

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50878/2020
(22) Anmeldetag: 12.10.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.04.2025

(51) Int. Cl.: **G01L 1/16** (2006.01)
A61B 5/11 (2006.01)
H01L 41/08 (2006.01)
A61B 5/103 (2006.01)
H01L 41/193 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
KR 102044939 B1
WO 2020074075 A1
WO 0005771 A1
US 3878477 A

(73) Patentinhaber:
Pacemaker Technologies GmbH
8041 Graz (AT)

(72) Erfinder:
Hepp Christof Dr.
8041 Graz-Liebenau (AT)
Knafl Johannes Dipl.Ing.
8010 Graz (AT)
Mitternöckler Pierre
6832 Sulz-Röthis (AT)
Stelzmann Ernst Dr.
8010 Graz (AT)

(74) Vertreter:
WIRNSBERGER & LERCHBAUM
Patentanwälte OG
8700 Leoben (AT)

(54) **Verfahren zur Kraft- bzw. Druckmessung, insbesondere für eine Ganganalyse, mit einem piezoelektrischen Sensor sowie piezoelektrischer Sensor hierzu**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kraft- bzw. Druckmessung mit einem piezoelektrischen Sensor (1), wobei der Sensor (1) mit einer ersten Elektrode (2), einer zweiten Elektrode (3) und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material (4) gebildet ist, wobei die erste Elektrode (2), die zweite Elektrode (3) und das piezoelektrische Material (4) jeweils mit zumindest einer Schicht ausgebildet sind, welche in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet sind, wobei durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden (2, 3) ein Polarisierungsbereich (6) im piezoelektrischen Material (4) aktiviert wird. Für eine hohe Einsatzfähigkeit ist vorgesehen, dass die Elektroden (2, 3) und/oder das piezoelektrische Material (4) derart strukturiert sind, dass mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche (6) gebildet sind, wobei bei Aktivierung zumindest eines ersten Polarisierungsbereiches (6) eine Körperschallwelle erzeugt wird, welche mit zumindest einem zweiten Polarisierungsbereich (6) durch von der Körperschallwelle bewirkter Deformation von piezoelektrischem Material (4) des zweiten Polarisierungsbereiches (6) detektiert wird, um eine auf den Sensor (1) wirkende Kraft zu bestimmen.

Weiter betrifft die Erfindung einen piezoelektrischen Sensor (1) zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

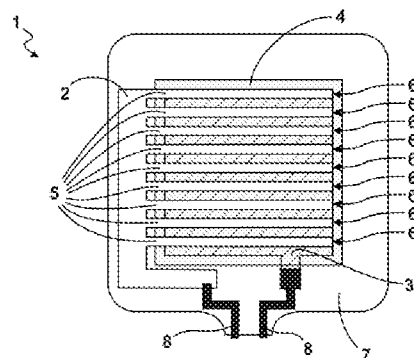


Fig. 1

Beschreibung

VERFAHREN ZUR KRAFT- BZW. DRUCKMESSUNG, INSBESONDERE FÜR EINE GANG-ANALYSE, MIT EINEM PIEZOELEKTRISCHEN SENSOR SOWIE PIEZOELEKTRISCHER SENSOR HIERZU

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kraft- bzw. Druckmessung mit einem piezoelektrischen Sensor, insbesondere für eine Ganganalyse, wobei der Sensor mit zumindest einer ersten Elektrode, zumindest einer zweiten Elektrode und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material gebildet ist, wobei die erste Elektrode, die zweite Elektrode und das piezoelektrische Material jeweils mit zumindest einer Schicht ausgebildet sind, welche in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet sind, wobei durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden ein Polarisierungsbereich im piezoelektrischen Material aktiviert wird.

[0002] Des Weiteren betrifft die Erfindung einen piezoelektrischen Sensor zur Kraft- bzw. Druckmessung wobei der Sensor mit einer ersten Elektrode, zweiten Elektrode und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material gebildet ist, um durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden einen Polarisierungsbereich im piezoelektrischen Material zu aktivieren, wobei die erste Elektrode, die zweite Elektrode und das piezoelektrische Material jeweils mit zumindest einer Schicht ausgebildet sind, welche in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet sind.

[0003] Eine Verwendung von piezoelektrischen Sensoren zur Kraftmessung ist aus dem Stand der Technik bekannt. Im Besonderen im Bereich einer Ganganalyse bzw. Plantardruckmessung zur Messung einer von einem Fuß bei einem Auftreten des Fußes auf einen Schuh oder eine Schuheinlegesohle verursachte Druckverteilung hat es sich bewährt, piezoelektrische Sensoren einzusetzen. Ein piezoelektrischer Sensor ist in der Regel schichtförmig aufgebaut, wobei zwei Elektroden vorgesehen sind, zwischen welchen eine piezoelektrische Materialschicht angeordnet ist. Unter Nutzung des piezoelektrischen Effektes ist zur Bestimmung einer auf den Sensor einwirkenden Kraft üblicherweise vorgesehen, dass die einwirkende Kraft eine Deformation der piezoelektrischen Materialschicht und in Folge eine Änderung einer Polarisierung bzw. Oberflächenladungsdichte der piezoelektrischen Materialschicht bewirkt, wodurch eine elektrische Spannung zwischen den beiden Elektroden erzeugt wird. Umgekehrt führt in analoger Weise eine an den Elektroden angelegte elektrische Spannung bzw. ein über die Elektroden aufgebracht elektrisches Feld zu einer Änderung einer Polarisierung bzw. Aktivierung der piezoelektrischen Materialschicht und in Folge zu einer Deformation bzw. Verformung der piezoelektrischen Materialschicht. Eine Ausbildung der Oberflächenladungsdichte ist in der Regel proportional zu einer Änderung einer im piezoelektrischen Material wirkenden Verformung, sodass eine Eignung zur Bestimmung von statischen Kraftmessungen meist nicht gegeben ist. Eine erzeugte Oberflächenladungsdichte nimmt mit der Zeit entsprechend einer üblicherweise charakteristischen Zeitkonstante wieder ab. Eine Änderung der Oberflächenladungsdichte bzw. der bewirkten elektrischen Spannung hängt in der Regel von einer Richtung der einwirkenden Kraft ab, wobei meist eine Größe der Oberflächenladungsdichte bzw. elektrischen Spannung in erster Linie von einer normal zur piezoelektrischen Materialschicht bzw. parallel zur Polarisierungsrichtung deren Polarisierung einwirkenden Kraftkomponente bzw. Druckkraft abhängt. Weitere Kraftkomponenten bzw. Kraftbelastungen, beispielweise laterale Kraftbelastungen oder Torsionskräfte, welche auf die piezoelektrische Materialschicht wirken, verursachen vergleichsweise geringe elektrische Spannungen und können in der Regel nicht von einer einwirkenden Druckkraft differenziert werden. Insbesondere ist eine Unterscheidung zwischen Druckbelastungen und Biegebelastungen des piezoelektrischen Sensors bzw. dessen piezoelektrischer Materialschicht daher typischerweise nicht möglich. Bei einem Anwendungsfall einer Plantardruckmessung bzw. Ganganalyse ergibt sich somit häufig eine Limitierung für eine detaillierte Darstellung von bei einem Auftreten bzw. während eines Gehens von einem Fuß auf einen Schuh bzw. dessen Schuhboden versachten Kraftbelastungen.

[0004] So offenbart das Dokument KR 10-2044939 B1 einen Drucksensor, welcher mehrschichtig und flexible aufgebaut ist. Das Dokument WO 2020/074075 A1 offenbart einen piezoelektri-

schen Sensor, wobei Elektroden vertikal innerhalb des piezoelektrischen Materials ausgerichtet sind. Das Dokument WO 00/05771 A1 offenbart einen piezoelektrischen Energiewandler, mit einander nicht überlappenden Elektroden. Das Dokument US 3,878,477 A offenbart einen Kraftsensor, wobei zwischen zwei voneinander beabstandeten piezoelektrischen Wandlern, welche jeweils mit nebeneinanderliegenden Elektroden gebildet sind, eine Oberflächenwelle übertragen wird.

[0005] Hier setzt die Erfindung an. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit welchem eine Einsatzfähigkeit einer piezoelektrischen Kraftmessung, insbesondere zur Ganganalyse, erhöhbar ist.

[0006] Weiter ist es ein Ziel, einen piezoelektrischen Sensor der eingangs genannten Art anzugeben, welcher eine hohe Einsatzfähigkeit in Bezug auf eine piezoelektrische Kraftmessung bzw. Druckmessung, insbesondere bei einer Ganganalyse, aufweist.

[0007] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, wenn die Elektroden und/oder das piezoelektrische Material derart strukturiert sind, dass mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche gebildet sind, wobei bei Aktivierung zumindest eines ersten Polarisierungsbereiches eine Körperschallwelle erzeugt wird, welche mit zumindest einem zweiten Polarisierungsbereich durch von der Körperschallwelle bewirkter Deformation von piezoelektrischem Material des zweiten Polarisierungsbereiches detektiert wird, um eine auf den Sensor wirkende Kraft bzw. einen auf den Sensor wirkenden Druck zu bestimmen. Die Aktivierung erfolgt üblicherweise mit bzw. bezeichnet ein Einbringen oder Erzeugen einer elektrischen Ladung in den/dem zumindest einen ersten Polarisierungsbereich bzw. in der Regel ein Anlegen eines elektrischen Signals, meist in Form eines elektrischen Spannungssignals, an die Elektroden bzw. den zumindest einen ersten Polarisierungsbereich.

[0008] Hintergrund der Erfindung ist die Erkenntnis, dass bei spezialisierten Anwendungsfällen einer piezoelektrischen Kraftmessung bzw. Druckmessung, wie beispielsweise einer Plantardruckmessung bzw. Ganganalyse, eine übliche Messung einer auf den Sensor wirkenden Normalkraft bzw. Druckkraft in Richtung einer Polarisierungsrichtung einer elektrischen Polarisierung des piezoelektrischen Materials häufig lediglich eine ungenügende Darstellung einer beabsichtigten zu bestimmenden einwirkenden Kraftverteilung ermöglicht. Im Rahmen einer Entwicklung der erfindungsgemäßen Lösung wurde erkannt, dass eine alternative bzw. zusätzliche Messgröße vorteilhaft wäre, um eine Deformation bzw. Verformung des piezoelektrischen Materials zu detektieren, um messtechnisch zwischen unterschiedlichen auf den piezoelektrischen Sensor einwirkenden Kraftbelastungen differenzieren zu können und insbesondere zwischen einer Druckbelastung und Biegebelastung des piezoelektrischen Sensors unterscheiden zu können.

