hohlraum (33, 33') aufweist, Deckfläche (31, 31') und Mantelfläche (32, 32') sind mechanisch miteinander verbunden und umschliessen den Hohlraum (33, 33'); wobei das Resonatorelement (20) im Hohlraum (33, 33') angeordnet ist; wobei das Resonatorelement (20) mit der Mantelfläche (32, 32') mechanisch verbunden ist; wobei die Kraft (F) an der Deckfläche (31, 31') angreift, welche die Kraft (F) in die Mantelfläche (32, 32') weiterleitet; wobei die Mantelfläche (32, 32') mindestens einen ausgesparten Bereich (34, 34') aufweist, welcher bis zum Hohlraum (33, 33') reicht und das Weiterleiten der Kraft (F) in der Mantelfläche (32, 32') verhindert; und wobei die Mantelfläche (32, 32') mindestens einen nichtausgesparten Bereich (35, 35') aufweist, nur der nichtausgesparte Bereich (35, 35') leitet die Kraft (F) weiter.

## Messwertaufnehmer zum Messen einer Kraft

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft einen Messwertaufnehmer zum Messen einer Kraft nach dem Oberbegriff des unabhängigen Anspruchs.

### Stand der Technik

[0002] Zum Messen einer dynamischen Kraft zeigt die Schrift EP0065511A1 einen Messwertaufnehmer mit einem piezoelektrischen Sensorelement. Das piezoelektrische Sensorelement weist mehrere scheibenförmige Plättchen aus piezoelektrischem Material auf, mit einem Scheibendurchmesser der Plättchen, der wesentlich grösser als eine Dicke der Plättchen ist. Zum Messen der Kraft wird der direkte piezoelektrische Effekt in Form des Longitudinaleffektes angewendet. Das piezoelektrische Material ist räumlich so zur Kraft orientiert, dass die Kraft normal auf Scheibenflächen der Plättchen einwirkt und auf den Scheibenflächen elektrische Polarisationsladungen erzeugt. Die elektrischen Polarisationsladungen werden von Elektroden abgenommen und als Ladungssignale an eine Auswerteeinheit abgeleitet. Die elektrischen Polarisationsladungen sind proportional zur wirkenden Kraft. Aufgrund von praktisch immer vorhandenen elektrischen Leckströmen ist mit dem direkten piezoelektrischen Effekt nur das Messen einer dynamischen Kraft mit Änderungsfrequenzen im Bereich von einigen Hz bis mehreren MHz möglich, quasistatische Kraftmessungen von einigen Minuten Dauer sind möglich.

**[0003]** Im Unterschied dazu ändert sich eine statische Kraft auch über lange Zeiträume von Stunden, Wochen und Jahren nicht. Zum Messen einer statischen Kraft lehrt der Messwertaufnehmer der Schrift EP0065511A1 die Anwendung des inversen piezoelektrischen Effektes. Ein weiteres piezoelektrisches Sensorelement weist mehrere scheibenförmige Plättchen aus piezoelektrischem Material auf, an welche über Elektroden ein elektrisches Wechselfeld als Frequenzsignale angelegt wird. Das elektrische Wechselfeld regt die Plättchen mittels des inversen piezoelektrischen Effektes zu mechanischen Schwingungen an. Das elektrische Wechselfeld ist durchstimmbar und wird von der Auswerteeinheit erzeugt. Wenn eine Anregungsfrequenz des elektrischen Wechselfeldes gleich einer mechanischen Eigenfrequenz der Plättchen ist, liegt Resonanz vor, die entsprechende Frequenz wird Resonanzfrequenz genannt. Unter der Wirkung der statischen Kraft ändert sich die Resonanzfrequenz der Plättchen, welche Frequenzänderung von einer Oszillatorschaltung der Auswerteeinheit erfasst wird. Das Messen der dynamischen Kraft und der statischen Kraft erfolgt gemäss der Lehre der Schrift EP0065511A1 gleichzeitig.

**[0004]** Aufgabe der Erfindung ist es, den Messwertaufnehmer aus dem Stand der Technik zu verbessern.

#### **Darstellung der Erfindung**

**[0005]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des unabhängigen Anspruchs gelöst.

**[0006]** Die Erfindung betrifft einen Messwertaufnehmer zum Messen einer Kraft, mit einem Resonatorelement, welches zu

mindestens einer Resonanzfrequenz anregbar ist; und mit mindestens einem Kraftangriffselement, an welchem die Kraft angreift und welches die Kraft zum Resonatorelement weiterleitet; wobei das Kraftangriffselement ein Hohlkörper ist, welcher eine Deckfläche, eine Mantelfläche und einen Hohlraum aufweist, Deckfläche und Mantelfläche sind mechanisch miteinander verbunden und umschliessen den Hohlraum; wobei das Resonatorelement im Hohlraum angeordnet ist; wobei das Resonatorelement mit der Mantelfläche mechanisch verbunden ist; wobei die Kraft an der Deckfläche angreift, welche die Kraft in die Mantelfläche weiterleitet; wobei die Mantelfläche mindestens einen ausgesparten Bereich aufweist, welcher bis zum Hohlraum reicht und das Weiterleiten der Kraft in der Mantelfläche verhindert; und wobei die Mantelfläche mindestens einen nichtausgesparten Bereich aufweist, nur der nichtausgesparte Bereich leitet die Kraft weiter.

**[0007]** Das mit einer Resonanzfrequenz angeregte Resonatorelement reagiert auf die zu messende Kraft mit einer Frequenzänderung der Resonanzfrequenz. Nun ist die Frequenzänderung proportional zu einer Kraftempfindlichkeit des Resonatorelementes, welche Kraftempfindlichkeit wiederum von einem Krafteinleitungswinkel abhängt. Je nach Lage des Krafteinleitungswinkels zu einem Maximum der Kraftempfindlichkeit und je nach Grösse eines Krafteinleitungswinkelbereiches wird die Frequenzänderung in Summe mit einer mittleren Kraftempfindlichkeit gemessen, die nur ein Bruchteil der maximalen Kraftempfindlichkeit ist.

**[0008]** Hier setzt die Erfindung an, in dem der Krafteinleitungswinkelbereich so eingestellt wird, dass in Summe eine

mittlere Kraftempfindlichkeit nahe am Maximum der Kraftempfindlichkeit des Resonatorelementes ist. Eine optimale Einstellung des Krafteinleitungswinkelbereiches lässt sich mit dem Kraftangriffselement erreichen. Dabei wird mit dem ausgesparten Bereich der Mantelfläche der Krafteinleitungswinkelbereich in der Nähe des Maximums der Kraftempfindlichkeit des Resonatorelementes begrenzt. Ein Weiterleiten der zu erfassenden Kraft erfolgt nur im nichtausgesparten Bereich der Mantelfläche. Je kleiner der Krafteinleitungswinkelbereich ist, desto grösser ist die mittlere Kraftempfindlichkeit, desto grösser ist aber auch ein lokaler Druck auf das Resonatorelement. Bei einer optimalen Begrenzung des Krafteinleitungswinkelbereiches ist die mittlere Kraftempfindlichkeit möglichst gross, während der lokale Druck auf das Resonatorelement unterhalb einer zulässigen Druckfestigkeit liegt.

### **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

**[0009]** Im Folgenden wird die Erfindung beispielhaft unter Bezug der Figuren näher erklärt. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Explosivdarstellung eines Teils eines Messwertaufnehmers;

Fig. 2 eine Ansicht in Perspektive eines Teils einer ersten Ausführungsform des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 mit einem piezoelektrischen Aufnehmerelement;

Fig. 3 einen Schnitt durch einen Teil der ersten Ausführungsform eines Messwertaufnehmers nach Fig. 2;

- Fig. 4 eine Ansicht in Perspektive eines Teils einer zweiten Ausführungsform des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 mit zwei piezoelektrischen Aufnehmerelementen;
- Fig. 5 einen Schnitt durch einen Teil der zweiten Ausführungsform eines Messwertaufnehmers nach Fig. 4;
- Fig. 6 eine Ansicht in Perspektive eines Teils einer dritten Ausführungsform des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 mit einem piezoelektrischen Aufnehmerelement;
- Fig. 7 einen Schnitt durch einen Teil der dritten Ausführungsform eines Messwertaufnehmers nach Fig. 6;
- Fig. 8 eine Ansicht in Perspektive eines Teils einer vierten Ausführungsform des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 mit zwei piezoelektrischen Aufnehmerelementen;
- Fig. 9 einen Schnitt durch einen Teil der vierten Ausführungsform eines Messwertaufnehmers nach Fig. 8;
- Fig. 10 eine erste Darstellung einer mittleren Kraftempfindlichkeit eines Resonatorelementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 in Abhängigkeit eines Krafteinleitungswinkels;
- Fig. 11 eine zweite Darstellung der mittleren Kraftempfindlichkeit eines Resonatorelementes des Messwertauf-

nehmers nach Fig. 1 bis 9 in Abhängigkeit von Krafteinleitungswinkelbereichen;

Fig. 12 eine perspektivische Ansicht einer ersten Ausführungsform eines Kraftangriffselementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9;

Fig. 13 eine perspektivische Ansicht einer zweiten Ausführungsform eines Kraftangriffselementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9;

Fig. 14 eine Draufsicht einer dritten Ausführungsform eines Kraftangriffselementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 mit einem ersten Krafteinleitungswinkelbereich;

Fig. 15 eine Draufsicht einer vierten Ausführungsform eines Kraftangriffselementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 mit einem zweiten Krafteinleitungswinkelbereich;

Fig. 16 einen Schnitt durch einen Teil des Messwertaufnehmers nach Fig. 2 oder 3 mit einem Kraftangriffselement nach Fig. 14 oder 15;

Fig. 17 einen Schnitt durch einen Teil des Messwertaufnehmers nach Fig. 8 oder 9 mit zwei Kraftangriffselementen nach Fig. 14 oder 15;

Fig. 18 eine erste Darstellung eines mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffizienten eines Resonatorele-



mentes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 in Abhängigkeit eines Krafteinleitungswinkels;

Fig. 19 eine zweite Darstellung des mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffizienten eines Resonatorelementes des Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 in Abhängigkeit von Krafteinleitungswinkelbereichen; und

Fig. 20 eine Ansicht einer Ausführungsform eines einsatzbereit montierten Messwertaufnehmers nach Fig. 1 bis 9 mit einem Kraftangriffselement nach Fig. 14 oder 15.

### **Wege zur Ausführung der Erfindung**

**[0010]** Der Messwertaufnehmer 1 ist zum gleichzeitigen Messen einer Kraft  $F$  vorgesehen, die sowohl dynamisch als auch statisch sein kann. Eine dynamische Kraft  $F$  ändert sich in kurzen Zeiträumen und weist Änderungsfrequenzen im Bereich von einigen Hz bis mehreren MHz auf. Eine statische Kraft  $F$  ändert sich über lange Zeiträume von Stunden, Wochen und Jahren nicht und weist Änderungsfrequenzen im Bereich von mHz bis nHz auf. Ob die zu erfassende Kraft  $F$  dynamisch oder statisch ist, hängt einzig von ihrer Änderungsfrequenz ab. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann den Messwertaufnehmer auch zum gleichzeitigen Messen eines dynamischen Druckes und eines statischen Druckes vorsehen. Auch kann der Fachmann den Messwertaufnehmer zum Messen einer Beschleunigung vorsehen.

**[0011]** Der Messwertaufnehmer 1 weist eine Längsachse AA', eine Querachse BB' und eine Schrägachse CC' auf. Die Achsen stehen schräg aufeinander, vorzugsweise stehen sie senkrecht aufeinander. Im Sinne der Erfindung wird mit dem Adjektiv schräg jeder von Null verschiedene Winkel gemeint, unter dem die Achsen aufeinander stehen. Die Längsachse AA' steht senkrecht auf einer Querebene BC. Die Fig. 1 bis 9 zeigen mehrere Ausführungsformen eines Messwertaufnehmers 1 mit mindestens einem piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10', welches eine Kraft F mittels des direkten piezoelektrischen Effektes misst und mit einem Resonatorelement 20, welches eine Querdehnung Q mittels einer Frequenzänderung einer Resonanzfrequenz misst. Die Kraft F und die Querdehnung Q sind schematisch als Pfeile dargestellt.

**[0012]** Die Kraft F wird in den Messwertaufnehmer 1 in einer Kraftrichtung eingeleitet, die parallel zur Längsachse AA' ist. Im Sinne der Erfindung wird auch von der Kraftrichtung AA' gesprochen. Die Kraft F greift in mindestens einem Aufnehmerkontaktbereich K1, K1' am piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' an, der Aufnehmerkontaktbereich K1, K1' liegt im Kraftfluss. Die Kraft F kann direkt oder indirekt am piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' angreifen. Die Kraft F greift in mindestens einem Resonatorkontaktbereich K2, K2' am Resonatorelement 20 an, auch der Resonatorkontaktbereich K2, K2' liegt im Kraftfluss. Die Kraft F kann direkt oder indirekt am Resonatorelement 20 angreifen. In den Ausführungsformen nach Fig. 1 bis 9 ist das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' über den Resonatorkontaktbereich K2, K2' im mechanischen Kontakt mit dem Resonatorelement 20.

**[0013]** Das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' misst die Kraft F direkt im Kraftfluss, während das Resonatorelement 20 die von der Kraft F verursachte Querdehnung Q in einem Schwingbereich misst, der ausserhalb des Kraftflusses liegt. Die Kraft F verursacht eine elastische Verformung des Resonatorelementes 20. Die elastische Verformung des Resonatorelementes 20 ist eine Funktion der Kraft F, vorzugsweise ist sie proportional zur Grösse der Kraft F. Im Resonatorelement 20 treten entlang der Längsachse AA' eine Längenänderung und in der Querebene BC die Querdehnung Q auf. Eine Grösse der Querdehnung Q ist eine Funktion der Kraft, vorzugsweise ist sie proportional zur Grösse der Kraft F. In den Ausführungsformen nach Fig. 1 bis 5 ist die Kraft F eine Druckkraft, in den Ausführungsformen nach Fig. 6 bis 9 ist die Kraft F eine Zugkraft. Die Querdehnung Q kann isotrop oder anisotrop sein. Gerade bei piezoelektrischem Material ist die Querdehnung Q anisotrop.

**[0014]** Das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' ist hohlzylinderförmig (Ring, Hülse, usw.). Das Resonatorelement 20 ist zylinderförmig (Scheibe, Rundstab, usw.). Die Längsachse AA' durchdringt das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 zentral. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann auch andere bekannte Formen von piezoelektrischen Aufnehmerelementen und von Resonatorelementen wie Polyeder, Würfel, Quader, Hohlkegelstumpfe, Halbscheiben, Viertelscheiben, usw. realisieren.

**[0015]** Das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' besteht aus piezoelektrischem Material 11, 11'. Das piezoelektrische Material 11, 11' ist Kristallmaterial wie Quarz ( $\text{SiO}_2$

Einkristall), Calcium-Gallo-Germanat ( $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$  oder CGG), Langasit ( $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  oder LGS), Turmalin, Galliumorthophosphat, sowie Piezokeramik, usw. Vorzugsweise besteht das piezoelektrische Material 11, 11' aus Kristallmaterial einer Symmetrieklasse  $m$ ,  $32$ ,  $3m$ ,  $\bar{4}2m$ ,  $2m$  oder  $23$ . Vorzugsweise wird Quarz als piezoelektrisches Material 11, 11' verwendet, mit den orthogonalen Achsen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  als Kristallachsen und der Achse  $z$  als optischer Achse. Ein Elastizitätskoeffizient  $s_{\lambda\mu} = (\delta S_\lambda / \delta T_\mu)$  von Quarz ist in einer Ebene  $xy$  für unterschiedliche Orientierungen des piezoelektrischen Materials 11, 11' vom Betrag her gleich. Mit  $S_\lambda$  wird ein mechanischer Dehnungstensor in Matrixschreibweise bezeichnet, mit  $T_\mu$  wird ein mechanischer Spannungstensor in Matrixschreibweise bezeichnet, mit Tensorindizes  $\lambda$ ,  $\mu = 1$  bis  $6$ . Und auch ein thermischer Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  von Quarz ist in der Ebene  $xy$  für unterschiedliche Orientierungen des piezoelektrischen Materials 11, 11' gleich.