[0009] Indem vorgesehen ist, dass der Sensor mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche aufweist, ist ermöglicht, eine Deformation bzw. Verformung des Sensors festzustellen bzw. zu charakterisieren, indem eine Welle zwischen den Polarisierungsbereichen bzw. zwischen dem ersten Polarisierungsbereich und zweiten Polarisierungsbereich übermittelt wird, da eine Ausbreitung der Welle im Sensormaterial, insbesondere im piezoelektrischen Material, mit einer Verformung des Sensors bzw. piezoelektrischen Materials und damit mit einer die Verformung bewirkenden Kraft korreliert. Die Welle ist in der Regel eine zwischen dem ersten Polarisierungsbereich und zweiten Polarisierungsbereich übertragbare Schwingung bzw. fachüblich eine sich räumlich ausbreitende Veränderung eines Gleichgewichtszustandes. Die Welle ist üblicherweise als Körperschallwelle bzw. Druckwelle bzw. Schwingung im/des Material(s) umgesetzt. Die Polarisierungsbereiche stellen dabei jene Bereiche zwischen der ersten Elektrode und zweiten Elektrode dar, welche durch Anlegen eines elektrischen Feldes bzw. einer elektrischen Spannung an die Elektroden aktivierbar bzw. elektrisch polarisierbar sind. Aktivierung bezeichnet dabei fachüblich eine Polarisierung bzw. eine Beeinflussung bzw. Änderung einer elektrischen Polarisierung des piezoelektrischen Materials durch Anlegen eines elektrischen Feldes bzw. einer elektrischen Spannung. Üblicherweise ist vorgesehen, dass die Welle von zumindest einem oder mehreren zweiten Polarisierungsbereichen detektiert wird, indem die Welle eine leichte Deformation des piezoelektrischen Materials des zweiten Polarisierungsbereiches bewirkt und entspre-

chend über die Elektroden als elektrische Ladung bzw. elektrische Spannung messbar ist. Die Aktivierung erfolgt in der Regel durch Anlegen eines elektrischen Signals an die Elektroden bzw. den zumindest einen ersten Polarisierungsbereich.

[0010] Zweckmäßig können die voneinander beabstandeten Polarisierungsbereiche umgesetzt sein, indem die erste Elektrode und/oder zweite Elektrode und/oder das piezoelektrische Material entsprechend strukturiert, insbesondere jeweils mit mehreren voneinander beabstandeten Segmenten ausgebildet ist. Bewährt hat es sich, wenn die erste und/oder zweite Elektrode mit mehreren voneinander beabstandeten Segmenten gebildet ist, um mit den Segmenten in Zusammenwirken mit zugehörigen korrespondierenden Abschnitten bzw. gegebenenfalls Segmenten der zweiten bzw. ersten Elektrode eine Kondensatoranordnung bzw. kapazitive Anordnung zu bilden, wobei zwischen den Segmenten und Abschnitten piezoelektrisches Material angeordnet ist. Alternativ oder kumulativ kann jedoch auch das zwischen der ersten und zweiten Elektrode angeordnete Material derart strukturiert sein bzw. voneinander beabstandete Segmente aufweisen, um voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche zu bilden. Üblicherweise kann ein jeweiliger Polarisierungsbereich bzw. können die Polarisierungsbereiche bzw. deren piezoelektrisches Material durch Anlegen eines elektrischen Feldes bzw. einer elektrischen Spannung über die Segmente der jeweiligen Elektrode aktiviert bzw. polarisiert werden bzw. umgekehrt ein elektrisches Feld bzw. eine elektrische Spannung an den Elektroden bei Deformation und damit verbundener elektrischer Polarisierung bzw. Änderung einer elektrischen Polarisierung des Polarisierungsbereiches erzeugt werden.

[0011] Bewährt hat es sich, wenn mehrere erste Polarisierungsbereiche aktiviert werden, um jeweils zumindest eine Welle, insbesondere Körperschallwelle bzw. Druckwelle, zu erzeugen, welche anschließend mit zumindest einem, üblicherweise mehreren, zweiten Polarisierungsbereichen detektiert wird. Es kann dann einer der ersten Polarisierungsbereiche, mit welchem eine Welle erzeugt wurde, für eine Detektion einer anderen Welle, insbesondere Körperschallwelle bzw. Druckwelle, welche in der Regel von einem anderen der ersten Polarisierungsbereichen erzeugt wurde, als zweiter Polarisierungsbereich fungieren. Es versteht sich, dass es hierbei zweckmäßig ist, wenn sich die Diktion bzw. Unterscheidung zwischen ersten Polarisierungsbereichen und zweiten Polarisierungsbereichen darauf bezieht, dass mit ersten Polarisierungsbereichen jeweils eine Welle erzeugt und mit zweiten Polarisierungsbereichen diese detektiert wird. Im Besonderen können also mehrere Polarisierungsbereiche, insbesondere sämtliche Polarisierungsbereiche, des Sensors als erste Polarisierungsbereiche fungieren und jeweils eine Welle, insbesondere Körperschallwelle bzw. Druckwelle, erzeugen, welche anschließend mit diesen als zweite Polarisierungsbereiche fungierend wechselseitig detektiert werden.

[0012] Der Sensor ist üblicherweise mit einer geschichteten Anordnung gebildet, wobei insbesondere die zumindest eine erste Elektrode und/oder die zumindest eine zweite Elektrode und/oder zwischen diesen angeordnetes piezoelektrisches Material jeweils mit bzw. als zumindest eine oder mehrere Schichten ausgebildet sind, welche insbesondere in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet bzw. gestapelt sind. Die Schichten sind dabei in der Regel als Ebenen ausgebildet. Eine kapazitive Anordnung bildende Elektrodenflächen der Elektroden sind dabei in der Regel quer, insbesondere im Wesentlichen orthogonal, zur Stapelachse ausgerichtet. Eine Beabstandung der Polarisierungsbereiche erfolgt in der Regel entlang einer Achse quer, insbesondere im Wesentlichen orthogonal, zur Stapelachse bzw. parallel zu den Elektrodenflächen.

[0013] Eine praktikable Umsetzung ist erreichbar, wenn zur Bestimmung der auf den Sensor wirkenden Kraft ein Abstand bzw. eine Abstandsänderung zwischen den Polarisierungsbereichen ermittelt wird. Dadurch kann besonders einfach auf eine durch die einwirkende Kraft bewirkte Verformung des Sensors bzw. des piezoelektrischen Materials geschlossen werden. Dies kann praktikabel anhand der zwischen den Polarisierungsbereichen übermittelten Wellen, insbesondere durch mit detektierten Wellen verbundenen elektrischen Signalen, erfolgen.

[0014] Eine einfache Auswertung ist erreichbar, wenn zur Ermittlung der auf den Sensor wirkenden Kraft eine Laufzeit bzw. Laufzeitdifferenz und/oder Dämpfung der detektierten Welle, insbesondere eines mit dieser verbundenen detektierten elektrischen Signals, ermittelt wird. Hierzu

kann eine Laufzeit und/oder Dämpfung bzw. Abnahme einer Amplitude der Welle bzw. des Signals zwischen mehreren Polarisierungsbereichen, insbesondere dem ersten Polarisierungsbereich und zumindest einem der zweiten Polarisierungsbereiche und/oder zwischen mehreren der zweiten Polarisierungsbereichen ermittelt werden. Hieraus kann eine Verformung des Sensors, insbesondere piezoelektrischen Materials, und/oder im Besonderen eine Abstandsänderung zwischen den Polarisierungsbereichen ermittelt werden, um die einwirkende Kraft praktikabel zu bestimmen. Für eine hohe Präzision der Auswertung ist es günstig, wenn die Welle mit mehreren zweiten Polarisierungsbereichen detektiert wird, um die auf den Sensor wirkende Kraft bzw. die Abstandsänderung zwischen den Polarisierungsbereichen mit einer Laufzeitdifferenz und/oder Dämpfungsdifferenz der detektierten Welle bzw. des detektierten Signals zwischen den Polarisierungsbereichen, insbesondere dem ersten Polarisierungsbereich und zumindest einem der zweiten Polarisierungsbereiche und/oder zwischen mehreren der zweiten Polarisierungsbereiche, zu bestimmen.

[0015] Von Vorteil ist es, wenn unterschiedliche Polarisierungsbereiche, insbesondere jeweils unmittelbar benachbarte Polarisierungsbereiche, elektrische Polarisierungen mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen aufweisen bzw. solche eingestellt werden. Dadurch können einwirkende unterschiedliche Kraftbelastungen effizient voneinander differenziert und insbesondere auf den Sensor wirkende Schubspannungen bzw. Schubkräfte bestimmt werden. Dies kann praktikabel mit entsprechend strukturierten bzw. angeordneten Segmenten der ersten und zweiten Elektrode umgesetzt sein, beispielsweise indem zueinander korrespondierende Segmente der ersten und zweiten Elektrode, welche einen Polarisierungsbereich definieren, seitlich versetzt zueinander angeordnet sind.

[0016] Es versteht sich, dass die elektrische Polarisierung eines Polarisierungsbereiches in der Regel eine makroskopische mittlere elektrische Polarisierung des Polarisierungsbereiches bzw. dessen piezoelektrischen Materials bezeichnet.

[0017] Bewährt hat es sich, wenn zumindest einer, bevorzugt mehrere, insbesondere sämtliche, der Polarisierungsbereiche elektrische Polarisierungen mit Polarisationsrichtungen aufweisen, welche quer zu einer Oberflächennormalen der ersten und/oder zweiten Elektrode bzw. deren Elektrodenfläche bzw. Stapelachse, insbesondere mit dieser einen spitzen Winkel bildend, ausgerichtet sind bzw. werden. Dadurch ist eine höhere Empfindlichkeit in Bezug auf quer zur Oberflächennormale einwirkende Kräfte, beispielsweise Schubkräfte, auf Kosten einer Empfindlichkeit für Kräfte parallel zur Oberflächennormale erreichbar. Es kann günstig sein, wenn einige Polarisierungsbereiche elektrische Polarisierungen mit Polarisationsrichtungen normal zur Oberflächennormale der ersten und/oder zweiten Elektrode bzw. parallel zur Stapelachse aufweisen und einigen Polarisierungsbereiche elektrische Polarisierungen mit Polarisierungsrichtungen quer zu dieser. Je nach konkreter Anordnung kann dadurch Einfluss auf eine Empfindlichkeit einer Bestimmung von normal auf die jeweilige Elektrodenfläche sowie schräg zu dieser einwirkenden Kräften bzw. Kraftkomponenten genommen und insbesondere eine solche eingestellt werden.

[0018] Bewährt hat es sich, wenn unmittelbar benachbarte Polarisierungsbereiche elektrische Polarisierungen mit Polarisationsrichtungen aufweisen, welche zueinander spitze Winkel bilden. Dies ermöglicht einen robusten Aufbau und eine Detektion von Normalkräften und Schubkräften mit ausgeprägter Empfindlichkeit.

[0019] Von Vorteil ist es, wenn das piezoelektrische Material ein ferroelektrisches Material ist. Dadurch wird eine Messung mit hoher Empfindlichkeit ermöglicht. Bevorzugt ist es dann, wenn eine Aktivierung des zumindest einen Polarisierungsbereiches mit einer bzw. durch Polung des ferroelektrischen Materials erfolgt. Dabei wird ein elektrisches Feld, in der Regel mit einer elektrischen Feldstärke größer als eine Koerzitivfeldstärke des ferroelektrischen Materials, an die Elektroden angelegt, sodass eine Orientierung von ferroelektrischen Domänen im ferroelektrischen Material geändert bzw. ausgerichtet wird. Auf diese Weise wird bei Aktivierung des ersten Polarisierungsbereiches eine stark ausgeprägte Welle bzw. Schwingung im Material erzeugt. Dadurch ist eine Polarisierung der Polarisierungsbereiche, insbesondere des ersten Polarisierungsbereiches, erreichbar, welche auch nach Entfernung des elektrischen Feldes erhalten bleibt.

[0020] Eine hohe Robustheit ist erreichbar, wenn das piezoelektrische, insbesondere ferroelektrische, Material mit bzw. aus keramischem Material gebildet ist. Besonders bewährt hat es sich hierzu, wenn das ferroelektrische Material mit bzw. aus Polyvinylidenfluorid, auch Polyvinylidendifluorid, abgekürzt mit PVDF, und/oder Polyvinylidenfluorid-Trifluorethylen, abgekürzt mit PVDF-TrFE, gebildet ist. Dadurch kann das piezoelektrische Material, insbesondere als Schicht, besonders belastbar und mit im Vergleich zu etwa Quarz sehr hohen piezoelektrischen Koeffizienten ausgebildet werden.

[0021] Für eine einfache Herstellbarkeit ist es günstig, wenn der Sensor, insbesondere das piezoelektrische Material, mit einem Druckverfahren hergestellt wird. Bevorzugt erfolgt dies mit einem Siebdruckverfahren oder Tintenstrahldruckverfahren. Vor allem mit einem Siebdruckverfahren kann eine hohe Stückzahl aufwandsarm hergestellt werden. Zweckmäßig kann das piezoelektrische Material mit bzw. aus vorgenanntem PVDF bzw. PVDF-TrFE auf diese Weise hergestellt werden, wobei üblicherweise PVDF bzw. PVDF-TrFE als Suspension bereitgestellt, gedruckt und, meist bei erhöhter Temperatur, getrocknet wird. Nach der Trocknung kann eine Polung durchgeführt werden, um eine elektrische Polarisierung einzustellen.

[0022] Für eine hohe Einsatzfähigkeit hat es sich bewährt, wenn der piezoelektrische Sensor mit einer Dicke kleiner als 500 μm , insbesondere kleiner als 250 μm , bevorzugt kleiner als 100 μm ausgebildet ist. Üblicherweise ist die Dicke dabei zwischen 10 μm und 200 μm , insbesondere zwischen 10 μm und 150 μm , meist zwischen 20 μm und 100 μm , ausgebildet. Hierzu sind üblicherweise die Elektroden und das piezoelektrische Material jeweils als dünne Schicht ausgebildet und aufeinandergestapelt angeordnet.

[0023] Eine Kraftmessung mit hoher Präzision ist erreichbar, wenn der piezoelektrische Sensor in Resonanz bzw. in einem Bereich um eine Resonanzfrequenz des piezoelektrischen Sensors bzw. dessen piezoelektrischen Materials betrieben wird, wobei der Sensor üblicherweise über eine der Elektroden, in der Regel die erste oder zweite Elektrode, mit einem elektrischen Anregesignal aufweisend meist eine vorgegebene Amplitude und/oder Frequenz angeregt wird. Eine Amplitude und/oder Frequenz eines sich einstellenden elektrischen Signals bzw. dessen zeitliche Entwicklung sind üblicherweise proportional zu einer Deformation des piezoelektrischen Materials bzw. einer auf dieses einwirkenden Kraft. An der anderen Elektrode, in der Regel der zweiten oder ersten Elektrode, erfolgt eine Weiterleitung bzw. Verstärkung des elektrischen Signals meist mit einer Transimpedanz-Schaltung bzw. einem Transimpedanzverstärker. Für eine praktikable Steuerung ist es zweckmäßig, wenn eine Aktivierung, insbesondere Polarisierung, bevorzugt Polung, der Polarisierungsbereiche bzw. des ersten Polarisierungsbereiches mit Anlegen einer elektrischen Spannung in einer elektronischen Rückkopplung des Sensors erfolgt. Üblicherweise ist vorgesehen, dass mit der Aktivierung zumindest eine Welle bzw. Schwingung erzeugt wird, welche mit zumindest einem, üblicherweise mehreren zweiten Polarisierungsbereichen, detektiert wird und ein entsprechendes elektrisches Spannungssignal an den dem zweiten Polarisierungsbereich zugeordneten Elektroden bzw. deren Segmenten erzeugt. Durch Auswertung des Spannungssignals bzw. von mehreren solchen Spannungssignalen, üblicherweise mit einer Prozessoreinheit, kann eine Kraftbelastung analysiert werden. Vorzugsweise erfolgt dabei eine Auswertung einer Amplitude und/oder Frequenz und/oder häufig Phasenänderung der Spannungssignale. In der Regel korrespondiert dabei die Amplitude zu Druckbelastungen bzw. Kraftbelastungen in Polarisationsrichtung und die Frequenz und/oder Phasenänderung zu Biegebelastungen. Auf diese Weise kann eine sensitive Differenzierung zwischen einwirkenden Kräften erfolgen. Eine besonders präzise Steuerung ist erreichbar, wenn zumindest eine dritte Elektrode vorhanden ist, um das Anregesignal anzulegen bzw. das piezoelektrische Material mit diesem anzuregen, insbesondere zu aktivieren. Die dritte Elektrode kann entsprechend den angeführten Merkmalen der ersten bzw. zweiten Elektrode aufgebaut bzw. strukturiert sein. Es können auch mehrere dritte Elektroden vorgesehen sein, um eine differenzierte Ansteuerung des Sensors umzusetzen.

[0024] Von Vorteil ist es, wenn zumindest eine analoge Integratorschaltung oder eine digitale Integration zur Auswertung vorhanden ist, um die Messsignale, insbesondere vorgenannte elektrische Signale bzw. Spannungssignale, aufzusummieren. Dadurch kann eine am Sensor anlie-

gende Kraftbelastung über eine Zeitdauer analysiert werden. Zweckmäßig ist es, wenn die Integratorschaltung abhängig von zumindest einem vorgegebenen Schwellwert einer Belastung bzw. Belastungsänderung resettiert wird bzw. einen neuen Summierungszyklus beginnt. In der Regel sind dabei mehrere Schwellwerte vorgesehen, welche insbesondere in Abhängigkeit von einem definierten Belastungsprofil festgelegt sind bzw. zu einem solchen korrespondieren. Es können mehrere derartige Integratorschaltungen vorhanden sein.

[0025] Vorteilhaft kann ein vorgenannter Sensor zur Bewegungsanalyse eingesetzt werden. Günstig ist es entsprechend, wenn ein Verfahren zur Bewegungsanalyse, insbesondere Ganganalyse, vorgesehen ist, wobei ein, insbesondere vorgenanntes, Verfahren zur Kraftmessung mit zumindest einem piezoelektrischen Sensor angewendet wird, um eine von einem Körperteil auf den piezoelektrischen Sensor ausgeübte Kraft zu bestimmen. Die ermöglichte Differenzierung zwischen unterschiedlichen Kräften, insbesondere Druckkräften, Schubkräften und/oder Biegekräften, erlaubt eine detaillierte Darstellung von durch Körperteile ausgeübten verursachten Kraft- bzw. Druckverteilungen, wodurch Bewegungsabläufe detailliert analysierbar sind. Üblicherweise werden hierzu mehrere, insbesondere miteinander elektrisch gekoppelte, piezoelektrische Sensoren verwendet.

[0026] Günstig ist es, wenn hierbei zumindest ein, in der Regel mehrere, piezoelektrische Sensoren in einem Kleidungsstück angeordnet sind, um eine von einem mit dem Kleidungsstück bekleideten Körperteil auf die Sensoren ausgeübte Kraft zu bestimmen.

[0027] Besonders bewährt hat es sich, wenn zumindest ein piezoelektrischer Sensor in oder innerhalb eines Schuhs, insbesondere eines Schuhbodens, oder einer Schuheinlegesohle angeordnet oder als Teil einer solchen ausgebildet ist, um eine von einem Fuß auf den Schuh bzw. die Schuheinlegesohle ausgeübte Kraft zu bestimmen. Dadurch kann praktikabel eine detaillierte Ganganalyse bzw. Plantardruckmessung durchgeführt werden. Üblicherweise werden hierzu mehrere, insbesondere miteinander elektrisch gekoppelte, piezoelektrische Sensoren verwendet. Bevorzugt ist zumindest eine oder mehrere vorgenannte Integratorschaltung vorhanden, welche abhängig von einem Bewegungsmuster, insbesondere Gangmuster bzw. Laufmuster, resettiert wird. Bewährt hat es sich, wenn die Integratorschaltung resettiert wird, wenn der Fuß gehoben ist und Messwerte aufsummiert, wenn der Fuß an einem Boden auftritt. Die Integratorschaltung wird üblicherweise mit einer Steuereinheit bzw.essoreinheit entsprechend gesteuert. Auf diese Weise kann eine Messwerterfassung zyklisch abgestimmt auf ein vorliegendes Gangmuster erfolgen.

[0028] Vorteilhaft ist ein piezoelektrischer Sensor zur Kraftmessung, insbesondere zur Durchführung eines, insbesondere vorgenannten, Verfahrens zur Kraftmessung vorgesehen, wobei der Sensor mit einer ersten Elektrode, zweiten Elektrode und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material gebildet ist, um durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden einen Polarisierungsbereich im piezoelektrischen Material zu aktivieren, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden und/oder das piezoelektrische Material derart strukturiert sind, dass mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche gebildet sind, sodass bei Aktivierung zumindest eines ersten Polarisierungsbereiches eine Körperschallwelle bzw. Schwingung erzeugbar ist, welche mit zumindest einem zweiten Polarisierungsbereich durch von der Körperschallwelle bewirkter Deformation von piezoelektrischem Material des zweiten Polarisierungsbereiches detektierbar ist, um mit einer Laufzeit und/oder Dämpfung der Körperschallwelle bzw. Schwingung eine auf den Sensor wirkende Kraft zu bestimmen. Wie vorstehend dargelegt ist es dadurch ermöglicht, zwischen unterschiedlichen auf den Sensor einwirkenden Kraftbelastungen bzw. Kraftkomponenten zu differenzieren und insbesondere zwischen Druckbelastungen und Biegebelastungen zu unterscheiden bzw. diese gleichzeitig zu bestimmen.

[0029] Es versteht sich, dass der erfindungsgemäße piezoelektrische Sensor entsprechend bzw. analog den Merkmalen, Vorteilen und Wirkungen, welche im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Kraftmessung, insbesondere vorstehend, beschrieben sind, ausgebildet sein kann. Analoges gilt auch für das erfindungsgemäße Verfahren im Hinblick auf einen, insbesondere nachstehend beschriebenen, piezoelektrischen Sensor.