**[0016]** Die Kraft  $F$  wirkt auf das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und erzeugt elektrische Polarisationsladungen auf Elementflächen des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10'. Das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' ist für den direkten piezoelektrischen Effekt in Form des Longitudinaleffektes so orientiert, dass auf Stirnflächen auf denen die Kraft  $F$  einwirkt, auch elektrische Polarisationsladungen erzeugt werden. Die Stirnflächen sind somit die Elementflächen. Die Stirnflächen liegen in der Querebene  $BC$ . Damit sich der direkte piezoelektrische Effekt einstellt, muss ein piezoelektrischer Koeffizient  $d_{i\mu} = (\delta D_i / \delta T_\mu)$  ungleich Null sein. Mit  $D_i$  wird ein elektrisches Verschiebungsfeld bezeichnet, mit  $T_\mu$  wird ein mechanischer Spannungstensor in

-11-

Matrixschreibweise bezeichnet, mit lateinischen Indizes  $i = 1$  bis 3 und mit Tensorindizes  $\mu = 1$  bis 6. Eine Empfindlichkeit gibt an, wie stark das erste piezoelektrische Material 11, 11' auf die Kraft  $F$  reagiert, wie viele elektrische Polarisationsladungen die Kraft  $F$  erzeugt. Die Empfindlichkeit wird vom piezoelektrischen Koeffizienten  $d_{i\mu} = (\delta D_i / \delta T_\mu)$  bestimmt. Das piezoelektrische Material 11, 11' ist so zur Kraft  $F$  orientiert, dass es eine hohe Empfindlichkeit, vorzugsweise eine maximale Empfindlichkeit für den direkten piezoelektrischen Effekt hat. Vorzugsweise wird Quarz als piezoelektrisches Material 11, 11' verwendet, mit den orthogonalen Achsen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  als Kristallachsen und der Achse  $z$  als optischer Achse. Für den Longitudinaleffekt weist der piezoelektrische Koeffizient  $d_{11}$  eine maximale Empfindlichkeit auf, wenn das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' als  $x$ -Ring mit einer Achse  $x$  als Normale zu einer Ebene  $yz$  geschnitten ist. Die Achse  $x$  des  $x$ -Rings ist parallel zur Längsachse  $AA'$ . Die optische Achse  $z$  des  $x$ -Rings liegt in der Querebene  $BC$ . Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann auch den Transversaleffekt verwenden, wo das piezoelektrische Aufnehmerelement so orientiert ist, dass elektrische Polarisationsladungen auf Elementflächen erzeugt werden, die senkrecht zu den Stirnflächen sind, auf denen die Kraft  $F$  einwirkt.

**[0017]** Das Resonatorelement 20 kann ebenfalls aus piezoelektrischem Material 21 bestehen. Vorzugsweise sind das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 aus dem gleichen piezoelektrischem Material 11, 11', 21, wodurch die Herstellung des Messwertaufnehmers 1 kostengünstig ist und das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 weitgehend ähnliche physikalische

Eigenschaften haben. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann das Resonatorelement aber auch aus einem Verbund aus einem piezoelektrischem Material und einem nicht-piezoelektrischen Material wie einem Metall, einem Nichtmetall, einem Halbleiter, einem organischen Werkstoff, einem anorganischen nichtmetallischen Werkstoff, usw. bestehen. Vorzugsweise sind die beiden Materialien über Stoffschluss wie Thermokompressionsbonden, Kleben, usw. miteinander verbunden. Eine Schwingungsanregung des piezoelektrischen Materials führt zu einer mechanischen Schwingung des Verbundes.

**[0018]** Das Resonatorelement 20 lässt sich mit einer Anregungsfrequenz des elektrischen Wechselfeldes zu mindestens einer Resonanzfrequenz in einem Grundton und  $n$  Obertönen anregen. Resonanz liegt vor, wenn die Anregungsfrequenz gleich einer mechanischen Eigenfrequenz des Resonatorelementes 20 ist. Damit sich der inverse piezoelektrische Effekt einstellt, muss ein piezoelektrischer Modul  $e_{i\lambda} = \delta D_i / \delta S_\lambda$  ungleich Null sein, mit  $D_i$  wird das elektrische Verschiebungsfeld bezeichnet, mit  $S_\lambda$  wird der mechanische Dehnungstensor in Matrixschreibweise bezeichnet, mit lateinischen Indizes  $i = 1$  bis 3 und mit Tensorindizes  $\lambda = 1$  bis 6. Das Resonatorelement 20 ist so orientiert, dass es als Dickenschwinger oder als Längen- oder Dehnungsschwinger oder als Biegeschwinger oder als Flächenschwinger oder als Dickenschwinger schwingt. Vorzugsweise wird das Resonatorelement 20 als Dickenschwinger betrieben. Als Dickenschwinger ist das Resonatorelement 20 so orientiert, dass sich zwei Stirnflächen des zylinderförmigen Resonatorelementes 20 in der Querebene BC gegenläufig verschieben. Die Stirnflächen liegen in der Querebene BC.

**[0019]** Die Querdehnung  $Q$  erzeugt eine Frequenzänderung  $\Delta f$  der Resonanzfrequenz  $f$  des Resonatorelementes 20. Die Frequenzänderung  $\Delta f$  ist eine Funktion der Kraft  $F$ . Vorzugsweise ist die Frequenzänderung  $\Delta f$  proportional zur Grösse der Querdehnung  $Q$ . So kann die Frequenzänderung  $\Delta f = Q * K_f * (f^2 * \eta / n * D)$  eine Funktion von mehreren Parametern sein. Die Frequenzänderung  $\Delta f$  kann somit auch proportional zu einer Kraftempfindlichkeit  $K_f$  sein. Die Kraftempfindlichkeit  $K_f$  wiederum hängt von einem Krafteinleitungswinkel  $\theta$  ab. Mit  $D$  wird ein Dimensionsparameter wie ein Durchmesser in der Querebene BC des piezoelektrischen Materials 21 bezeichnet. Mit  $\eta$  wird ein Vorrichtungssparameter bezeichnet. Vorzugsweise wird Quarz als piezoelektrisches Material 21 des Resonatorelementes 20 verwendet, mit den orthogonalen Achsen  $x$ ,  $y$ ,  $z$  als Kristallachsen und der Achse  $z$  als optischer Achse. Das Resonatorelement 20 ist als  $y$ -Scheibe mit der Achse  $y$  als Normale zu einer Ebene  $zx$  geschnitten und weist einen piezoelektrischen Modul  $e_{26}$  und einen Elastizitätsmodul  $c_{66}$  auf. Die Achse  $y$  der  $y$ -Scheibe ist parallel zur Längsachse  $AA'$ . Die optische Achse  $z$  der  $y$ -Scheibe liegt in der Querebene BC. Es ist auch möglich anstelle einer  $y$ -Scheibe eine AT-Scheibe als Resonatorelement 20 zu verwenden. Die AT-Scheibe ist in einer Ebene  $z'x$  geschnitten, mit einem Winkel von  $35.25^\circ$  zwischen der Achse  $z$  und einer Achse  $z'$ . Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann andere bekannte Schnitte in piezoelektrischem Kristallmaterial wie ein CT-Schnitt, ein GT-Schnitt, ein BT-Schnitt, ein DT-Schnitt, ein FT-Schnitt, usw. verwenden.

**[0020]** In den Ausführungsformen nach Fig. 2, 3, 6, 7 weist der Messwertaufnehmer 1 ein einziges piezoelektrisches Auf-

nehmerelement 10 auf. Das Resonatorelement 20 ist bezüglich der Längsachse AA' innerhalb des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 angeordnet. Das Resonatorelement 20 ist räumlich zwischen einem ersten piezoelektrischen Material 11 und einem zweiten piezoelektrischen Material 11' des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 angeordnet.

**[0021]** In den Ausführungsformen nach Fig. 4, 5, 8, 9 weist der Messwertaufnehmer 1 zwei piezoelektrische Aufnehmerelemente 10, 10' auf. Das Resonatorelement 20 ist bezüglich der Längsachse AA' zwischen einem ersten piezoelektrischen Aufnehmerelement 10 und einem zweiten piezoelektrischen Aufnehmerelement 10' angeordnet. Das Resonatorelement 20 ist räumlich zwischen einem ersten piezoelektrischen Material 11 des ersten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 und einem zweiten piezoelektrischen Material 11' des zweiten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10' angeordnet. Die Empfindlichkeit des Messwertaufnehmers 1 für den direkten piezoelektrischen Effekt ist mit zwei piezoelektrische Aufnehmerelementen 10, 10' somit höher, vorzugsweise doppelt so hoch als mit einem piezoelektrischen Aufnehmerelement 10.

**[0022]** Für eine weitgehend symmetrische Einleitung der Kraft F in das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 weist der Messwertaufnehmer 1 einen bezüglich der Längsachse AA' symmetrischen Aufbau auf. In den Ausführungsformen nach Fig. 2 bis 9 ist das Resonatorelement 20 bezüglich der Längsachse AA' zwischen einem ersten piezoelektrischen Material 11 und einem zweiten piezoelektrischen Material 11' angeordnet. Vorzugsweise sind das erste piezoelektrische Material 11 und das zweite piezoelektrische Mate-



rial 11' Gleichteile, wodurch die Herstellung des Messwertaufnehmers 1 kostengünstig ist. In den Ausführungsformen nach Fig. 2, 3, 6, 7 ist das zweite piezoelektrische Material 11' mechanisch mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 verbunden. Vorzugsweise erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweissen, Diffusionsschweissen, Thermokompressionsbonden, Löten, usw. Solch eine stoffschlüssige Verbindung ist kostengünstig und mechanisch langzeitstabil.

**[0023]** Das Resonatorelement 20 ist bezüglich der Längsachse AA' zylinderförmig und zwischen einem hohlzylinderförmigen ersten piezoelektrischen Material 11 und einem hohlzylinderförmigen zweiten piezoelektrischen Material 11' angeordnet. Im Hohlzylinder des ersten piezoelektrischen Materials 11 ist ein erster Hohlraum 33 und im Hohlzylinder des zweiten piezoelektrischen Materials 11' ist ein zweiter Hohlraum 33' ausgebildet. Die Hohlräume 33, 33' liegen oberhalb und unterhalb des Resonatorelementes 20. Eine räumliche Ausdehnung der Hohlräume 33, 33' entlang der Längsachse AA' und in der Querebene BC ist grösser als Amplituden der mechanischen Schwingungen des Resonatorelementes 20. Das Resonatorelement 20 hat somit genügend Raum, um in den Hohlräumen 33, 33' mit hoher Güte zu schwingen. Die mechanischen Schwingungen können axial entlang der Längsachse AA' erfolgen. Die mechanischen Schwingungen können radial in der Querebene BC erfolgen. Die mechanischen Schwingungen können als Dickenscherschwungung in der Querebene BC erfolgen. Schliesslich können die mechanischen Schwingungen als Kombination einer axialen und einer radialen Schwingung oder als Kombination einer radialen Schwingung und einer Dickenscherschwungung erfolgen.

**[0024]** Für das Messen der Kraft  $F$  werden elektrische Polarisationsladungen des piezoelektrischen Materials 11, 11' des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10' von Elektroden 12, 12', 13, 13' abgenommen und als Ladungssignale an eine Auswerteeinheit abgeleitet. Die Elektroden 12, 12', 13, 13' werden auch Ladungselektroden 12, 12', 13, 13' genannt. Für das Messen der Querdehnung  $Q$  wird über Elektroden 22, 23 ein elektrisches Wechselfeld als Frequenzsignale an das piezoelektrische Material 21 des Resonatorelementes 20 angelegt. Die Elektroden 22, 23 werden auch Frequenzelektroden 22, 23 genannt. Die Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23 sind dünne Schichten aus elektrisch leitfähigem Material wie aus Reinetallen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen, Eisenlegierungen, usw. Die Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23 sind mechanisch und elektrisch mit dem piezoelektrischen Material 11, 11', 21 verbunden. Vorzugsweise erfolgt die mechanische und elektrische Verbindung über Stoffschluss wie Schweißen, Diffusionsschweißen, Thermokompressionsbonden, Löten, usw. Solch eine stoffschlüssige Verbindung ist kostengünstig und mechanisch und elektrisch langzeitstabil.

**[0025]** Die Ladungselektroden 12, 12', 13, 13' sind hohlzylinderförmig und erstrecken sich weitgehend vollständig über Stirnflächen des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10'. Die Frequenzelektroden 22, 23 sind zylinderförmig und erstrecken sich in einen Schwingbereich über Stirnflächen des Resonatorelementes 20. Der Schwingbereich liegt in einem zentralen Bereich der Stirnflächen des Resonatorelementes 20, er liegt nahe an der zentral die Stirnflächen durchdringende Längsachse AA'. In einem von der Längsachse AA' radial entfernten Randbereich der Stirnflächen des Resonatorelementes

20 sind lediglich schmale elektrische Zuleitungen zu den Frequenzelektroden 22, 23 angeordnet. Im Schwingbereich des Resonatorelementes 20 wird das piezoelektrische Material 21 von den Frequenzelektroden 22, 23 zu mechanischen Schwingungen angeregt und das Resonatorelement 20 schwingt mit grosser Amplitude. Im Randbereich des Resonatorelementes 20 ist der Resonatorkontaktbereich K2, K2' angeordnet, hier wird die Kraft F in das Resonatorelement 20 eingeleitet. Im Randbereich des Resonatorelementes 20 wird das piezoelektrische Material 21 von den Frequenzelektroden 22, 23 nicht zu mechanischen Schwingungen angeregt und das Resonatorelement 20 schwingt mit geringer Amplitude, eine Grösse der Amplitude nimmt mit einem radialen Abstand zu den Frequenzelektroden 22, 23 ab. Eine radiale Ausdehnung des Randbereiches ist so gewählt, dass eine mechanische Verbindung des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10' mit dem Resonatorelement 20 die mechanischen Schwingungen nicht oder nur in vernachlässigbar geringem Masse dämpft.

**[0026]** Die erste und die dritte Ausführungsform nach Fig. 2, 3, 6, 7 weist vier Elektroden 12, 13, 22, 23 auf, die zweite und die vierte Ausführungsform nach Fig. 4, 5, 8, 9 weist sechs Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23 auf. In der ersten Ausführungsform nach Fig. 2, 3 ist eine Ladungselektrode 12 sowohl mit dem ersten piezoelektrischen Material 11 des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 als auch mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch und elektrisch verbunden. Die Ladungselektrode 12 wird auf Gegenelektrode 13 genannt. Eine Ladungselektrode 13 ist auf dem ersten piezoelektrischen Material 11 des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 angeordnet und dient als

elektrische Masse und wird auch Masseelektrode 13 genannt. Die Masseelementrode 13 ist mit einem geerdeten Gehäuse 41 des Messwertaufnehmers 1 elektrisch verbunden. Die Gegenelektrode 12 und die Frequenzelektroden 22, 23 sind in genau einer Kontaktierungszone Z nahe der Schrägachse CC' für eine elektrische und mechanische Kontaktierung mit elektrischen Leitern einfach zugänglich. Der Messwertaufnehmer 1 benötigt nur drei elektrische Leiter für vier Elektroden 12, 13, 22, 23.