[0030] Vorteilhaft ist es, wenn die erste Elektrode und/oder zweite Elektrode und/oder das piezoelektrische Material mit mehreren üblicherweise in zumindest einer Richtung, in der Regel im Wesentlichen parallel zur Elektrodenfläche der ersten bzw. zweiten Elektrode, voneinander beabstandeten Segmenten gebildet ist, um die voneinander beabstandeten Polarisierungsbereiche zu bilden. Auf diese Weise ist zweckmäßig das zwischen einem der Segmente und einem zum Segment unter Bildung einer kapazitiven Funktionalität korrespondierenden Abschnitt der anderen Elektrode befindliche piezoelektrische Material als Polarisierungsbereich definierbar. Vorteilhaft können die Segmente in zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Richtungen im Wesentlichen parallel zur Elektrodenfläche voneinander beabstandet sein. Alternativ kann es günstig sein, wenn die Segmente radial von einem gemeinsamen Verbindungsbereich abragend ausgebildet sind. Die Segmente können beispielsweise eine sternartige ausgebildet sein. Eine Beabstandung der Segmente ist dann in der Regel entlang eines Umfanges um den Verbindungsbereich gegeben. Günstig kann es sein, wenn sowohl die erste Elektrode als auch die zweite Elektrode derartige Segmente aufweist. Vorgenannter korrespondierender Abschnitt ist dann in der Regel als Segment der anderen Elektrode ausgebildet. Auch wenn in der Regel vorgesehen ist, dass die erste Elektrode und zweite Elektrode bzw. deren Elektrodenflächen im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet sind, kann es zweckmäßig sein, wenn die erste Elektrode und zweite Elektrode nicht gänzlich parallel bzw. unter einem kleinen Winkel, üblicherweise einem Winkel von weniger als 45° , insbesondere weniger als 10° , bevorzugt weniger als 5° , zueinander ausgerichtet sind.

[0031] Zweckmäßig kann eine derartige Ausrichtung als von einer Definition einer im Wesentlichen parallelen Ausrichtung der Elektroden umfasst betrachtet werden.

[0032] Es versteht sich, dass Elektrodenfläche dabei in der Regel jene jeweilige Fläche bzw. Hauptfläche der ersten Elektrode bzw. zweiten Elektrode bezeichnet, welche der zweiten Elektrode bzw. ersten Elektrode bzw. deren Elektrodenfläche unter Bildung einer kapazitiven Funktionalität mit dieser zugewandt ist.

[0033] Üblicherweise ist vorgesehen, dass die Segmente der jeweiligen Elektrode miteinander elektrisch verbunden sind bzw. eine elektrische Einheit bilden, um gemeinsam die jeweilige Elektrode bzw. einen Teil dieser zu bilden.

[0034] Günstig ist es, wenn die Segmente einer jeweiligen Elektrode als längliche, insbesondere streifenförmige, Längssegmente ausgebildet sind, welche in einer Richtung quer, insbesondere orthogonal, zu deren Längserstreckung voneinander beabstandet sind, um die voneinander beabstandeten Polarisierungsbereiche zu definieren. Die Längssegmente sind dabei in der Regel in einer Richtung parallel zur Elektrodenfläche voneinander beabstandet. Auf diese Weise können klar definierte voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche definiert werden, um die Welle effizient zu detektieren bzw. zu analysieren. Die Längssegmente ragen in der Regel von einem gemeinsamen Querabschnitt der jeweiligen Elektrode ab, über welchen die Längssegmente miteinander elektrisch verbunden sind. Beispielsweise können die Längssegmente hierzu eine kammzinkenartige Struktur bilden. Eine effiziente Detektion von Wellen bzw. Schwingungen ist erreichbar, wenn die Längssegmente im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtete Streifen bilden.

[0035] Eine hohe Anwendungsfunktionalität ist erreichbar, wenn die erste Elektrode und zweite Elektrode jeweils mit beabstandeten, insbesondere vorgenannten, Segmenten gebildet sind, wobei, insbesondere in einem Querschnitt im Wesentlichen orthogonal zur Elektrodenfläche der ersten bzw. zweiten Elektrode, zueinander korrespondierende Segmente der ersten Elektrode und Segmente der zweiten Elektrode versetzt zueinander angeordnet sind, um einen schräg zur Elektrodenflächennormale ausgerichteten jeweiligen Polarisierungsbereich zu definieren bzw. bei bestimmungsgemäßer Verwendung dessen Polarisierung mit einer entsprechend ausgerichteten Polarisationsrichtung auszubilden. Zueinander korrespondierende Segmente sind dabei üblicherweise in einer Richtung parallel zu einer jeweiligen Elektrodenfläche bzw. in Richtung einer Beabstandung zwischen den Segmenten einer jeweiligen Elektrode relativ zueinander versetzt. Die Polarisierung kann dabei vorzugsweise wie vorgenannt dargelegt durch Anlegen einer elektrischen

Spannung an die Elektroden bzw. Segmente eingestellt bzw. geändert werden, um das zwischen den Segmenten angeordnete piezoelektrische Material zu polarisieren, insbesondere zu polen. Dadurch ist eine Empfindlichkeit sowohl für einwirkende laterale Kräfte als auch Normalkräfte bzw. eine leichte Differenzierbarkeit zwischen Druckspannungen und Biegespannungen erreichbar. Besonders bewährt hat es sich hierzu, wenn die korrespondierenden Segmente der ersten und zweiten Elektrode dabei derart angeordnet sind, dass bei bestimmungsgemäßer Verwendung unmittelbar benachbarte Polarisierungsbereiche jeweils mit Polarisationsrichtungen ausgebildet sind, welche zueinander spitze Winkel aufweisen. Korrespondierende Segmente können derart versetzt angeordnet sein, dass diese teilweise überlappen oder nicht miteinander überlappen. Wenn keine Überlappung vorliegt, ist eine besonders hohe Empfindlichkeit für laterale Kräfte erreichbar.

[0036] Die zueinander korrespondierenden Segmente der ersten Elektrode und Segmente der zweiten Elektrode können im Wesentlichen gleich geformt oder je nach Anwendungsbedingungen unterschiedlich geformt sein. Abhängig von einer zu erzeugenden Polarisierung kann es günstig sein, wenn eines der Segmente in zumindest einer oder insbesondere mehreren Richtungen parallel zur jeweiligen Elektrodenfläche eine größere Erstreckung als ein zum Segment korrespondierendes Segment der anderen Elektrode aufweist.

[0037] Von Vorteil ist es, wenn der Sensor mit mehreren ersten Elektroden und mehreren zweiten Elektroden gebildet ist, um bei bestimmungsgemäßer Verwendung Polarisierungsbereiche mit Polarisierungen unterschiedlicher Polarisationsrichtungen zu bilden. Üblicherweise korrespondiert dabei eine der ersten Elektroden zu jeweils einer der zweiten Elektroden, um eine kapazitive Funktionalität zu bilden. Als besonders robust hat es sich erwiesen, wenn der Sensor mit zwei ersten Elektroden und zwei zweiten Elektroden gebildet ist. Bevorzugt ist es dann, wenn die beiden ersten und/oder beiden zweiten Elektroden mit, insbesondere vorgenannten, voneinander beabstandeten länglichen Segmenten gebildet sind, wobei die Segmente der beiden ersten Elektroden bzw. zweiten Elektroden derart angeordnet sind, dass diese, insbesondere in einem Querschnitt parallel zu deren Elektrodenflächen, abwechselnd ineinander greifen. Dadurch können Polarisationsrichtungen von Polarisierungen benachbarter Polarisierungsbereiche unabhängig voneinander eingestellt bzw. angesteuert werden. Dabei können die beiden ersten Elektroden bzw. beiden zweiten Elektroden bzw. deren Segmente in einer Richtung orthogonal zu deren Elektrodenflächen auf gleicher Höhe oder versetzt zueinander angeordnet sein. Es versteht sich, dass die mehreren ersten Elektroden bzw. mehreren zweiten Elektroden in der Regel voneinander elektrisch entkoppelt sind, um diese unabhängig voneinander zu steuern. Im Besonderen können die mehreren ersten Elektroden und mehreren zweiten Elektroden, wie insbesondere obig dargelegt, jeweils mit voneinander beabstandeten Segmenten gebildet sein, wobei zueinander korrespondierende Segmente zwischen einer der ersten Elektroden und einer der zweiten Elektroden versetzt zueinander angeordnet sind.

[0038] Mit Vorteil ist ein Sensorverbund zur Kraft bzw. Druckmessung vorgesehen, wobei mehrere, insbesondere vorgenannte, piezoelektrische Sensoren elektrisch miteinander gekoppelt sind, um mit den piezoelektrischen Sensoren ermittelte Sensordaten zusammenzuführen. Dabei können je nach Anwendungszielsetzung Sensoren des Sensorverbundes räumlich verteilt angeordnet sein, um über einen ausgedehnten Bereich verteilt einwirkende Kraftverteilungen zu bestimmen. Für eine hohe Einsatzpraktikabilität ist es günstig, wenn der Sensorverbund mit mehreren flächig, insbesondere in einer Ebene, angeordneten piezoelektrischen Sensoren gebildet ist.

[0039] In der Anwendungspraxis hat es sich für eine einfache Ansteuerung bzw. ein einfaches Auslesen einer Mehrzahl von Sensoren bewährt, diese in Form einer mit Zeilen und Spalten gebildeten Matrix anzuordnen, wobei jeweils eine der Elektroden der Sensoren miteinander zeilenweise und jeweils eine andere Elektrode der Sensoren miteinander spaltenweise elektrisch verbunden sind, um durch elektrisches Ansteuern, üblicherweise mit einer Auswerteelektronik bzw. einem Messverstärker, jeweils einer der Zeilen und jeweils einer der Spalten der Matrix einen einzelnen Sensor anzusprechen bzw. auszulesen. Dies wird fachüblich als Passivmatrix-Anordnung bezeichnet. Als nachteilig bei einem derartigen zeilenweisen und spaltenweisen Auslesen ist zu sehen, dass eine gegenseitige Störung von jeweils in einer Zeile bzw. Spalte angeordneten

Sensoren vorhanden ist, üblicherweise als Crosstalk bezeichnet, welche ein Auslesen bzw. eine Zuordnung von Messwerten zu den einzelnen Sensoren erschwert. Dies gilt besonders im Fall von, insbesondere dünn ausgebildeten, piezoelektrischen Sensoren, welche eine relativ hohe Kapazität aufweisen.

[0040] Um diese Problematik zu lösen, wird eine optimierte Anordnung von Sensoren in Form einer Matrix bzw. Matrixanordnung vorgeschlagen. Vorteilhaft ist es, wenn mehrere mit piezoelektrischen Sensoren gebildete Messzellen in Form einer elektrischen Matrix, gebildet mit mehreren Matrixzeilen und mehreren Matrixspalten, elektrisch gekoppelt sind, wobei jeweils eine Elektrode der Messzellen mit einer der Matrixzeilen elektrisch verbunden ist und jeweils eine andere Elektrode der Messzellen mit einer der Matrixspalten elektrisch verbunden ist, wobei jeweils zumindest zwei Sensoren eine Messzelle bilden, wobei eine Elektrode eines der zwei Sensoren mit der Matrixzeile elektrisch verbunden ist und eine Elektrode des anderen der zwei Sensoren mit der Matrixspalte elektrisch verbunden ist und eine jeweilige andere Elektrode der zwei Sensoren miteinander elektrisch verbunden sind, um eine gemeinsame Mittelelektrode zu bilden, um durch elektrisches Ansteuern einer der Matrixzeilen bzw. einer der Matrixspalten sowie der Mittelelektrode Sensoren auszulesen. Auf diese Weise ist eine direkte elektrische Verbindung zwischen Matrixzeilen und Matrixspalten derart unterbunden, dass ein Crosstalk bzw. eine gegenseitige Störung der Messzellen bzw. Sensoren bei einem Auslesen der Sensoren reduziert bzw. verhindert ist. Die jeweiligen Mittelelektroden der Messzellen können elektrisch miteinander verbunden sein und insbesondere als gemeinsame Mittelelektrode verschiedener Messzellen ausgebildet sein. Zweckmäßig kann vorgesehen sein, dass für ein Auslesen des Sensorverbundes bzw. der Sensoren sowohl die Matrixzeilen, die Matrixspalten und die Mittelelektrode elektrisch jeweils einzeln auswählbar bzw. ansteuerbar mit einer Ausleseelektronik verbunden sind, um jeweils einen einzelnen Sensor auszulesen. Es kann aber ausreichend sein, wenn für ein Auslesen des Sensorverbundes jeweils eine Matrixzeile und die Mittelelektrode bzw. jeweils eine Matrixspalte und die Mittelelektrode auswählbar bzw. ansteuerbar mit der Ausleseelektronik verbunden sind, um Summenwerte der in einer Matrixzeile bzw. Matrixspalte angeordneten Sensoren auszulesen. In diesem Fall ist es möglich, mittels hoher zeitlicher Auflösung bzw. hohen zeitlichen Abtastraten einen jeweiligen Messwert eines Sensors mittels Korrelationsanalyse näherungsweise zu ermitteln. Matrixzeilen, Matrixspalten und Mittelelektroden sind üblicherweise mit Leiterbahnen mit der Ausleseelektronik verbunden. Eine solche Matrixanordnung hat sich grundsätzlich für eine elektrische Kopplung von piezoelektrischen Sensoren als vorteilhaft erwiesen und kann im Besonderen für eine Kraft- bzw. Druckmessung mit bzw. einen Sensorverbund von piezoelektrischen Sensoren, im Speziellen mit jeweils mehreren Polarisierungsbereichen, praktikabel angewendet werden.

[0041] Bewährt hat es sich, wenn eine Messzelle gebildet ist, indem zumindest zwei Sensoren gestapelt übereinander angeordnet sind, wobei jeweils eine der Elektroden der zwei Sensoren als gemeinsame Mittelelektrode ausgebildet ist und die jeweiligen anderen Elektroden einander gegenüberliegend an der Mittelelektrode angeordnet und jeweils mit piezoelektrischem Material von der Mittelelektrode beabstandet sind. Dadurch ist ein kompakter und belastbarer Aufbau umsetzbar. Die Elektroden bzw. das piezoelektrische Material sind vorzugsweise als, insbesondere unmittelbar, übereinander angeordneten Schichten ausgebildet.

[0042] Alternativ oder kumulativ kann ein Auslesen einer Messzelle mittels eines Sensor-Aktuator-Prinzips erfolgen. Hierzu ist es zweckmäßig, wenn an eine der Matrixzeilen oder Matrixspalten ein, vorzugsweise periodisches, elektrisches Schwingungssignal angelegt wird und das Schwingungssignal über eine der Matrixspalten gemessen wird. Dies ist besonders günstig anwendbar, wenn eine ausgeprägte mechanische Kopplung zwischen den Sensoren der Messzelle vorhanden ist, etwa wenn diese, insbesondere auf vorgenannte Art, gestapelt übereinander angeordnet sind. Mit Auswertung von Dämpfung und/oder zeitlicher Verschiebung des elektrischen Schwingungssignals kann auf einen Messwert einer bestimmten Messzelle geschlossen werden. Im Besonderen kann auf diese Weise ein statischer Belastungszustand von Messzellen bzw. einer bestimmten Messzellen ermittelt werden.

[0043] Elektroden von in einem Sensorverbund angeordneten Sensoren sind in der Regel mit

Leiterbahnen elektrisch gekoppelt und insbesondere mit einer Auswerteelektronik elektrisch verbunden. Insbesondere sind die Matrixzeilen bzw. Matrixspalten vorzugsweise als Leiterbahnen ausgebildet, welche die jeweiligen Elektroden elektrisch verbinden. Um bei einander räumlich naheliegenden, insbesondere einander überkreuzenden, Leiterbahnen eine gegenseitige Störung, insbesondere bei einer Aktivierung, vor allem Polung, zu minimieren, kann es günstig sein, wenn zwischen zwei Leiterbahnen zumindest abschnittsweise, insbesondere an einem Kreuzungspunkt der Leiterbahnen, eine Isolationsschicht angeordnet ist. Zweckmäßig ist es, wenn mehreren, insbesondere sämtlichen, Kreuzungspunkten eine solche Isolationsschicht zugeordnet ist. Alternativ oder zusätzlich kann in einem Bereich eines solchen Kreuzungspunktes das piezoelektrische Material bzw. eine piezoelektrische Materialschicht mit einer größeren Dicke ausgebildet sein, um einen Abstand zwischen den sich kreuzenden Leiterbahnen zu erhöhen. Bewährt hat es sich dabei, wenn die Dicke im Bereich des Kreuzungspunktes 1,5 mal bis 2,5 mal, insbesondere 1,7 mal bis 2,3 mal, bevorzugt etwa 2 mal, so groß wie die durchschnittliche Dicke des piezoelektrischen Materials bzw. der piezoelektrischen Materialschicht ist.

[0044] In der Regel ist eine Prozessoreinheit vorhanden, um eine Messdatenerfassung des Sensors bzw. der Sensoren, insbesondere wenn diese als Teil eines Sensorverbundes ausgebildet sind, zu steuern bzw. mit den Sensoren ermittelte Messdaten zu verarbeiten. Die Prozessoreinheit kann Teil des Sensors bzw. Sensorverbundes sein oder mit einem solchen gekoppelt sein. Praktisch ist es, wenn eine Integratoreinheit bzw. Integratorschaltung vorhanden ist, um Messsignale zu addieren. Dadurch kann eine zeitliche Entwicklung einer Krafteinwirkung dargestellt werden. Üblicherweise ist die Integratoreinheit mit der ersten und/oder zweiten Elektrode elektrisch gekoppelt, um an dieser anliegende Spannungssignale zu summieren.

[0045] Eine praktische und robuste Ausgestaltung ist erreichbar, wenn der zumindest eine Sensor bzw. Sensorverbund auf einem Substrat angeordnet, bevorzugt auf ein solches aufgedruckt ist. Das Substrat kann aus flexiblem Material, üblicherweise als Folie, ausgebildet sein. Ein kompakter Aufbau ist erreichbar, wenn zumindest ein Sensor, bevorzugt mehrere Sensoren, insbesondere ein Sensorverbund, jeweils auf gegenüberliegenden Seiten des Substrats auf dem Substrat angeordnet sind. Bewährt hat es sich, wenn eine vorgenannte Matrix bzw. Matrixanordnung gebildet ist, wobei Matrixzeilen an einer Seite des Substrats und Matrixspalten an einer dieser Seite gegenüberliegenden Seite des Substrats am Substrat angeordnet sind.

[0046] Vorteilhaft ist es, wenn ein Kleidungsstück, insbesondere ein Schuh oder eine Schuheinlegesohle, vorhanden ist, wobei zumindest ein piezoelektrischer Sensor oder zumindest ein Sensorverbund in diesem angeordnet oder als ein Teil dieses ausgebildet ist, um eine von einem mit dem Kleidungsstück bekleideten Körperteil auf den Sensor bzw. Sensorverbund ausgeübte Kraft zu bestimmen. Die ermöglichte Differenzierung zwischen unterschiedlichen Kräften, insbesondere Druckkräften, Schubkräften und/oder Biegekräften, erlaubt eine detaillierte Darstellung von durch Körperteile ausgeübte verursachten Kraft- bzw. Druckverteilungen, wodurch Bewegungsabläufe detailliert analysierbar sind. Es können hierzu auch mehrere, insbesondere miteinander elektrisch gekoppelte, piezoelektrische Sensoren oder Sensorverbunde vorgesehen sein.

[0047] Besonders bewährt hat es sich, wenn das Kleidungsstück ein Schuh oder eine Schuheinlegesohle ist, um eine von einem Fuß auf den Schuh, insbesondere Schuhboden, bzw. die Schuheinlegesohle ausgeübte Kraft zu bestimmen. Dadurch kann praktikabel eine detaillierte Ganganalyse bzw. Plantardruckmessung durchgeführt werden. Üblicherweise werden hierzu mehrere, insbesondere miteinander elektrisch gekoppelte, piezoelektrische Sensoren oder Sensorverbunde verwendet.

[0048] Weitere Merkmale, Vorteile und Wirkungen ergeben sich aus den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen. In den Zeichnungen, auf welche dabei Bezug genommen wird, zeigen:

[0049] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines piezoelektrischen Sensors mit einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode;

[0050] Fig. 2 eine schematische Darstellung eines piezoelektrischen Sensors mit zwei ersten Elektroden und zwei zweiten Elektroden;

- [0051]** Fig. 3 und Fig. 4 schematische Darstellungen von Sensorverbunden von piezoelektrischen Sensoren für eine Schuhsohle bzw. einen Schuhboden;
- [0052]** Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Matrixanordnung von piezoelektrischen Sensoren;
- [0053]** Fig. 6 eine schematische Explosionsdarstellung einer mit zwei piezoelektrischen Sensoren gebildeten Messzelle für eine Matrixanordnung von piezoelektrischen Sensoren;
- [0054]** Fig. 7 eine allgemeine schematische Darstellung eines elektronischen Schaltbildes einer passiven Matrixanordnung von piezoelektrischen Sensoren;
- [0055]** Fig. 8 eine schematische Darstellung eines elektronischen Schaltbildes einer Matrixanordnung von Messzellen gemäß Fig. 5;

[0056] Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines piezoelektrischen Sensors 1 zur Kraftmessung, wobei der piezoelektrische Sensor 1 mit einer ersten Elektrode 2, einer zweiten Elektrode 3 und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material 4 gebildet ist. Die erste Elektrode 2, zweite Elektrode 3 und das piezoelektrische Material 4 sind als dünne Schichten ausgebildet und aufeinandergestapelt angeordnet. Die erste Elektrode 2 ist derart strukturiert, dass diese mit mehreren voneinander beabstandeten Segmenten 5 ausgebildet ist, die zweite Elektrode 3 ist als flächige Schicht bzw. Ebene ausgebildet. Auf diese Weise sind im piezoelektrischen Material 4 mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche 6 geschaffen, welche durch Anlegen eines elektrischen Feldes bzw. einer elektrischen Spannung zwischen erster Elektrode 2 und zweiter Elektrode 3 polarisierbar bzw. aktivierbar sind. Eine Kondensatoranordnung bildende Elektrodenflächen der ersten Elektrode 2 und zweiten Elektrode 3, zwischen welchen piezoelektrisches Material 4 angeordnet ist, sind dabei üblicherweise im Wesentlichen parallel zu einander ausgerichtet. Mit Aktivierung der Polarisierungsbereiche 6 bzw. Einbringen oder Erzeugung von elektrischer Ladung in diesen sind Wellen erzeugbar, welche sich im piezoelektrischen Material 4 ausbreiten. Dies ist praktikabel mit Anlegen eines elektrischen Signals an die Elektroden 3 umsetzbar. Auf diese Weise ist ermöglicht, dass von einem bzw. mehreren ersten Polarisierungsbereichen 6 jeweils eine Welle bzw. Schwingung erzeugt und anschließend von einem oder mehrere zweiten Polarisierungsbereichen 6 detektiert wird. Die Welle bzw. Schwingung ist meist als Körperschallwelle oder Druckwelle umgesetzt. Eine Unterscheidung zwischen erstem Polarisierungsbereich 6 und zweiten Polarisierungsbereich 6 dient dabei üblicherweise lediglich einer funktionellen Differenzierung, ob ein jeweiliger Polarisierungsbereich 6 im Betrieb eine bestimmte Welle generiert oder detektiert. Hierzu wird meist ein elektrisches Spannungssignal an die Elektroden 2, 3 angelegt, um die Polarisierungsbereiche 6 zu aktivieren bzw. Wellen zu erzeugen. Das piezoelektrische Material 4 ist vorzugsweise als ferroelektrisches Material ausgebildet. Üblicherweise erfolgt eine Aktivierung bzw. Erzeugung einer Welle dann mit Anlegen eines elektrischen Feldes mit einer Feldstärke im Bereich um eine Koerzitivfeldstärke des ferroelektrischen Materials oder darüber, um eine Orientierung von Domänen des ferroelektrischen Materials im jeweiligen Polarisierungsbereich 6 zu ändern. Indem eine Laufzeit bzw. Laufzeitänderung und/oder Dämpfung der zwischen ersten Polarisierungsbereichen 6 und zweiten Polarisierungsbereichen 6 übermittelten Welle analysiert wird, kann eine Verformung des piezoelektrischen Materials 4 ermittelt und eine die Verformung verursachende auf den Sensor 1 wirkende Kraft bestimmt werden. Insbesondere kann auf diese Weise zwischen unterschiedlichen Kraftbelastungen, insbesondere Druckbelastungen und/oder Biegebelastungen und/oder Scherkraftbelastungen, unterschieden werden. In der Regel ist ein Substrat 7 vorgesehen, meist in Form einer flexiblen Folie, auf welche der Sensor 1 bzw. Sensorbestandteile aufgebracht, insbesondere mit einem Druckverfahren aufgedruckt, ist.