**[0027]** In der zweiten Ausführungsform nach Fig. 4, 5 sind zwei Ladungselektroden 12, 12' mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch verbunden. Die zwei Ladungselektroden 12, 12' sind auf verschiedenen Stirnflächen des piezoelektrischen Materials 21 des Resonatorelementes 20 angeordnet. Die beiden Ladungselektroden 12, 12' sind elektrisch miteinander verbunden und dienen als gemeinsame Gegenelektrode 12, 12'. Damit die beiden Gegenelektroden 12, 12' elektrische Polarisationsladungen mit gleichem Vorzeichen abgreifen, sind das erste piezoelektrische Material 11 des ersten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 und das zweite piezoelektrische Material 11' des zweiten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10' mit entgegengesetzter Polarisationsrichtung zueinander angeordnet. Zwei Ladungselektroden 13, 13' sind auf dem piezoelektrischen Material 11, 11' der piezoelektrischen Aufnehmerelemente 10, 10' angeordnet und dienen als elektrische Masse und werden auch Masseelektroden 13, 13' genannt. Die beiden Masseelementroden 13, 13' sind mit dem geerdeten Gehäuse 41 des Messwertaufnehmers 1 elektrisch verbunden. Die gemeinsame Gegenelektrode 12, 12' und die Frequenzelektroden 22, 23 sind in genau einer Kontak-

tierungszone Z nahe der Schrägachse CC' für eine elektrische und mechanische Kontaktierung mit elektrischen Leitern einfach zugänglich. Der Messwertaufnehmer 1 benötigt nur drei elektrische Leiter für sechs Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23.

**[0028]** In der dritten Ausführungsform nach Fig. 6, 7 ist eine Ladungselektrode 13 sowohl mit dem ersten piezoelektrischen Material 11 des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 als auch mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch und elektrisch verbunden. Die Ladungselektrode 13 ist elektrisch mit einer Frequenzelektrode 23 verbunden. Die beiden elektrisch miteinander verbundenen Elektroden 13, 23 dienen als gemeinsame elektrische Masse und werden auch Masseelektroden 13, 23 genannt. Eine Ladungselektrode 12 ist auf dem piezoelektrischen Material 11, 11' des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 angeordnet und wird auch Gegenelektrode 12 genannt. Die Masseelektroden 13, 23, die Gegenelektrode 12 und die Frequenzelektrode 22 sind in genau einer Kontaktierungszone Z nahe der Schrägachse CC' für eine elektrische und mechanische Kontaktierung mit elektrischen Leitern einfach zugänglich. Der Messwertaufnehmer 1 benötigt nur drei elektrische Leiter für vier Elektroden 12, 13, 22, 23.

**[0029]** In der vierten Ausführungsform nach Fig. 8, 9 sind zwei Ladungselektroden 12', 13 mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch verbunden. Die zwei Ladungselektroden 12', 13 sind auf verschiedenen Stirnflächen des piezoelektrischen Materials 21 angeordnet. Zwei Ladungselektroden 12, 13' sind auf dem piezoelektrischen Ma-

terial 11, 11' der piezoelektrischen Aufnehmerelemente 10, 10' angeordnet. Eine mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch verbundene Ladungselektrode 12' und eine auf dem ersten piezoelektrischen Material 11 des ersten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 angeordnete Ladungselektrode 12 sind elektrisch miteinander verbunden und dienen als gemeinsame Gegenelektrode 12, 12'. Damit die beiden Gegenelektroden 12, 12' elektrische Polarisationsladungen mit gleichem Vorzeichen abgreifen, sind das erste piezoelektrische Material 11 des ersten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10 und das zweite piezoelektrische Material 11' des zweiten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10' mit gleicher Polarisationsrichtung zueinander angeordnet. Eine mit dem piezoelektrischen Material 21 des Resonatorelementes 20 mechanisch verbundene Ladungselektrode 13 und eine auf dem zweiten piezoelektrischen Material 11' des zweiten piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10' angeordnete Ladungselektrode 13' sind elektrisch miteinander verbunden und dienen als elektrische Masse und werden auch Masseelektroden 13, 13' genannt. Die beiden Masseelementroden 13, 13' sind mit dem geerdeten Gehäuse 41 des Messwertaufnehmers 1 elektrisch verbunden. Die Masseelektrode 13, die Gegenelektrode 12' und die Frequenzelektroden 22, 23 sind in genau einer Kontaktierungszone Z nahe der Schrägachse CC' für eine elektrische und mechanische Kontaktierung mit elektrischen Leitern einfach zugänglich. Der Messwertaufnehmer 1 benötigt nur drei elektrische Leiter für sechs Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23.

**[0030]** Ein Aufbau des Messwertaufnehmers 1 mit drei elektrischen Leitern für vier oder sechs Elektroden 12, 12', 13, 13', 22 und 23 ist platzsparend und macht eine Herstel-

lung des Messwertaufnehmers 1 kostengünstig. Die elektrische und mechanische Kontaktierung der Elektroden 12, 12', 13, 13', 22, 23 in genau einer Kontaktierungszone Z mit elektrischen Leitern erfolgt mittels Stoffschluss und/oder Kraftschluss. Der Stoffschluss erfolgt durch Schweissen, Diffusionsschweissen, Thermokompression, Löten, usw. Der Kraftschluss erfolgt durch Schraubverbindung, Klemmverbindung, usw. Bei Kenntnis der vorliegenden Erfindung kann der Fachmann die elektrische und mechanische Kontaktierung der Elektroden mit elektrischen Leitern auch in mehr als einer Kontaktierungszone realisieren.

**[0031]** In den Ausführungsformen nach Fig. 6 bis 9 weist der Messwertaufnehmer 1 ein elektrisches Isolationselement 14 auf. Das elektrische Isolationselement 14 ist hohlzylinderförmig. Das elektrische Isolationselement 14 besteht aus elektrisch isolierendem und mechanisch steifem Material wie Keramik, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik, Saphir, usw. Das elektrische Isolationselement 14 ist mechanisch mit einer Gegenelektrode 12 verbunden. Vorzugsweise erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweissen, Diffusionsschweissen, Thermokompressionsbonden, Löten, usw. Solch eine stoffschlüssige Verbindung ist kostengünstig und mechanisch langzeitstabil.

**[0032]** Eine Verstärkung und Auswertung der Ladungssignale des piezoelektrischen Materials 11 des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10' erfolgt in einer Auswerteeinheit. Dazu sind die Ladungselektroden 12, 12', 13, 13' des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10' mit einer Verstärkerschaltung der Auswerteeinheit elektrisch verbunden. Eine Anregung des piezoelektrischen Materials 21 des Resonatorele-

mentes 20 erfolgt über Frequenzsignale von der Auswerteeinheit. Dazu sind die Frequenzelektroden 22, 23 des Resonatorelementes 20 mit einer Oszillatorschaltung der Auswerteeinheit elektrisch verbunden. Die Frequenzänderung  $\Delta f$  wird mit der Oszillatorschaltung ermittelt. Die Auswerteeinheit bestimmt aus der ermittelten Frequenzänderung  $\Delta f$  die Querdehnung  $Q$ . Vorzugsweise ist die Oszillatorschaltung eine Colpitts-Schaltung. Typische Resonanzfrequenzen liegen im Bereich von einigen kHz bis mehreren MHz, typische Frequenzänderungen  $\Delta f$  liegen im Bereich von 2Hz/N bis 100Hz/N.

**[0033]** Die Fig. 10 und 11 zeigen die Kraftempfindlichkeit  $K_f$  in Abhängigkeit des Krafteinleitungswinkels  $\theta$ . Diese Kraftempfindlichkeit  $K_f$  gilt für ein im Hohlraum 33, 33' schwingendes Resonatorelement 20 gemäss den Ausführungsformen nach Fig. 1 bis 9. Für einen Krafteinleitungswinkel  $\theta$  entlang der Querachse BB' ist die Kraftempfindlichkeit  $K_f$  maximal und auf 100% normiert. Für einen Krafteinleitungswinkel  $\theta$  von  $45^\circ$  bezüglich der Querachse BB' ist die Kraftempfindlichkeit  $K_f$  Null oder 0%. Für einen Krafteinleitungswinkel  $\theta$  entlang der Schrägachse CC' ist die Kraftempfindlichkeit  $K_f$  minimal oder -60%.

**[0034]** Falls sich ein Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega$  über  $90^\circ$  von der Querachse BB' hin zur Schrägachse CC' erstreckt, so ergibt nach Fig. 10 eine Summe der Kraftempfindlichkeiten  $K_f$  eine gesamte Kraftempfindlichkeit  $K_{fG}$  von 10%. In Fig. 11 wird nun ein Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega$  eingeschränkt. Für einen ersten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$  über  $45^\circ$  von der Querachse BB' hin zur Schrägachse CC' ergibt die Summe der Kraftempfindlichkeiten  $K_f$  eine erste mittlere Kraft-



empfindlichkeit  $K_{FM1}$  von 50%. Für einen zweiten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_2$  über  $30^\circ$  von der Querachse  $BB'$  hin zur Schrägachse  $CC'$  ergibt die Summe der Kraftempfindlichkeiten  $K_f$  eine zweite mittlere Kraftempfindlichkeit  $K_{FM2}$  von 75%.

**[0035]** Eine optimale Einstellung des Krafteinleitungswinkelbereiches  $\Omega$  lässt sich mit mindestens einem Kraftangriffselement 30, 30' erreichen. Die Kraft  $F$  greift am Kraftangriffselement 30, 30' an und wird vom Kraftangriffselement 30, 30' in das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 weitergeleitet. Die Fig. 12 und 13 zeigen in perspektivischer Ansicht eine erste und eine zweite Ausführungsform eines hohlkugelsegmentförmigen Kraftangriffselementes 30, 30'. Die Fig. 14 und 15 zeigen in Draufsicht eine dritte und eine vierte Ausführungsform eines hohlkegelstumpfförmigen Kraftangriffselementes 30, 30'. Das Kraftangriffselement 30, 30' kann auch hohlzylinderförmig, hohlpyramidenstumpfförmig, usw. sein. Das Kraftangriffselement 30, 30' besteht aus mechanisch steifem Material wie aus Reinmetallen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen, Eisenlegierungen, Keramik, usw.

**[0036]** Das Kraftangriffselement 30, 30' ist ein Hohlkörper, welcher eine Deckfläche 31, 31', eine Mantelfläche 32, 32' und einen Hohlraum 33, 33' aufweist. Das Resonatorelement 20 ist im Hohlraum 33, 33' angeordnet. Der Hohlraum 33, 33' erstreckt sich sowohl im Kraftangriffselement 30, 30' als auch im piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10'. Deckfläche 31, 31' und Mantelfläche 32, 32' sind mechanisch miteinander verbunden und umschliessen den Hohlraum 33, 33'. Die Kraft  $F$  greift entlang der Längsachse  $AA'$  an der Deckfläche

31, 31' an und wird von der Deckfläche 31, 31' in die Mantelfläche 32, 32' weiterleitet. Die Mantelfläche 32, 32' weist mindestens einen ausgesparten Bereich 34, 34' auf, welcher bis zum Hohlraum 33, 33' reicht und das Weiterleiten der Kraft F in der Mantelfläche 32, 32' verhindert. Und die Mantelfläche 32, 32' weist mindestens einen nichtausgesparten Bereich 35, 35' auf, und nur der nichtausgesparte Bereich 35, 35' leitet die Kraft F weiter. Der Hohlkörper weist an einem von der Deckfläche 31, 31' abgewandten Ende eine Grundfläche 36, 36' auf. Deckfläche 31, 31' und Grundfläche 36, 36' sind über die Mantelfläche 32, 32' mechanisch miteinander verbunden. Deckfläche 31, 31', Mantelfläche 32, 32' und Grundfläche 36, 36' sind vorzugsweise einstückig. Deckfläche 31, 31' und Grundfläche 36, 36' liegen parallel zueinander in der Querebene BC. Der nichtausgesparte Bereich 35, 35' der Mantelfläche 32, 32' und die Grundfläche 36, 36' bilden in der Querebene BC mindestens einen Kraftweiterleitungswinkelbereich  $\Omega$ ,  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ .

**[0037]** Der ausgesparte Bereich 34, 34' ist vorzugsweise fensterförmig. In der Ausführungsform nach Fig. 12 ist der ausgesparte Bereich 34, 34' in einem bezüglich der Längsachse AA' unteren Bereich der Mantelfläche 32, 32' angeordnet. In der Ausführungsform nach Fig. 13 ist der ausgesparte Bereich 34, 34' in einem bezüglich der Längsachse AA' mittleren Bereich der Mantelfläche 32, 32' angeordnet. In den beiden Ausführungsformen nach Fig. 14 und 15 bildet der ausgesparte Bereich 34, 34' einen grossen Teil der Mantelfläche 32, 32'. In der dritten Ausführungsform nach Fig. 14 weist das Kraftanriffselement 30, 30' vier erste Krafteinleitungswinkelbereiche  $\Omega_1$  von jeweils  $45^\circ$  auf. In der vierten Ausführungsform

nach Fig. 15 weist das Kraftangriffselement 30, 30' vier zweite Krafteinleitungswinkelbereiche  $\Omega_2$  von jeweils  $30^\circ$  auf. Jeweils zwei erste oder zweite Krafteinleitungswinkelbereiche  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  sind durch einen ausgesparten Bereich 34, 34' begrenzt, so dass die Kraft F nur über die ersten oder zweiten Krafteinleitungswinkelbereiche  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  weitergeleitet wird. Vorzugsweise weist jedes Kraftangriffselement 30, 30' zwei ausgesparte Bereiche 34, 34' auf, die bezüglich der Längsachse AA' im Winkel von  $180^\circ$  zueinander verdreht sind.

**[0038]** Der erste oder zweite Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  wird bereichsweise so begrenzt, dass in Summe eine mittlere Kraftempfindlichkeit  $K_{FM1}$ ,  $K_{FM2}$  nahe am Maximum von 100% der Kraftempfindlichkeit  $K_F$  ist. Je kleiner der erste oder zweite Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  ist, desto grösser ist ein lokaler Druck im piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' und im Resonatorelement 20. Die Grösse des ersten oder zweiten Krafteinleitungswinkelbereiches  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  und somit des lokalen Druckes im piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' und im Resonatorelement 20 lässt sich in Abhängigkeit der Druckfestigkeit des piezoelektrischen Aufnehmerelementes 10, 10' und des Resonatorelementes 20 wählen. Je druckfester das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 sind, desto kleiner kann der erste oder zweite Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  gewählt werden, und desto grösser ist die mittlere Kraftempfindlichkeit  $K_{FM1}$ ,  $K_{FM2}$ .

**[0039]** Fig. 16 zeigt einen Schnitt des Messwertaufnehmers 1 nach Fig. 2 und 3 mit einem Kraftangriffselement 30 nach Fig. 14 oder 15. Fig. 17 zeigt einen Schnitt des Messwertauf-

nehmers 1 nach Fig. 8 und 9 mit zwei Kraftangriffselementen 30, 30' nach Fig. 14 oder 15. Vorzugsweise sind die zwei Kraftangriffselemente 30, 30' Gleichteile, welche Gleichteile die Kraft F symmetrisch zum piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' und zum Resonatorelement 20 weiterleiten.

**[0040]** Das piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' und das Resonatorelement 20 sind mit der Mantelfläche 32, 32' mechanisch verbunden. Diese mechanische Verbindung ist vorzugsweise indirekt. So ist in den Ausführungsformen nach Fig. 16 und 17 das piezoelektrische Aufnehmerelement 10, 10' indirekt über den Aufnehmerkontaktbereich K1, K1' und die Grundfläche 36, 36' mechanisch mit dem Kraftangriffselement 30, 30' verbunden. Und auch das Resonatorelement 20 ist in den Ausführungsformen nach Fig. 16 und 17 indirekt über den Resonatorkontaktbereich K2, K2' mit dem piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' mechanisch verbunden, welches wiederum über den Aufnehmerkontaktbereich K1, K1' und die Grundfläche 36, 36' mechanisch mit dem Kraftangriffselement 30, 30' verbunden ist. Vorzugsweise erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweissen, Diffusionsschweissen, Thermokompressionsbonden, Löten, usw.

**[0041]** Nach Fig. 16 greift die Kraft F sowohl an einem ersten Kraftangriffselement 30 als auch am piezoelektrischen Aufnehmerelement 10 an. Die Kraft F greift dabei einmal indirekt über das erste Kraftangriffselement 30 am piezoelektrischen Aufnehmerelement 10 an und sie greift einmal direkt über einen Aufnehmerkontaktbereich K1' am piezoelektrischen Aufnehmerelement 10. Nach Fig. 17 greift die Kraft F am ersten Kraftangriffselement 30 an und wird über eine erste

Grundfläche 36 und den Aufnehmerkontaktbereich K1 in das erste piezoelektrische Aufnehmerelement 10 weitergeleitet und die Kraft F greift an einem zweiten Kraftangriffselement 30' an und wird über eine zweite Grundfläche 36' und den Aufnehmerkontaktbereich K1' in das zweite piezoelektrische Aufnehmerelement 10' weitergeleitet. Die Kraft F greift dabei zweimal indirekt über Kraftangriffselemente 30, 30' an piezoelektrischen Aufnehmerelementen 10, 10' an. Die Kraft F wird somit vom piezoelektrischen Aufnehmerelement 10, 10' in das Resonatorelement 20 weitergeleitet.

**[0042]** Deckfläche 31, 31' und Grundfläche 36, 36' liegen parallel zueinander in der Querebene BC. Die Längsachse AA' steht senkrecht auf der Querebene BC. Die Deckfläche 31, 31' ist vorzugsweise kreisförmig und weist einen konstanten Aussenradius oder maximalen Abstand B1 der Deckfläche 31, 31' zur Längsachse AA' auf. Die Grundfläche 36, 36' ist vorzugsweise kreisringförmig und weist einen konstanten Aussenradius oder maximalen Abstand B2 der Grundfläche 36, 36' zur Längsachse AA'. Der maximale Abstand B2 ist grösser als der maximale Abstand B1. Die Kraft F wird somit in der Mantelfläche 32, 32' von der Längsachse AA' weg weitergeleitet. Das Weiterleiten der Kraft F erfolgt in einem gekrümmten Abschnitt des nichtausgesparten Bereiches 35, 35' der Mantelfläche 32, 32'. Das Weiterleiten der Kraft F erfolgt von der Deckfläche 31, 31' zum Resonatorkontaktbereich K2, K2'. Mit A2 wird eine Länge entlang der Längsachse AA' von der Deckfläche 31, 31' zum Resonatorkontaktbereich K2, K2' bezeichnet. Die an der Deckfläche 31, 31' angreifende Kraft F verursacht im Resonatorelement 20 eine vergrösserte Querdehnung Q. Je grösser eine Differenz zwischen dem maximalen Abstand B2 und dem maxi-

malen Abstand  $B_1$  ist, desto mehr vergrössert sich die Querdehnung  $Q$ . Mit der vergrösserten Querdehnung  $Q$  vergrössert sich auch die von der Kraft  $F$  erzeugte Frequenzänderung. Damit wird beim Messen der statischen Kraft unter Anwendung des inversen piezoelektrischen Effektes die im Markt geforderte hohe Empfindlichkeit erreicht.

**[0043]** Die Abhängigkeit der Kraftempfindlichkeit  $K_f$  vom Krafteinleitungswinkel  $\theta$  beeinflusst auch eine Grösse eines thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha$  des piezoelektrischen Materials 11, 11', 21. Nach Fig. 18 ist der thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  bei maximaler Kraftempfindlichkeit  $K_f$  mit einem Krafteinleitungswinkel  $\theta$  entlang der Querachse  $BB'$  maximal und auf 100% normiert. Bei minimaler Kraftempfindlichkeit  $K_f$  mit einem Krafteinleitungswinkel  $\theta$  entlang der Schrägachse  $CC'$  ist der thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  des piezoelektrischen Materials 11, 11', 21 minimal und auf 55% normiert. Nach Fig. 18 resultiert im gesamten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega$  von  $90^\circ$  zwischen der Querachse  $BB'$  und der Schrägachse  $CC'$  Querachse  $BB'$  hin zur Schrägachse  $CC'$  in Summe ein gesamter thermischer Längenausdehnungskoeffizient  $(K_f * \alpha)_G$ . Der gesamte thermische Längenausdehnungskoeffizient  $(K_f * \alpha)_G$  ist das über alle Krafteinleitungswinkel  $\theta$  aufsummierte Produkt von Kraftempfindlichkeit  $K_f$  mit dem thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha$ . Wenn nun der Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega$  eingeschränkt wird, ist ein in Summe resultierender mittlerer Längenausdehnungskoeffizient  $(K_f * \alpha)_{M1}$ ,  $(K_f * \alpha)_{M2}$  des piezoelektrischen Materials 11, 11', 21 je nach Grösse eines ersten oder zweiten Krafteinleitungswinkelbereiches  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$  unterschiedlich gross. Nach Fig. 19 resultiert für einen ersten

Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$  über  $45^\circ$  von der Querachse  $BB'$  hin zur Schrägachse  $CC'$  in Summe ein erster mittlerer thermischer Längenausdehnungskoeffizient  $(K_f * \alpha)_{M1}$ . Für einen zweiten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_2$  über  $30^\circ$  von der Querachse  $BB'$  hin zur Schrägachse  $CC'$  resultiert in Summe ein zweiter mittlerer thermischer Längenausdehnungskoeffizient  $(K_f * \alpha)_{M2}$ .

**[0044]** Der Messwertaufnehmer 1 ist im Betrieb dauerhaft Temperaturen von  $200^\circ\text{C}$  und höher ausgesetzt. Dabei können sich das piezoelektrische Material 11, 11', 21 und das Kraftangriffselement 30, 30' unterschiedlich in der Länge ausdehnen. Das Kraftangriffselement 30, 30' hat einen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{30}$ . Um den thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{30}$  und mit den mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $(K_f * \alpha)_{M1}$ ,  $(K_f * \alpha)_{M2}$  vergleichen zu können, werden die mittleren thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $(K_f * \alpha)_{M1}$ ,  $(K_f * \alpha)_{M2}$  nach Fig. 19 mit den mittleren Kraftempfindlichkeiten  $K_{FM1}$ ,  $K_{FM2}$  nach Fig. 11 gewichtet. Für den ersten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1$  hat das piezoelektrische Material 11, 11', 21 einen ersten gewichteten thermischen Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha_{M1} = (K_f * \alpha)_{M1} / K_{FM1}$ . Für den zweiten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_2$  hat das piezoelektrische Material 11, 11', 21 einen zweiten gewichteten thermischen Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha_{M2} = (K_f * \alpha)_2 / K_{FM2}$ . Um die unterschiedliche Längenausdehnung des piezoelektrischen Materials 11, 11', 21 und des Kraftangriffselementes 30, 30' möglichst klein zu halten, ist der erste oder zweite gewichtete thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha_{M1}$ ,  $\alpha_{M2}$  des piezoelektrischen Materials 11, 11', 21 weitgehend gleich dem thermischen Längenausdehnungskoeffi-

zient  $\alpha_{30}$  des Kraftangriffselementes 30, 30'. Vorzugsweise wird Quarz als piezoelektrisches Material 11, 11', 21 verwendet, mit einem maximalen thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  von  $13.7 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , was der 100%-Normierung in Fig. 18 und 19 entspricht und einem minimalen thermische Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha$  von  $7.5 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , was der 55%-Normierung in Fig. 18 und 19 entspricht. Ein Kraftangriffselement 30, 30' aus Stahl hat einen thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{30}$  von  $13.0 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Für den ersten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1 = 45^\circ$  hat das piezoelektrische Material 11, 11', 21 einen ersten gewichteten thermischen Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha_{M1} = 12 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , für den zweiten Krafteinleitungswinkelbereich  $\Omega_1 = 30^\circ$  hat das piezoelektrische Material 11, 11', 21 einen zweiten gewichteten thermischen Längenausdehnungskoeffizient  $\alpha_{M2} = 13 * 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , welcher weitgehend gleich dem thermischen Längenausdehnungskoeffizienten  $\alpha_{30}$  des Kraftangriffselementes 30, 30' ist.

**[0045]** Das Resonatorelement 20 misst eine Temperatur T unter Anwendung des inversen piezoelektrischen Effektes. Die Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Materials 21 des Resonatorelementes 20 ist von einer Temperatur T abhängig und lässt sich wie folgt formulieren:  $f(T) = 1/2d(T) * (e_{i\lambda}(T)/\rho(T))^{1/2}$ , wobei der piezoelektrische Modul  $e_{i\lambda}$ , eine Materialdicke d des piezoelektrischen Materials 21 und eine Dichte  $\rho$  von der Temperatur T abhängig sind. Mit  $\Delta f_T$  wird eine temperaturabhängige Frequenzänderung bezeichnet. Die Frequenzänderung  $\Delta f_T$  wird mit der Oszillatorschaltung der Auswerteeinheit ermittelt. Die Auswerteeinheit bestimmt aus der ermittelten temperaturabhängige Frequenzänderung  $\Delta f_T$  die Tem-



peratur  $T$ . Vorzugsweise wird Quarz als piezoelektrisches Material 21 des Resonatorelementes 20 verwendet mit Resonanzfrequenzen im Bereich von einigen kHz bis mehreren MHz und einer temperaturabhängigen Frequenzänderung  $\Delta f_T$  im Bereich von 20Hz/K bis 200Hz/K.

**[0046]** Fig. 20 zeigt den einsatzbereit montierten Messwertaufnehmer 1 nach Fig. 1 bis 9 mit einem Kraftangriffselement 30, 30' nach Fig. 14 bis 17. Der Messwertaufnehmer 1 ist in einem Gehäuse 41 unter Vakuum montiert. Das Gehäuse 41 ist zylinderförmig. Mindestens ein Kraftangriffselement 30, 30' ragt auf einer Stirnseite des Gehäuses 41 mit einer Deckfläche 31, 31' aus dem Gehäuse 41. Vorzugsweise ragen zwei Kraftangriffselemente 30, 30' auf zwei Stirnseiten des Gehäuses 41 mit je einer Deckfläche 31, 31' aus dem Gehäuse 41. In der Ansicht nach Fig. 20 ist nur eine Stirnseite dargestellt. Jede Stirnseite weist eine hohlzylinderförmige Abdeckung 42 auf. Gehäuse 41 und Abdeckung 42 schützen den Messwertaufnehmer 1 vor schädlichen äusseren Einflüssen wie Schmutz, Feuchtigkeit, mechanische Schläge, usw. Gehäuse 41 und Abdeckung 42 sind aus mechanisch beständigem Material wie aus Reinetallen, Nickellegierungen, Kobaltlegierungen, Eisenlegierungen, usw. Das Kraftangriffselement 30, 30' ist mittels der Abdeckung 42 mit dem Gehäuse 41 mechanisch verbunden. Die Abdeckung 42 ist über einen bezüglich der Längsachse AA' radial äusseren Rand mit dem Gehäuse 41 mechanisch verbunden. Vorzugsweise erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweissen, Diffusionsschweissen, Thermokompressionsbonden, Löten, usw. Die Abdeckung 42 ist über einen bezüglich der Längsachse AA' radial inneren Rand mit den Kraftangriffselementen 30, 30' mechanisch verbunden. Vorzugsweise

erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweißen, Diffusionsschweißen, Thermokompressionsbonden, Lötten, usw. Für einen geringen Kraftnebenschluss zum Gehäuse 41 ist die Abdeckung 42 dünn, die Abdeckung 42 ist 0.3mm, vorzugsweise 0.2mm, vorzugsweise 0.1mm dünn. Je dünner die Abdeckung 42 ist, desto geringer ist der Kraftnebenschluss zum Gehäuse 41.

**[0047]** Ladungssignale der Ladungselektroden 12, 12', 13 und 13' sind über elektrische Leiter zu einem elektrischen Anschluss 43 an die Auswerteeinheit ableitbar. Frequenzsignale von der Auswerteeinheit sind über den elektrischen Anschluss 43 über elektrische Leiter an die Frequenzelektroden 22, 23 anlegbar. Die Auswerteeinheit ist über einen Stecker mit Kabel mit dem elektrischen Anschluss 43 elektrisch verbindbar. Der elektrische Anschluss 43 ist in einer Öffnung einer Seitenwand des Gehäuses 41 angeordnet. Der elektrische Anschluss 43 ist mit dem Gehäuse 41 mechanisch verbunden. Vorzugsweise erfolgt die mechanische Verbindung über Stoffschluss wie Schweißen, Diffusionsschweißen, Thermokompressionsbonden, Lötten, usw.

**[0048]** Die elektrische und mechanische Kontaktierung der Elektroden 12, 12', 13, 13', 22 und 23 mit elektrischen Leitern ist in genau einer Kontaktierungszone Z einfach zu bewerkstelligen. Dazu wird der Messwertaufnehmer 1 nach Fig. 1 bis 9 bevor er in das Gehäuse 41 gesetzt wird mit abisolierten Enden der elektrischen Leiter elektrisch und mechanisch kontaktiert. Daraufhin wird der Messwertaufnehmer 1 in das Gehäuse 41 gesetzt und die mit dem Messwertaufnehmer 1 elektrisch und mechanisch kontaktierten elektrischen Leiter

werden durch die Öffnung in der Seitenwand des Gehäuses 41 nach aussen geführt und elektrisch und mechanisch mittels Stoffschluss und/oder Kraftschluss mit dem elektrischen Anschluss 43 kontaktiert. Der Stoffschluss erfolgt durch Schweissen, diffusionsschweissen, Thermokompression, Löten, usw. Der Kraftschluss erfolgt durch Schraubverbindung, Klemmverbindung, usw.

**[0049]** Die mechanischen Verbindungen zwischen dem Gehäuse 41 und den Abdeckungen 42, zwischen den Abdeckungen 42 und den Kraftangriffselemente 30, 30', sowie zwischen dem Gehäuse 41 und dem elektrischen Anschluss 43 sind druckdicht.