[0057] Zur fehlerarmen Erzeugung bzw. Detektion von Wellen ist es günstig, wenn die Segmente 5 als Streifen ausgebildet sind, welche in einer Richtung rechtwinklig zu deren Längserstreckung bzw. in einer Richtung im Wesentlichen parallel zur jeweiligen Elektrodenfläche voneinander beabstandet sind. Wie in Fig. 1 ersichtlich sind dadurch klar definierte Polarisierungsbereiche 6 erzeugbar. Die Längssegmente ragen dabei von einem diese elektrisch verbindenden Querab-

schnitt der ersten Elektrode ab, sodass im Besonderen eine kammartige Struktur gebildet ist. Zweckmäßig ist es dabei, wenn Längsachsen der Längsstreifen im Wesentlichen parallel ausgerichtet sind. Die erste Elektrode 2 und zweite Elektrode 3 sind üblicherweise jeweils über eine elektrische Kontaktierung 8 mit einer Steuerelektronik, üblicherweise einer Prozessoreinheit, elektrisch verbunden.

[0058] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Sensors 1, welcher mit zwei ersten Elektroden 2 und zwei zweiten Elektroden 3 gebildet ist. Die beiden ersten Elektroden 2 sind mit piezoelektrischem Material 4 bzw. einer piezoelektrischen Schicht von den beiden zweiten Elektroden 3 beabstandet. Die erste Elektrode 2 bzw. zweite Elektrode 3 bzw. das piezoelektrische Material 4 kann dabei jeweils wie vorstehend beschrieben ausgebildet sein. Wie in Fig. 2 ersichtlich ist es dabei zweckmäßig, wenn die ersten Elektroden 2 und zweiten Elektroden 3 jeweils mit mehreren voneinander beabstandeten Segmenten 5 gebildet sind, wobei in einem Querschnitt parallel zur Elektrodenfläche einer der ersten Elektroden 2 bzw. zweiten Elektroden 3 die Segmente 5 jeweils der ersten Elektroden 2 abwechselnd ineinander greifen und die Segmente 5 jeweils der zweiten Elektroden 3 abwechselnd ineinander greifen. Auf diese Weise können mehrere, insbesondere unmittelbar benachbarte, Polarisierungsbereiche 6 unterschiedlich angesteuert, insbesondere unterschiedlich polarisiert bzw. aktiviert, werden. Auf diese Weise können schräg zur jeweilige Elektrodenflächennormale ausgerichtete Polarisierungsbereiche 6 bzw. entsprechend ausgerichtete Polarisierungen der Polarisierungsbereiche 6 ausgebildet werden. Wie in Fig. 2 ersichtlich ist es zweckmäßig, wenn die ersten Elektroden 2 und zweiten Elektroden 3 jeweils eine Kontaktierung 8 aufweisen, um diese anzusteuern.

[0059] Aufgrund der Vorteile einer differenzierten Kraftbelastungsbestimmung hat es sich als günstig erwiesen, einen oder mehrere solcher Sensoren 1 zur Ganganalyse bzw. Laufanalyse einzusetzen.

[0060] Fig. 3 und Fig. 4 zeigen unterschiedliche Ausgestaltungen bzw. Anordnungen von Sensoren 1, welche in einem Schuhboden oder einer Schuheinlage angeordnet bzw. anordenbar sind. Ersichtlich sind mehrere Sensoren 1, welche entlang einer Auftretfläche des Schuhbodens bzw. der Schuheinlage an unterschiedlichen Positionen angeordnet sind. Die Sensoren 1 sind jeweils über Kontaktierungsleitungen 9 mit einem gemeinsamen Kontaktierungsanschluss 10 elektrisch verbunden, über welchen die Sensoren 1 jeweils elektronisch ansteuerbar sind. Auf diese Weise kann eine Ganganalyse bzw. Laufanalyse, insbesondere eine Plantardruckmessung, praktikabel durchgeführt werden, wobei unterschiedliche Krafteinwirkungen, insbesondere Druckkräfte und Schubkräfte bzw. Biegebelastungen, analysierbar sind. Um eine Präzision zu erhöhen, kann es günstig sein, wenn dabei ein Sensor 1 durch einen Sensorverbund 11, welcher mit mehreren elektrisch miteinander gekoppelten Sensoren 1 gebildet ist, ersetzt ist, also mehrere Sensorverbunde 11 im Schuhboden bzw. der Schuheinlagen vorgesehen sind.

[0061] Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Sensorverbundes 11, welcher mit mehreren miteinander elektrisch gekoppelten Sensoren 1 gebildet ist. Bewährt hat es sich dabei, wenn die Sensoren 1 in Form einer elektrischen Matrix, auch als Passivmatrix-Anordnung bezeichnet, angeordnet sind, wobei jeweils eine der Elektroden der Sensoren 1 miteinander zeilenweise und jeweils eine andere Elektrode der Sensoren 1 miteinander spaltenweise elektrisch verbunden sind. Dies ermöglicht ein effizientes elektrisches Ansteuern bzw. Auslesen von einzelnen Sensoren 1 der Matrix, indem jeweils eine der Matrixzeilen 12 und eine der Matrixspalten 13 mit einer Auswerteelektronik angesteuert wird. Eine hierzu verwendbare Schaltungsanordnung ist in Fig. 7 dargestellt. Diese Schaltungsanordnung hat sich jedoch, insbesondere in Bezug auf dünn ausgebildete piezoelektrische Sensoren 1, als nachteilig erwiesen, da relativ hohe Kapazitäten der Sensoren 1 zu ausgeprägten gegenseitigen Störungen der Sensoren 1 bei einem Auslesen führen können, auch als Crosstalk bezeichnet.

[0062] Durch Entkoppeln von Matrixzeilen 12 und Matrixspalten 13 kann die Problematik der gegenseitigen Störung der Sensoren 1 bzw. des Crosstalks vermieden werden. Zweckmäßig ist es hierzu, wenn jeweils als Messzellen 14 ausgebildete Sensoren 1 in einer Matrixanordnung angeordnet sind, wobei jede Messzelle 14 mit einer Kombination von zwei Sensoren 1 gebildet ist.

Eine solche Messzelle 14 ist in Fig. 6 und eine dazugehörige Matrixanordnung bzw. Schaltungsanordnung in Fig. 8 schematisch dargestellt. Eine Messzelle 14 ist dabei mit zwei aufeinander gestapelten Sensoren 1 gebildet, wobei jeweils eine der Elektroden der zwei Sensoren 1 als gemeinsame Mittelelektrode 15 ausgebildet ist und die jeweilige andere Elektrode, bezeichnet als Bottom-Elektrode 17 und Top-Elektrode 16, mit piezoelektrischem Material 4 beabstandet von der Mittelelektrode 15 einander gegenüberliegend an der Mittelelektrode 15 angeordnet sind. Wie in Fig. 8 ersichtlich kann die Mittelelektrode 15 dabei als gemeinsame Elektrode der verschiedenen Messzellen 14 der Matrixanordnung ausgebildet sein und bevorzugt elektrisches Massepotential bzw. Groundpotential aufweisen. Durch elektrisches Ansteuern einer der Matrixzeilen 12, einer der Matrixspalten 13 und der Mittelelektrode 15 kann auf diese Weise ein einzelner Sensor 1 einer Messzelle 14 angesteuert bzw. ausgelesen werden. Alternativ kann an einer der Matrixzeilen 12 und einer der Matrixspalten 13 jeweils die Summe von Ladungen der jeweiligen Sensoren 1 bzw. Messzellen 14 ausgelesen und vorzugsweise integriert werden. In diesem Fall kann auf ein Anlegen eines Signals für ein Auslesen verzichtet werden. Bewährt hat es sich, wenn ein Auslesen erfolgt, indem jeweils eine der Matrixzeilen 12 und die Mittelelektrode 15 mit einem ersten Messverstärker 18 angesteuert und jeweils eine der Matrixspalten 13 und die Mittelelektrode 15 mit einem zweiten Messverstärker 19 angesteuert werden, dargestellt in Fig. 8. Wie in Fig. 6 ersichtlich, erfolgt eine Kontaktierung 8 der Messzellen 14 bzw. deren Elektroden üblicherweise mit Leiterbahnen 20, welche die Matrixzeilen bzw. Matrixspalten bilden können. Um eine gegenseitige Störung von einander überkreuzenden Leiterbahnen 20 zu minimieren kann eine Isolationsschicht 21 im Bereich eines Kreuzungspunktes zwischen zwei einander überkreuzenden Leiterbahnen 20 vorgesehen sein. Auf diese Weise ist ein effizientes Auslesen von einer Vielzahl verbundener Sensoren 1 effizient und fehlerarm durchführbar. Zweckmäßig können die Sensoren 1 gemäß Fig. 5 angeordnet bzw. miteinander elektrisch gekoppelt sein.