### Bezugszeichenliste

A2	Länge
B1, b2	maximaler Abstand
AA', BB', CC'	Achse
BC	Querebene
$K_f$	Kraftempfindlichkeit
$K_{FG}$	gesamte Kraftempfindlichkeit
$K_{FM1}, K_{FM2}$	mittlere Kraftempfindlichkeit
$(K_f * \alpha)_G$	gesamter Längenausdehnungskoeffizient
$(K_f * \alpha)_{M1}, (K_f * \alpha)_{M2}$	mittlerer Längenausdehnungskoeffizient
F	Kraft
Q	Querdehnung
K1, K1'	Aufnehmerkontaktbereich
K2, K2'	Resonatorkontaktbereich
Z	Kontaktierungszone
$\alpha$	Längenausdehnungskoeffizient
$\theta$	Krafteinleitungswinkel
$\Omega, \Omega_1, \Omega_2$	Krafteinleitungswinkelbereich

1	Messwertaufnehmer
10, 10`	piezoelektrisches Aufnehmerelement
11, 11`, 21	piezoelektrisches Material
12, 12`, 13, 13`	Ladungselektrode
14	elektrisches Isolationselement
20	Resonatorelement
22, 23	Frequenzelektrode
30, 30`	Kraftangriffselement
31, 31`	Deckfläche
32, 32`	Mantelfläche
33, 33`	Hohlraum
34, 34`	ausgesparter Bereich
35, 35`	nichtausgesparter Bereich
36, 36`	Grundfläche
41	Gehäuse
42	Abdeckung
43	elektrischer Anschluss

## Patentansprüche

1. Messwertaufnehmer (1) zum Messen einer Kraft (F), mit einem Resonatorelement (20), welches zu mindestens einer Resonanzfrequenz (f) anregbar ist; und mit mindestens einem Kraftangriffselement (30, 30'), an welchem die Kraft (F) angreift und welches die Kraft (F) zum Resonatorelement (20) weiterleitet; **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftangriffselement (30, 30') ein Hohlkörper ist, welcher eine Deckfläche (31, 31'), eine Mantelfläche (32, 32') und einen Hohlraum (33, 33') aufweist, Deckfläche (31, 31') und Mantelfläche (32, 32') sind mechanisch miteinander verbunden und umschliessen den Hohlraum (33, 33'); dass das Resonatorelement (20) im Hohlraum (33, 33') angeordnet ist; dass das Resonatorelement (20) mit der Mantelfläche (32, 32') mechanisch verbunden ist; dass die Kraft (F) an der Deckfläche (31, 31') angreift, welche die Kraft (F) in die Mantelfläche (32, 32') weiterleitet; dass die Mantelfläche (32, 32') mindestens einen ausgesparten Bereich (34, 34') aufweist, welcher bis zum Hohlraum (33, 33') reicht und das Weiterleiten der Kraft (F) in der Mantelfläche (32, 32') verhindert; und dass die Mantelfläche (32, 32') mindestens einen nichtausgesparten Bereich (35, 35') aufweist, nur der nichtausgesparte Bereich (35, 35') leitet die Kraft (F) weiter.

2. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftangriffselement (30, 30') an einem von der Deckfläche (31, 31') abgewandten Ende eine Grundfläche (36, 36') aufweist; dass Deckfläche (31, 31') und Grundfläche (36, 36') über die Mantelfläche (32, 32') me-

chanisch miteinander verbunden sind; und dass der nicht-ausgesparte Bereiche (35, 35') der Mantelfläche (32, 32') mit der Grundfläche (36, 36') mindestens einen Kraftweiterleitungswinkelbereich ( $\Omega$ ,  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ ) bildet.

3. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Resonatorelement (20) mechanisch mit der Grundfläche (36, 36') verbunden ist; dass die Grundfläche (36, 36') die Kraft (F) in das Resonatorelement (20) weiterleitet; dass die Kraft (F) im Resonatorelement (20) eine Querdehnung (Q) verursacht, die Querdehnung (Q) erfolgt im Resonatorelement (20) in einer Querrichtung, welche Querrichtung mit der Krafrichtung einen von Null verschiedenen Winkel bildet, eine Grösse der Querdehnung (Q) ist proportional zur Kraft (F); und dass die Querdehnung (Q) eine Frequenzänderung ( $\Delta f$ ) des zur Resonanzfrequenz (f) angeregten Resonatorelementes (20) erzeugt, welche Frequenzänderung ( $\Delta f$ ) eine Funktion der Kraft (F) ist.
4. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Resonatorelement (20) zylinderförmig mit zwei Stirnflächen ist; dass das Resonatorelement (20) eine Längsachse (AA') aufweist, welche Längsachse (AA') senkrecht zu den Stirnflächen steht; dass das Resonatorelement (20) mindestens einen Resonatorkontaktbereich (K2, K2') aufweist, welcher Resonatorkontaktbereich (K2, K2') in einem von der Längsachse (AA') radial beabstandeten Randbereich des Resonatorelementes (20) angeordnet ist; und dass die Kraft (F) im Resonatorkontaktbereich (K2, K2') am Resonatorelement (20) angreift.

5. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Resonatorelement (20) einen Schwingbereich aufweist, welcher Schwingbereich in einem zentralen Bereich des Resonatorelementes (20) nahe der Längsachse (AA') angeordnet ist; und dass das Resonatorelement (20) im Hohlraum (33, 33') als Dickenschwinger oder als Längen- oder Dehnungsschwinger oder als Biegeschwinger oder als Flächenschwinger oder als Dickenschwinger schwingt.
6. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftangriffselement (30, 30') eine Längsachse (AA') aufweist, welche Längsachse (AA') von der Deckfläche (31, 31') zur Grundfläche (36, 36') verläuft; dass Deckfläche (31, 31') und Grundfläche (36, 36') parallel zueinander in einer Querebene (BC) liegen; dass die Längsachse (AA') senkrecht auf der Querebene (BC) steht; und dass ein maximaler Abstand (A2) der Grundfläche (36, 36') zur Längsachse (AA') grösser als ein maximaler Abstand (A1) der Deckfläche (31, 31') zur Längsachse (AA') ist.
7. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Kraftangriffselement (30, 30') hohlkreissegmentförmig oder hohlkegelstumpfförmig oder hohlzylinderförmig oder hohlpyramidenstumpfförmig ist; und dass eine an der Deckfläche (31, 31') angreifende Kraft (F) im Resonatorelement (20) eine vergrösserte Querdehnung (Q) verursacht.

8. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Messwertaufnehmer (1) mindestens ein piezoelektrisches Aufnehmerelement (10, 10') aufweist; dass das piezoelektrische Aufnehmerelement (10, 10') mechanisch mit der Grundfläche (36, 36') verbunden ist; und dass die Kraft (F) auf Elementflächen des piezoelektrischen Aufnehmerelementes (10, 10') elektrische Polarisationsladungen erzeugt, eine Menge der erzeugten elektrischen Polarisationsladungen ist proportional zur Grösse der Kraft (F).
9. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das piezoelektrische Aufnehmerelement (10, 10') piezoelektrisches Material (11, 11') aufweist; und dass das Resonatorelement (20) räumlich zwischen erstem piezoelektrischen Material (11) und zweitem piezoelektrischen Material (11') angeordnet ist.
10. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Resonatorelement (20) piezoelektrisches Material (21) aufweist, welches gleich dem piezoelektrischen Material (11, 11') des piezoelektrischen Aufnehmerelementes (10, 10') ist.
11. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Krafteinleitungswinkelbereich ( $\Omega$ ,  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ ) eine Grösse einer Kraftempfindlichkeit ( $K_f$ ) des piezoelektrischen Materials (11, 11', 21) und eine Grösse eines thermischen Längenausdehnungskoeffizienten ( $\alpha$ ) des piezoelektrischen Materials (11, 11', 21) beeinflusst; und dass die Kraft über den Krafteinleitungswinkelbereich ( $\Omega$ ,  $\Omega_1$ ,



$\Omega_2$ ) auf das piezoelektrische Material (11, 11', 21) wirkt und ein gewichteter Längenausdehnungskoeffizient ( $(K_f * \alpha)_{M1} / K_{fM1}$ ,  $(K_f * \alpha)_{M2} / K_{fM2}$ ) des piezoelektrischen Materials (11, 11', 21) resultiert.

12. Messwertaufnehmer (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein thermischer Längenausdehnungskoeffizient ( $\alpha_{30}$ ) des Kraftangriffselementes (30, 30') weitgehend gleich dem gewichteten Längenausdehnungskoeffizienten ( $(K_f * \alpha)_{M1} / K_{fM1}$ ,  $(K_f * \alpha)_{M2} / K_{fM2}$ ) des piezoelektrischen Materials (11, 11', 21) ist.
13. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Oszillatorschaltung ein elektrisches Wechselfeld an das piezoelektrische Material (21) des Resonatorelementes (20) anlegt; und dass eine Auswerteeinheit eine Frequenzänderung ( $\Delta f$ ) einer Resonanzfrequenz ( $f$ ) des Resonatorelementes (20) ermittelt; und dass die Auswerteeinheit aus der ermittelten Frequenzänderung ( $\Delta f$ ) die Querdehnung ( $Q$ ) bestimmt.
14. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Oszillatorschaltung ein elektrisches Wechselfeld an das piezoelektrische Material (21) des Resonatorelementes (20) anlegt; dass eine Auswerteeinheit eine temperaturabhängige Frequenzänderung ( $\Delta f_T$ ) einer Resonanzfrequenz ( $f$ ) des Resonatorelementes (20) ermittelt; und dass die Auswerteeinheit aus der ermittelten temperaturabhängigen Frequenzänderung ( $\Delta f_T$ ) eine Temperatur bestimmt.

15. Messwertaufnehmer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der der Messwertaufnehmer (1) in einem Gehäuse (41) montiert ist; und dass das Kraftanriffselement (30, 30') auf einer Stirnseite des Gehäuses (41) mit einer Deckfläche (31, 31') aus dem Gehäuse (41) ragt.

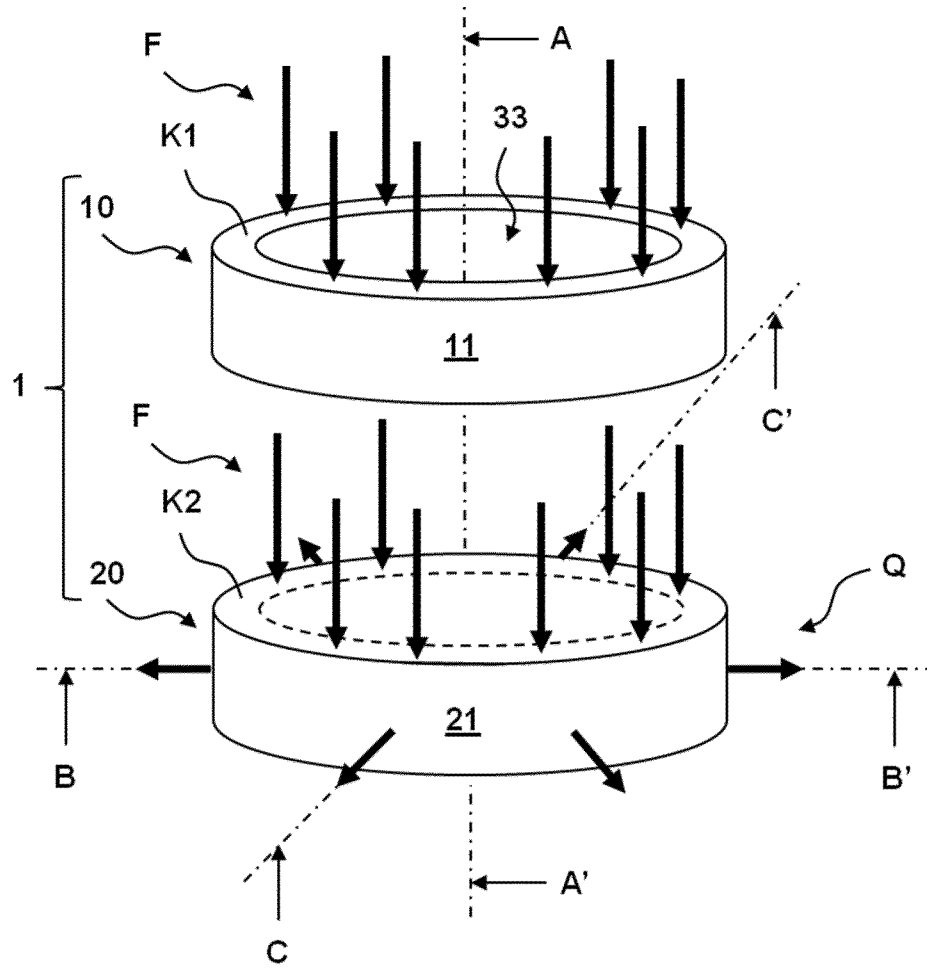


Fig. 1

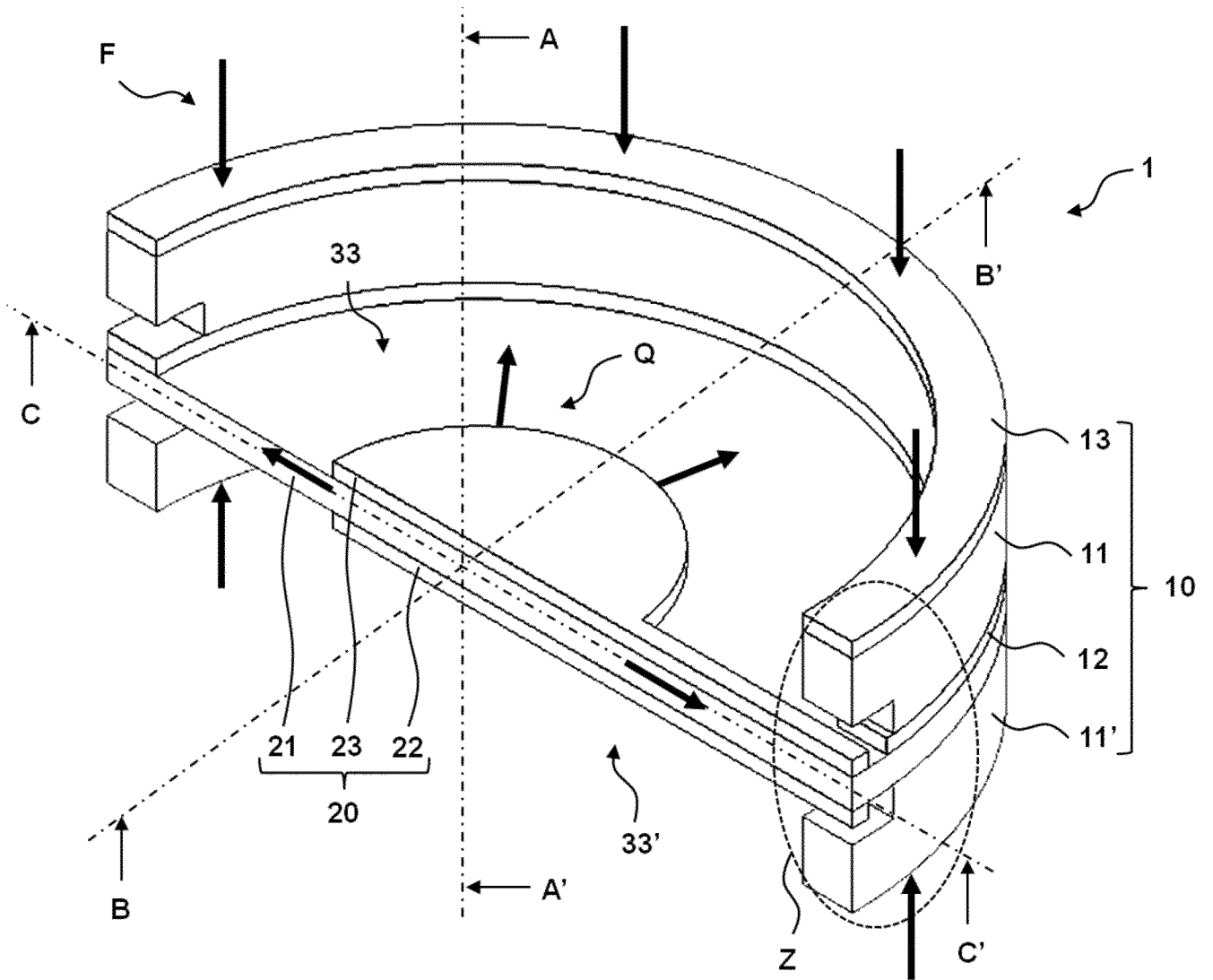


Fig. 2

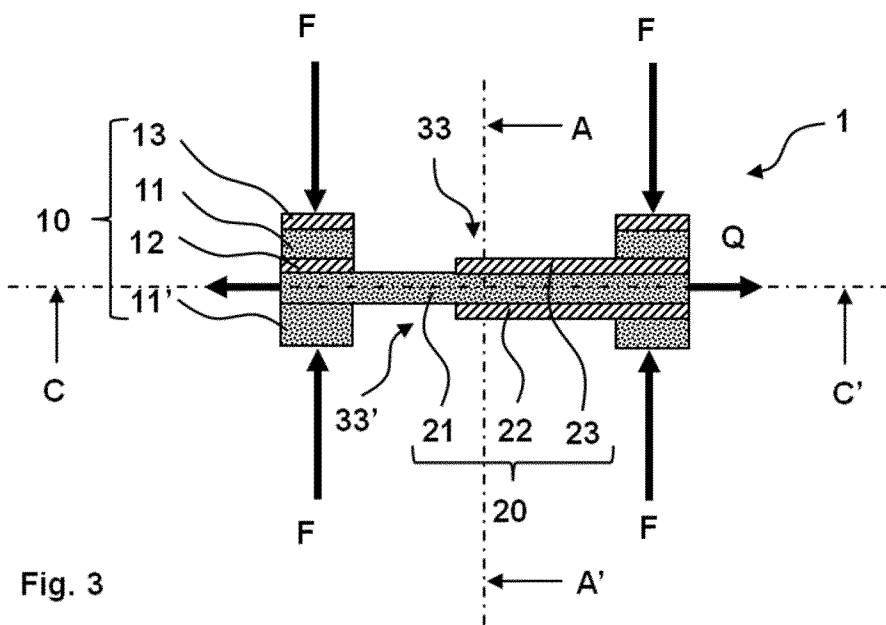


Fig. 3

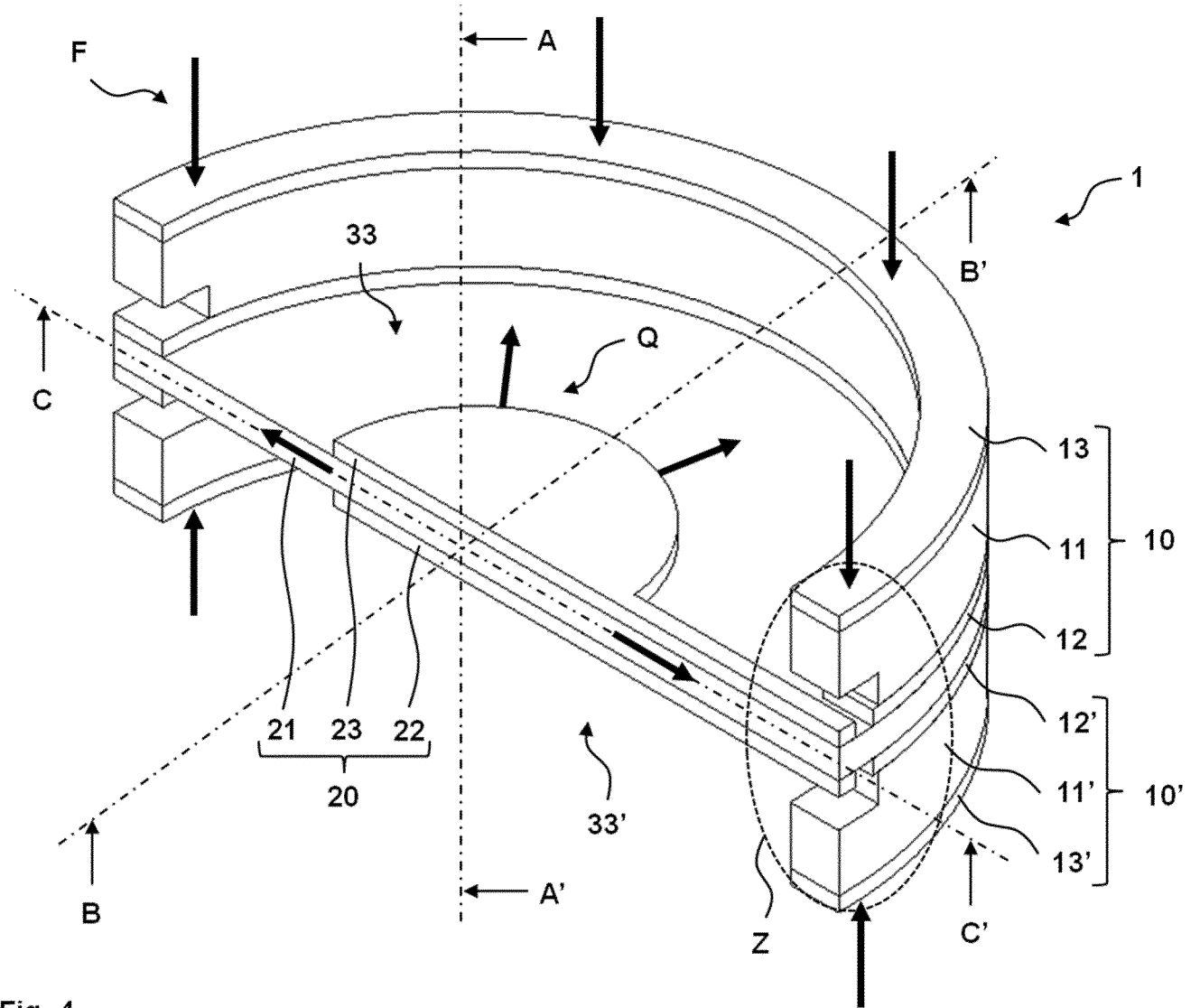


Fig. 4

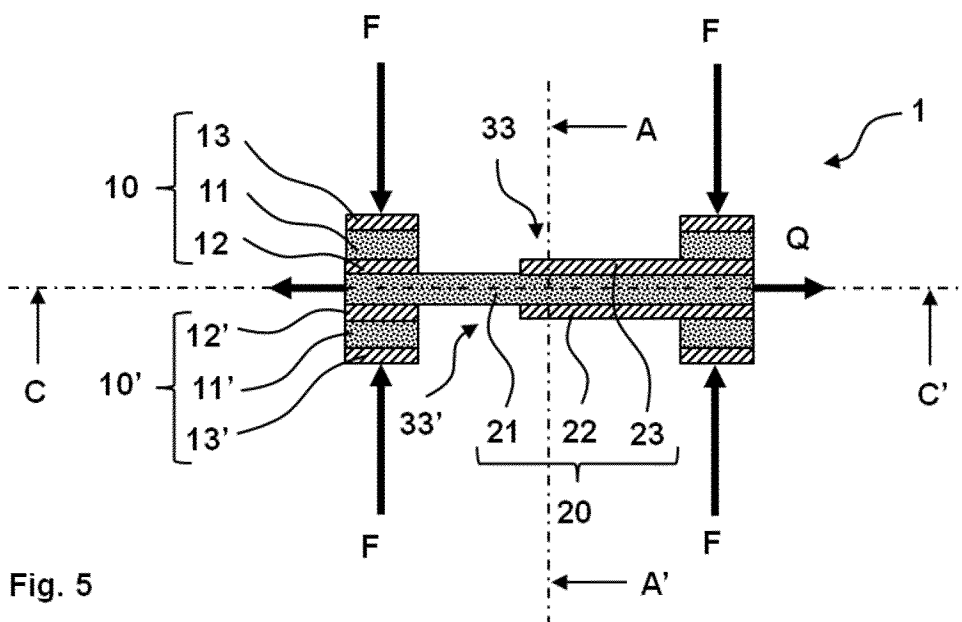


Fig. 5

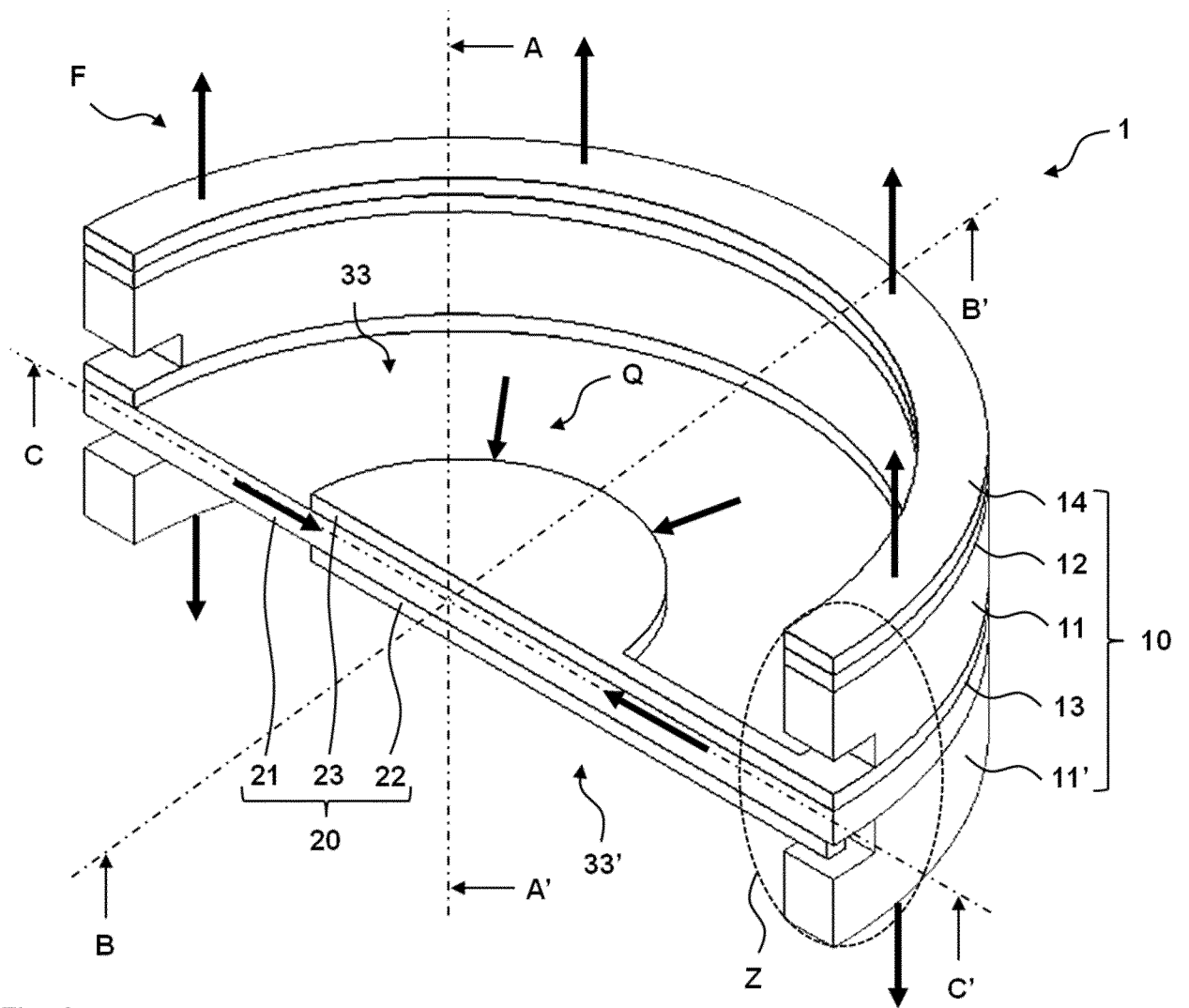


Fig. 6

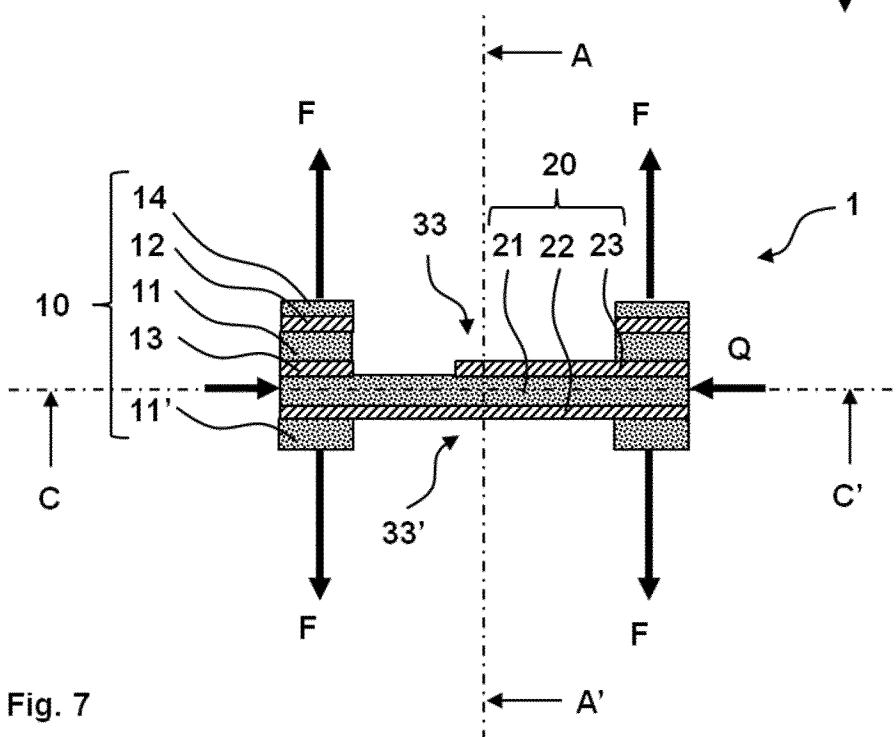