[0063] Ein erfindungsgemäßer Sensor 1 bzw. ein Verfahren zur Kraftmessung mit einem solchen ermöglicht damit eine Kraftmessung mit hoher Einsatzfähigkeit, indem durch Übertragung einer Welle bzw. Schwingung zwischen mehreren Polarisierungsbereichen 6 eine Verformung des Sensors 1 bzw. dessen piezoelektrischen Materials 4 und damit die Verformung verursachende Kräfte differenziert betrachtet werden können. Im Besonderen ist damit eine Ganganalyse bzw. Laufanalyse effizient und detailliert durchführbar, indem einer oder mehrere solche Sensoren 1 in einem Schuh oder einer Schuheinlage angeordnet sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kraft- bzw. Druckmessung mit einem piezoelektrischen Sensor (1), insbesondere für eine Ganganalyse, wobei der Sensor (1) mit zumindest einer ersten Elektrode (2), zumindest einer zweiten Elektrode (3) und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material (4) gebildet ist, wobei die erste Elektrode (2), die zweite Elektrode (3) und das piezoelektrische Material (4) jeweils mit zumindest einer Schicht ausgebildet sind, welche in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet sind, wobei durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden ein Polarisierungsbereich (6) im piezoelektrischen Material (4) aktiviert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden (2, 3) und/oder das piezoelektrische Material (4) derart strukturiert sind, dass mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche (6) gebildet sind, wobei bei Aktivierung zumindest eines ersten Polarisierungsbereiches eine Körperschallwelle erzeugt wird, welche mit zumindest einem zweiten Polarisierungsbereich durch von der Körperschallwelle bewirkter Deformation von piezoelektrischem Material des zweiten Polarisierungsbereiches detektiert wird, um eine auf den Sensor (1) wirkende Kraft zu bestimmen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der auf den Sensor (1) wirkenden Kraft ein Abstand bzw. eine Abstandsänderung zwischen den Polarisierungsbereichen (6) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung der auf den Sensor (1) wirkenden Kraft eine Laufzeit bzw. Laufzeitdifferenz und/oder Dämpfung der detektierten Körperschallwelle ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Körperschallwelle mit mehreren zweiten Polarisierungsbereichen (6) detektiert wird, um die auf den Sensor (1) wirkende Kraft mit einer Laufzeitdifferenz und/oder Dämpfungsdifferenz der detektierten Körperschallwelle zwischen den zweiten Polarisierungsbereichen (6) zu bestimmen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass unterschiedliche Polarisierungsbereiche (6), insbesondere jeweils unmittelbar benachbarte Polarisierungsbereiche (6), elektrische Polarisierungen mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen aufweisen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass unmittelbar benachbarte Polarisierungsbereiche (6) Polarisierungen mit Polarisationsrichtungen aufweisen, welche zueinander spitze Winkel bilden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das piezoelektrische Material (4) ein ferroelektrisches Material ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (1) in Resonanz betrieben wird und die Aktivierung mit Anlegen einer Spannung in einer elektronischen Rückkopplung erfolgt.
9. Verfahren zur Bewegungsanalyse, insbesondere Ganganalyse, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 angewendet wird, um eine von einem Körperteil auf zumindest einen piezoelektrischen Sensor (1) ausgeübte Kraft zu bestimmen.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein piezoelektrischer Sensor (1) in einem Kleidungsstück angeordnet ist, wobei gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 eine von einem mit dem Kleidungsstück bekleideten Körperteil auf den Sensoren (1) ausgeübte Kraft bestimmt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein piezoelektrischer Sensor (1) in oder innerhalb eines Schuhes oder einer Schuheinlegesohle angeordnet oder als Teil einer solchen ausgebildet ist, um eine von einem Fuß auf den Schuh bzw. die Schuheinlegesohle ausgeübte Kraft zu bestimmen.

12. Piezoelektrischer Sensor (1) zur Kraft- bzw. Druckmessung, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Sensor (1) mit einer ersten Elektrode (2), zweiten Elektrode (3) und zwischen diesen angeordnetem piezoelektrischen Material (4) gebildet ist, um durch Anlegen eines elektrischen Feldes über die Elektroden (2, 3) einen Polarisierungsbereich (6) im piezoelektrischen Material (4) zu aktivieren, wobei die erste Elektrode (2), die zweite Elektrode (3) und das piezoelektrische Material (4) jeweils mit zumindest einer Schicht ausgebildet sind, welche in Richtung einer Stapelachse aufeinander angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden (2, 3) und/oder das piezoelektrische Material (4) derart strukturiert sind, dass mehrere voneinander beabstandete Polarisierungsbereiche (6) gebildet sind, sodass bei Aktivierung zumindest eines ersten Polarisierungsbereiches eine Körperschallwelle erzeugbar ist, welche mit zumindest einem zweiten Polarisierungsbereich durch von der Körperschallwelle bewirkter Deformation von piezoelektrischem Material des zweiten Polarisierungsbereiches detektierbar ist, um mit einer Laufzeit und/oder Dämpfung der Körperschallwelle eine auf den Sensor (1) wirkende Kraft zu bestimmen.
13. Piezoelektrischer Sensor (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Elektrode (2) und/oder zweite Elektrode (3) und/oder das piezoelektrische Material (4) mit mehreren in zumindest einer Richtung, insbesondere parallel zur Elektrodenfläche, voneinander beabstandeten Segmenten (5) gebildet ist, um die voneinander beabstandeten Polarisierungsbereiche (6) zu bilden.
14. Piezoelektrischer Sensor (1) nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Segmente (5) als längliche, insbesondere streifenförmige, Längssegmente ausgebildet sind, welche in einer Richtung quer zu deren Längserstreckung voneinander beabstandet sind, um die voneinander beabstandeten Polarisierungsbereiche (6) zu bilden.
15. Piezoelektrischer Sensor (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Elektrode (2) und zweite Elektrode (3) jeweils mit beabstandeten Segmenten (5) gebildet sind, wobei in einem Querschnitt im Wesentlichen orthogonal zur Elektrodenfläche der ersten bzw. zweiten Elektrode (2, 3) zueinander korrespondierende Segmente (5) der ersten Elektrode und Segmente (5) der zweiten Elektrode versetzt zueinander angeordnet sind, um einen schräg zur Elektrodenflächennormale ausgerichteten jeweiligen Polarisierungsbereich zu definieren.
16. Piezoelektrischer Sensor (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sensor (1) mit mehreren ersten Elektroden (2) und mehreren zweiten Elektroden (3) gebildet ist, um bei bestimmungsgemäßer Verwendung Polarisierungsbereiche (6) mit Polarisierungen unterschiedlicher Polarisationsrichtungen zu bilden.
17. Sensorverbund (11) zur Kraft- bzw. Druckmessung, wobei mehrere piezoelektrische Sensoren (1) elektrisch miteinander gekoppelt sind, um mit den piezoelektrischen Sensoren (1) ermittelte Sensordaten zusammenzuführen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die piezoelektrischen Sensoren (1) gemäß einem der Ansprüche 12 bis 16 ausgebildet sind.
18. Sensorverbund (11) nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere mit piezoelektrischen Sensoren (1) gebildete Messzellen (14) in Form einer elektrischen Matrix, gebildet mit mehreren Matrixzeilen (12) und mehreren Matrixspalten (13), elektrisch gekoppelt sind, wobei jeweils eine Elektrode der Messzellen (14) mit einer der Matrixzeilen (12) elektrisch verbunden ist und jeweils eine andere Elektrode der Messzellen (14) mit einer der Matrixspalten (13) elektrisch verbunden ist, wobei jeweils zumindest zwei Sensoren (1) eine Messzelle (14) bilden, wobei eine Elektrode eines der zwei Sensoren (1) mit der Matrixzeile elektrisch verbunden ist und eine Elektrode des anderen der zwei Sensoren (1) mit der Matrixspalte elektrisch verbunden ist und eine jeweilige andere Elektrode der zwei Sensoren (1) miteinander elektrisch verbunden sind, um eine gemeinsame Mittelelektrode (15) zu bilden, um durch elektrisches Ansteuern einer der Matrixzeilen (12) bzw. einer der Matrixspalten (13) sowie der Mittelelektrode (15) Sensoren (1) auszulesen.

19. Sensorverbund (11) nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Messzelle (14) gebildet ist, indem zumindest zwei Sensoren (1) gestapelt übereinander angeordnet sind, wobei jeweils eine der Elektroden der zwei Sensoren (1) als gemeinsame Mittelelektrode (15) ausgebildet ist und die jeweiligen anderen Elektroden einander gegenüberliegend an der Mittelelektrode (15) angeordnet und jeweils mit piezoelektrischem Material (4) von der Mittelelektrode (15) beabstandet sind.
20. Kleidungsstück, insbesondere Schuh oder Schuheinlegesohle, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein piezoelektrischer Sensor (1) nach einem der Ansprüche 12 bis 16 oder ein Sensorverbund (11) nach einem der Ansprüche 17 bis 19 in diesem oder innerhalb dieses angeordnet oder als ein Teil dieser ausgebildet ist, um eine von einem mit dem Kleidungsstück bekleideten Körperteil auf den Sensor (1) bzw. Sensorverbund (11) ausgeübte Kraft zu bestimmen.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