Fig. 7

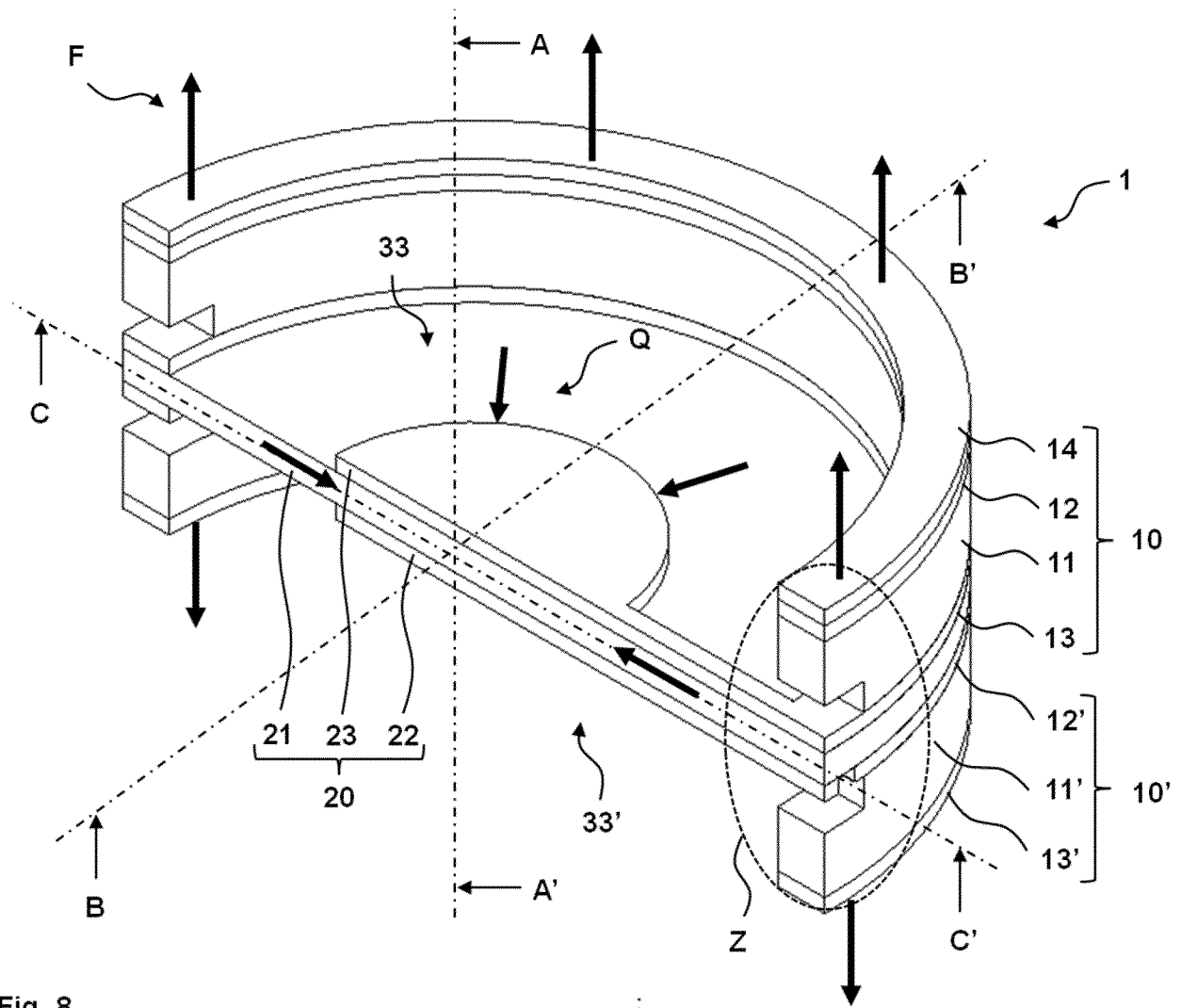


Fig. 8

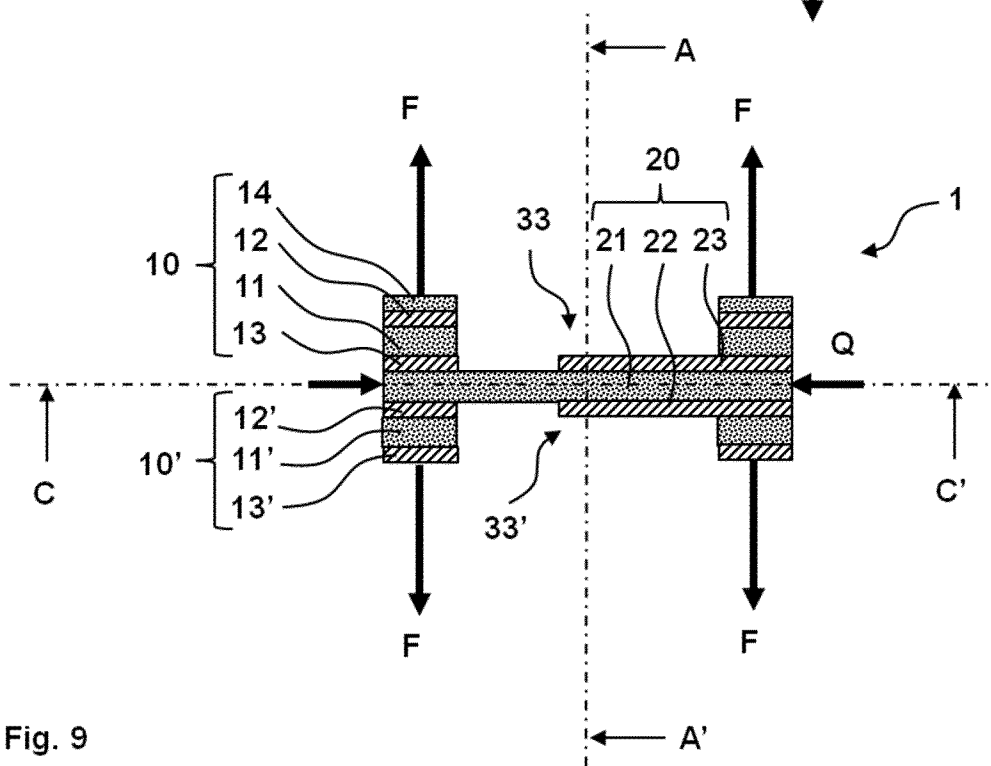


Fig. 9

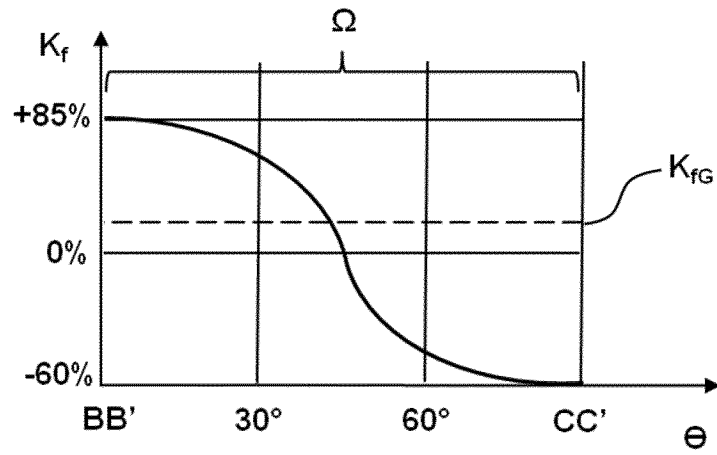


Fig. 10

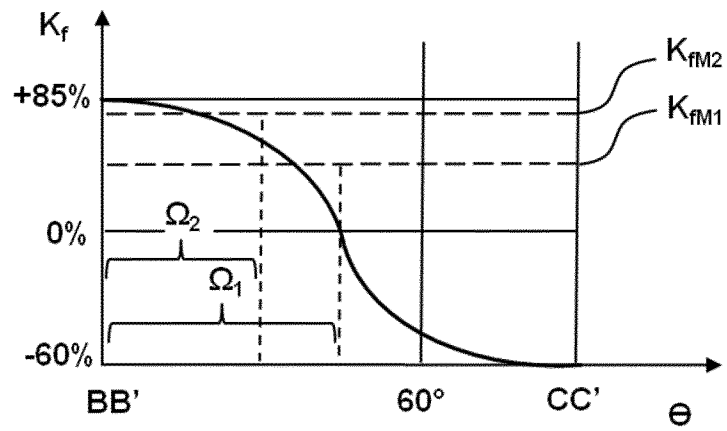


Fig. 11



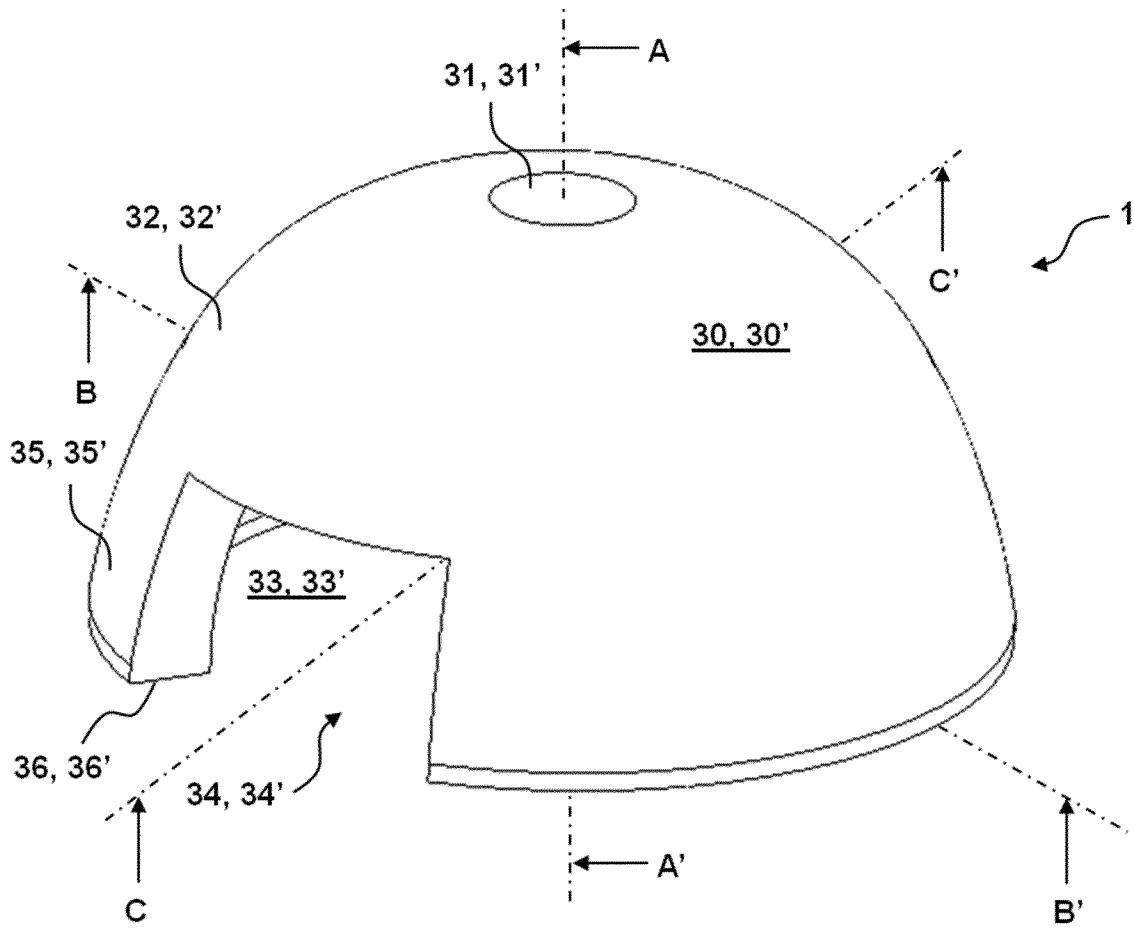


Fig. 12

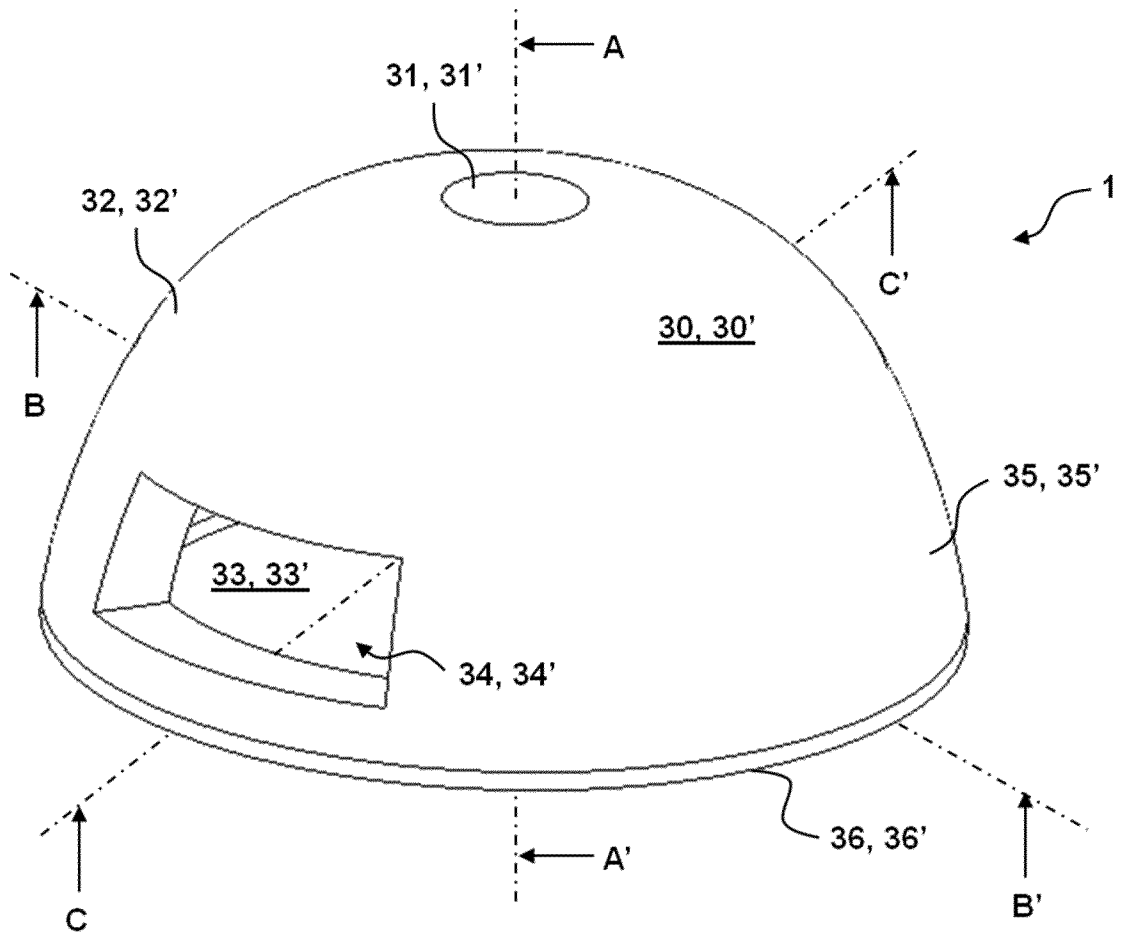
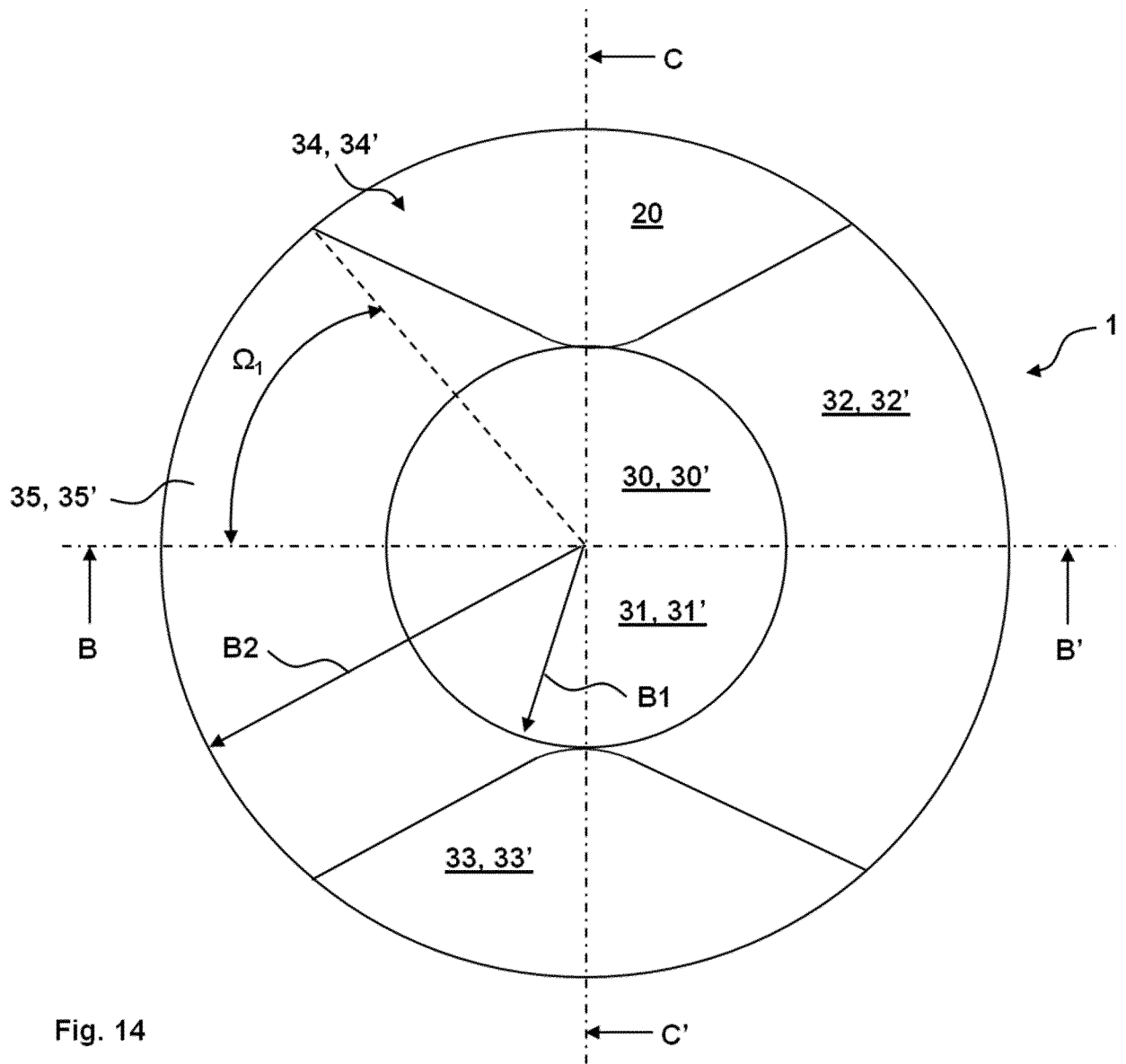


Fig. 13



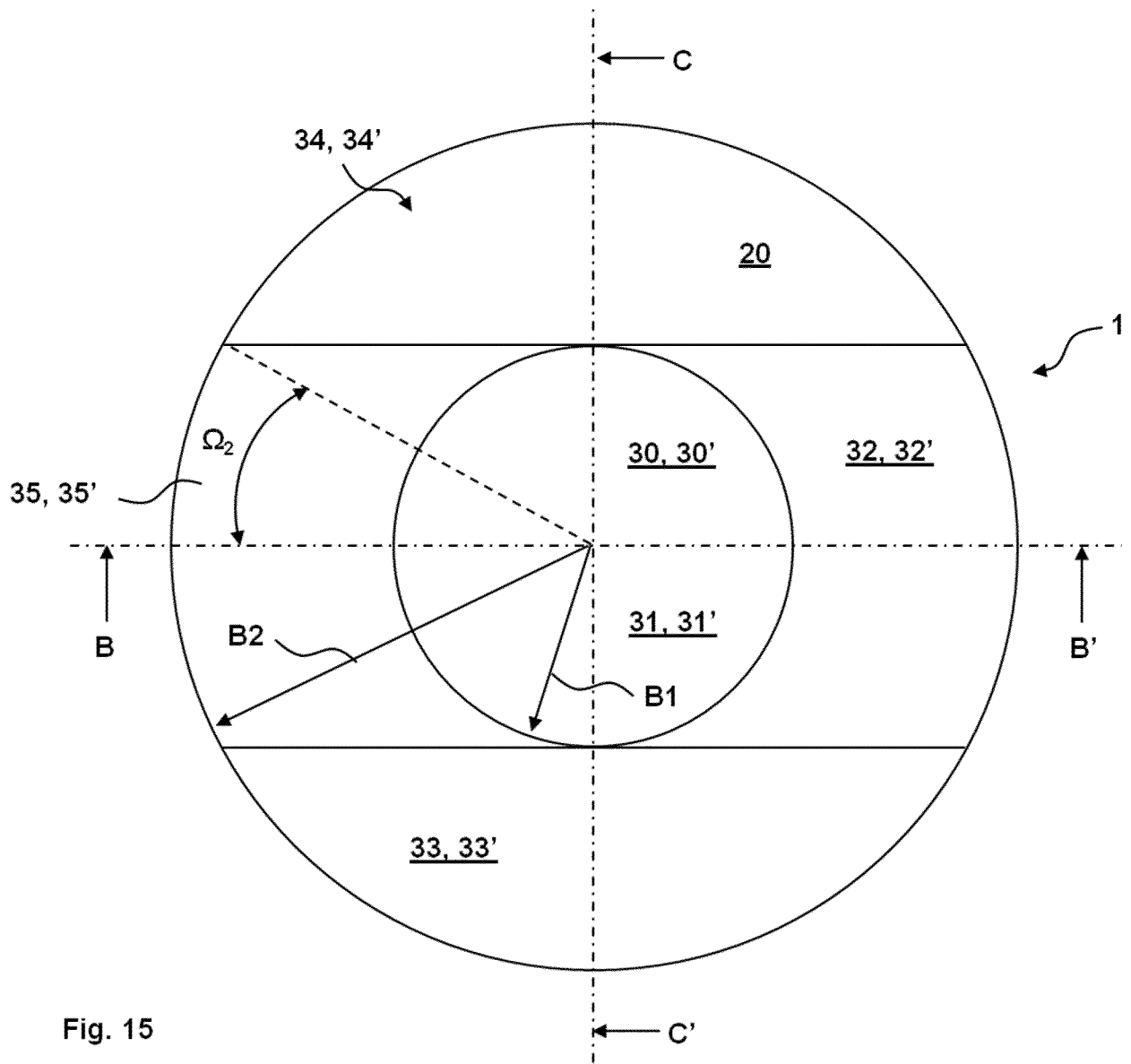
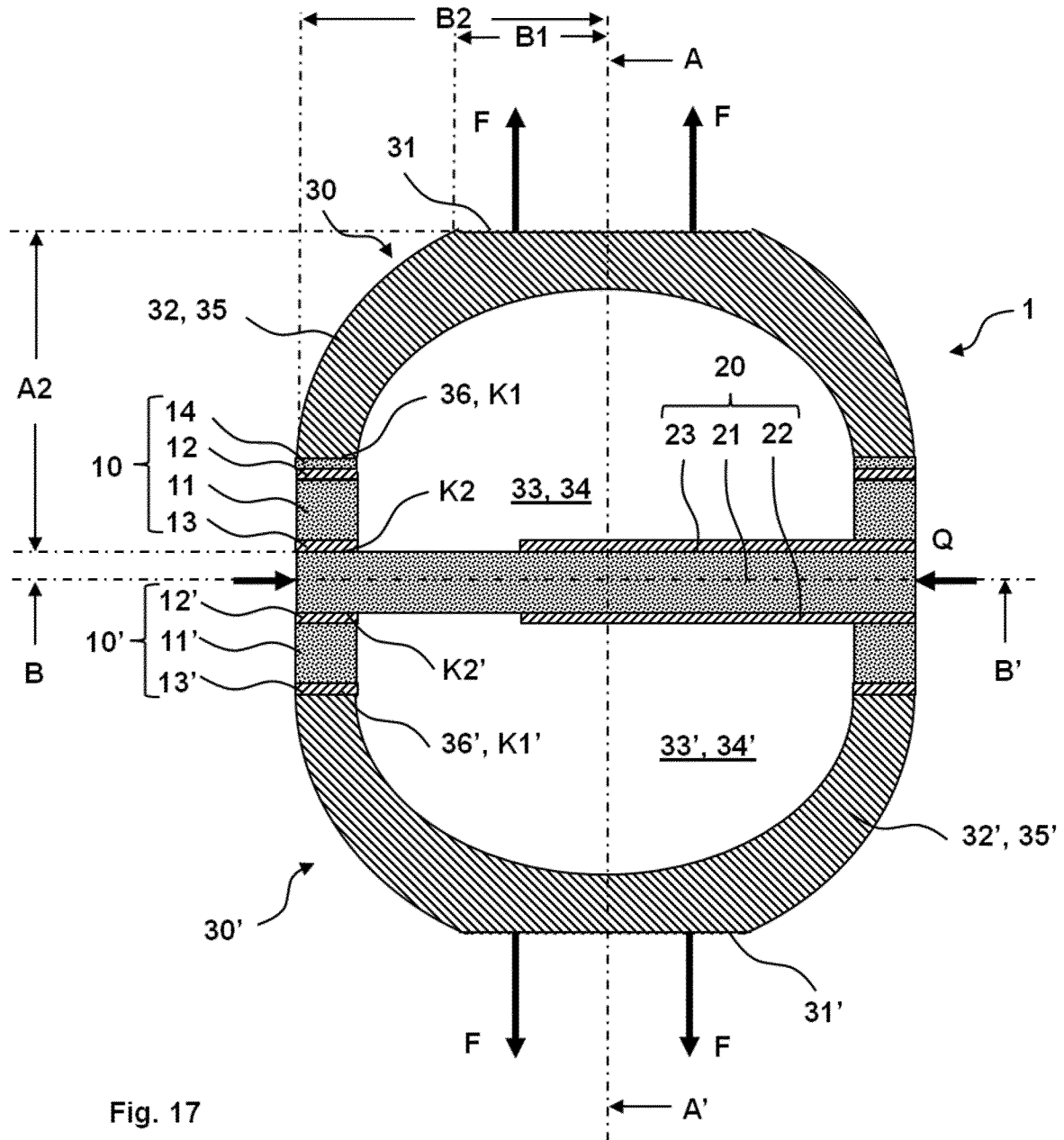


Fig. 15





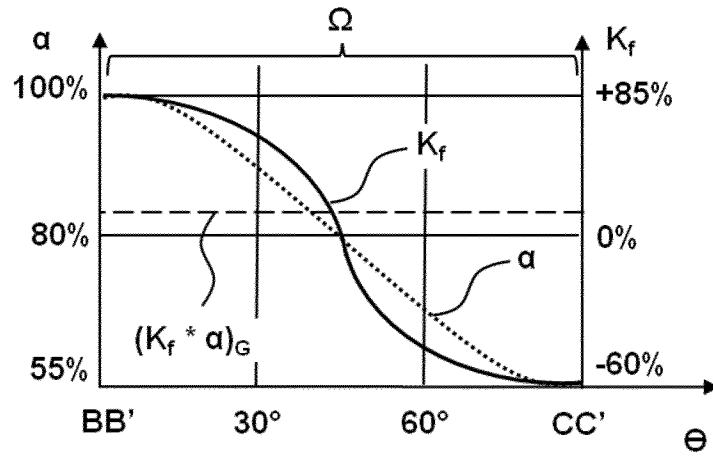


Fig. 18

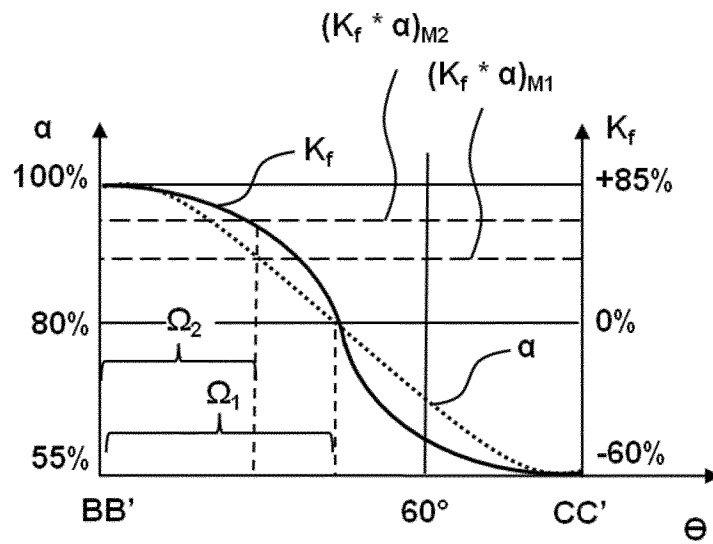
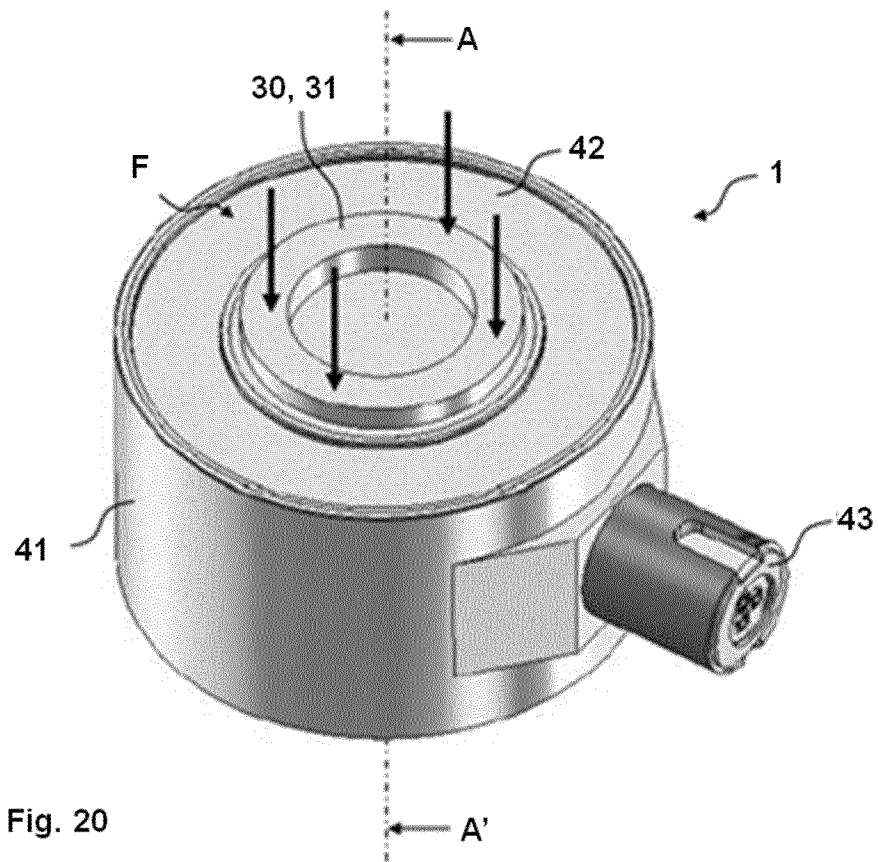


Fig. 19





**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2017/075312

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. G01L5/16 G01L1/16 H01L41/053  
 ADD.  
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 G01L H01L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
 EPO-Internal, WPI Data

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 37 05 471 A1 (METTLER INSTRUMENTE AG [CH]) 1 September 1988 (1988-09-01)	1-7,15
A	the whole document -----	8-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search <b>4 December 2017</b>	Date of mailing of the international search report <b>12/12/2017</b>
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer <b>Stavroulis, Stefanos</b>
--	---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/075312

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3705471	A1 01-09-1988	DE 3705471 A1	01-09-1988
		JP S63228037 A	22-09-1988
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/075312

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. G01L5/16 G01L1/16 H01L41/053 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) G01L H01L		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 37 05 471 A1 (METTLER INSTRUMENTE AG [CH]) 1. September 1988 (1988-09-01)	1-7,15
A	das ganze Dokument -----	8-14
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 4. Dezember 2017		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 12/12/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Stavroulis, Stefanos

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/075312

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3705471	A1	DE 3705471 A1	01-09-1988
		JP S63228037 A	22-09-1988
-----			