1/4

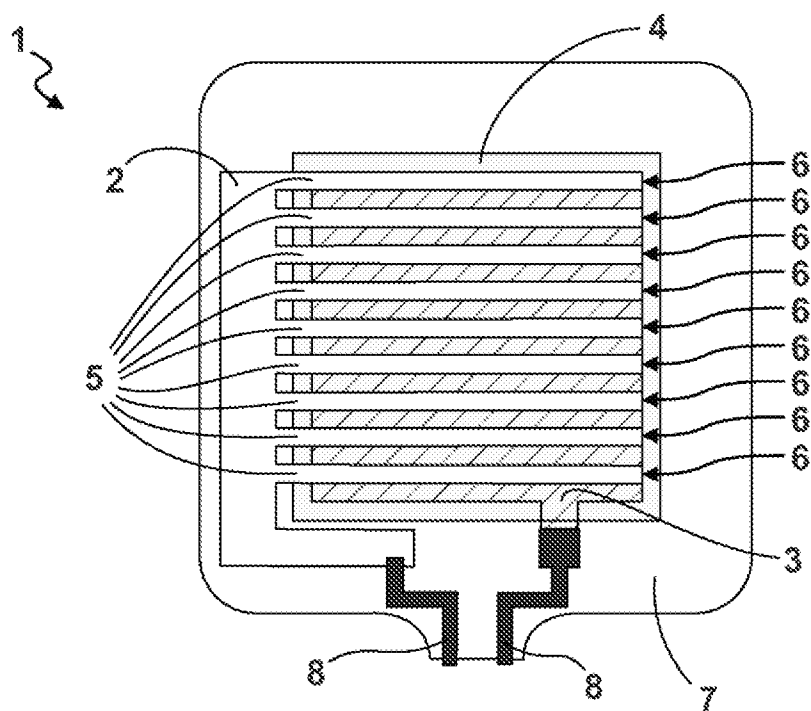


Fig. 1

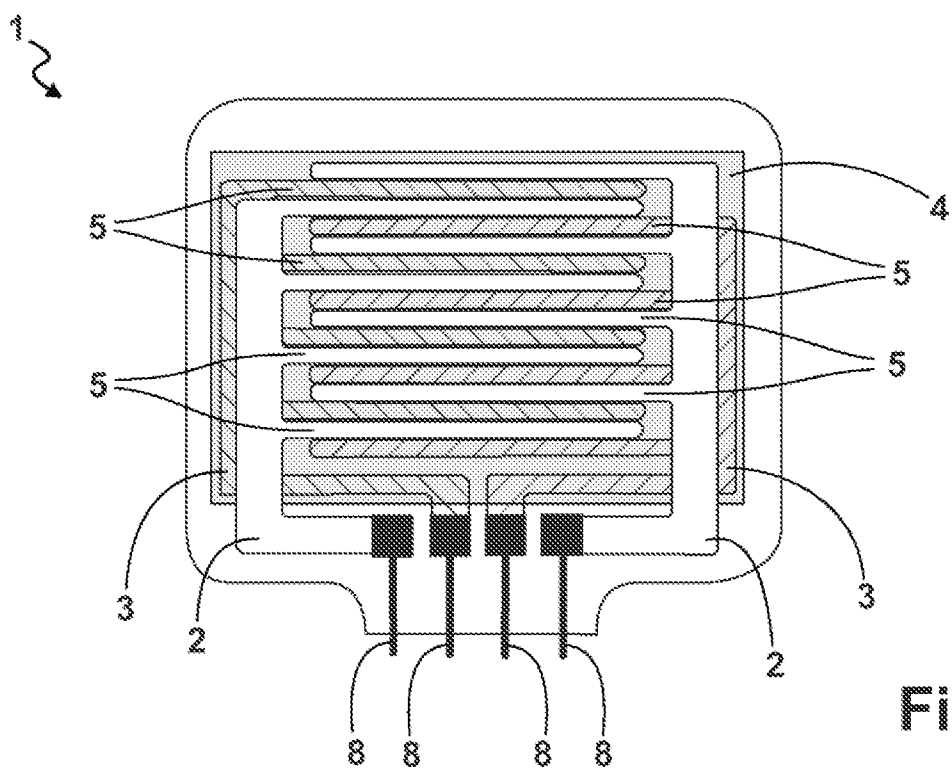


Fig. 2

2/4

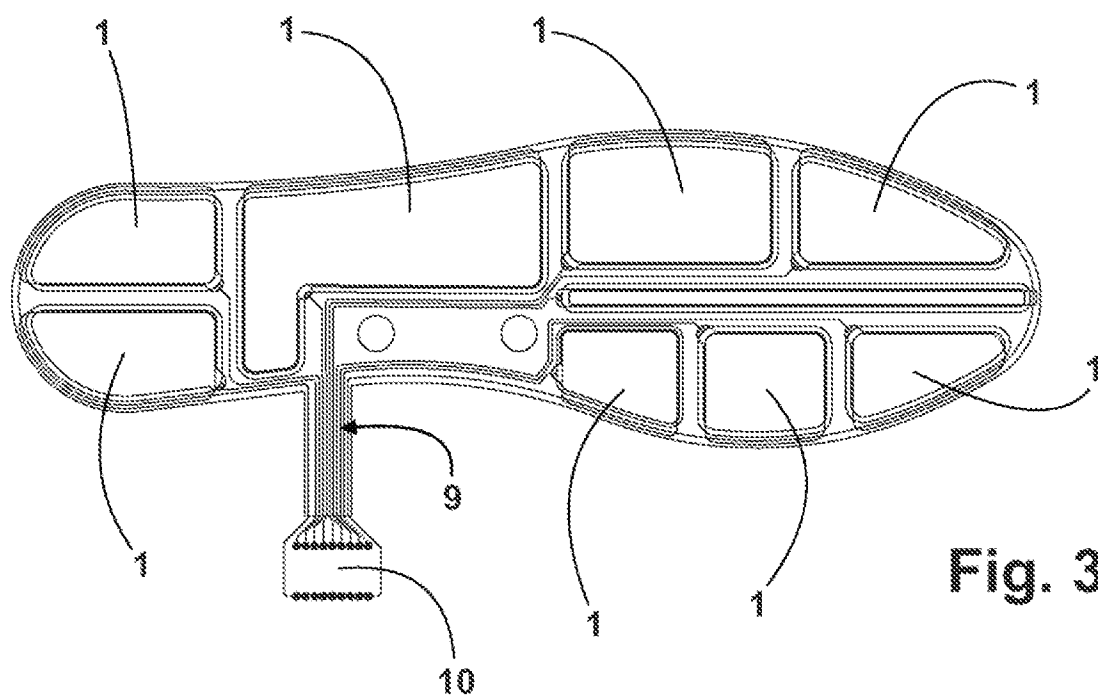


Fig. 3

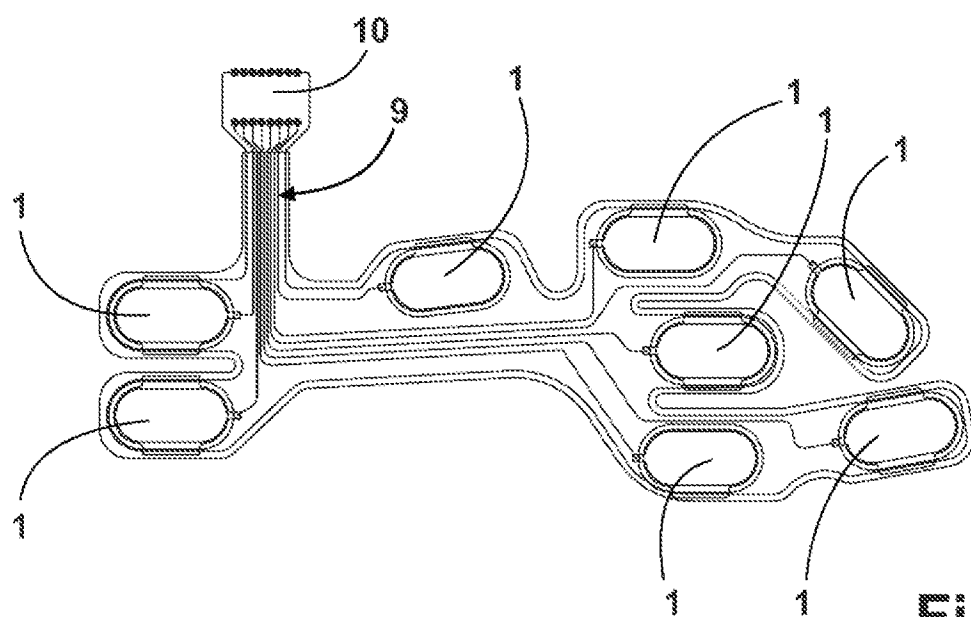


Fig. 4

3/4

11

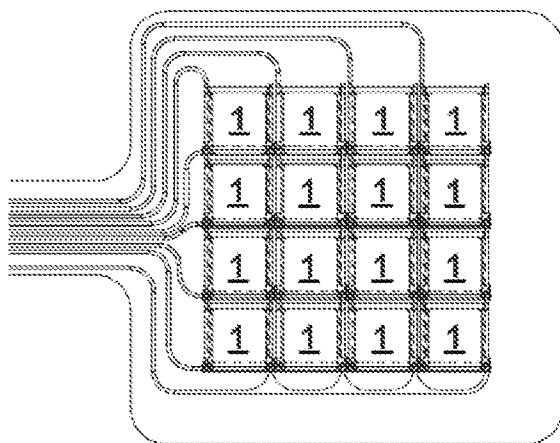


Fig. 5

14

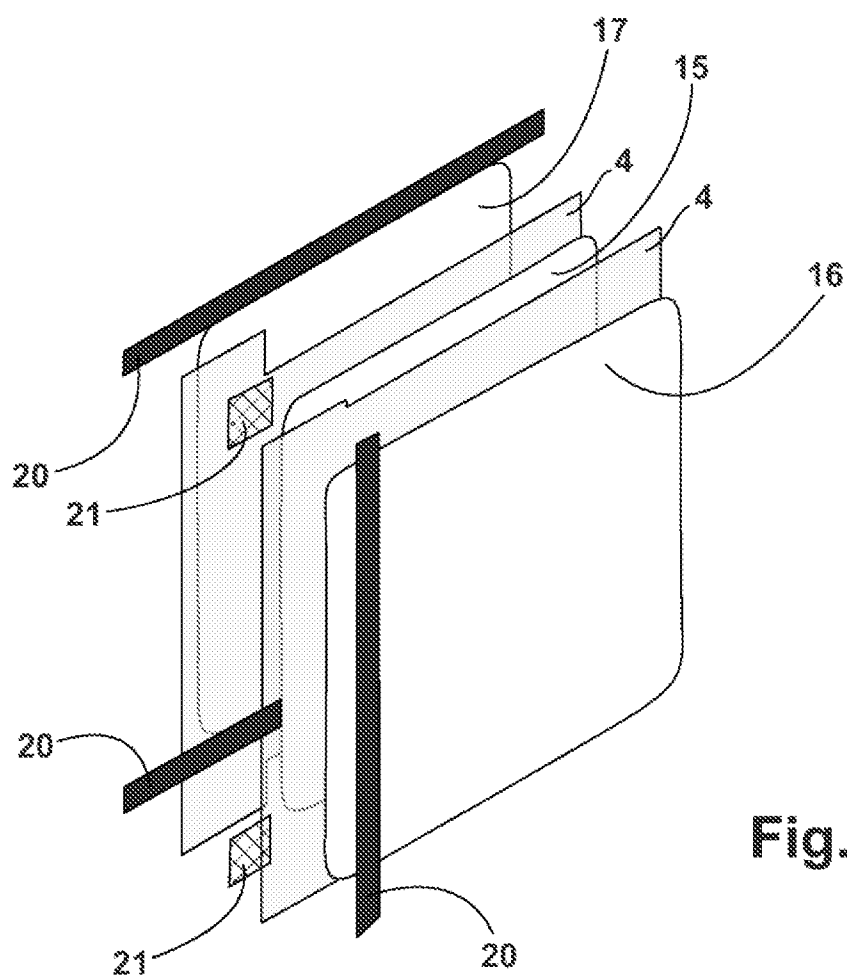


Fig. 6

4/4

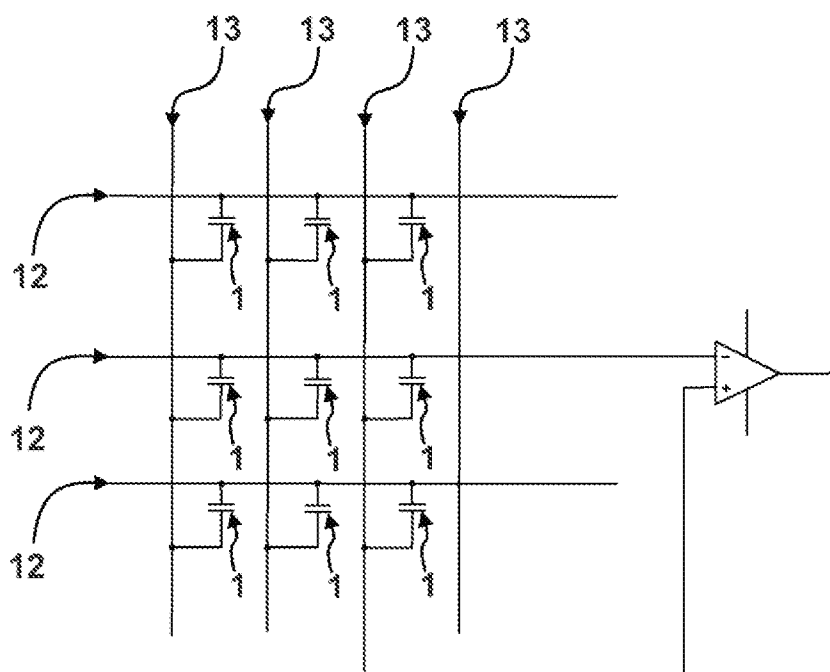


Fig. 7

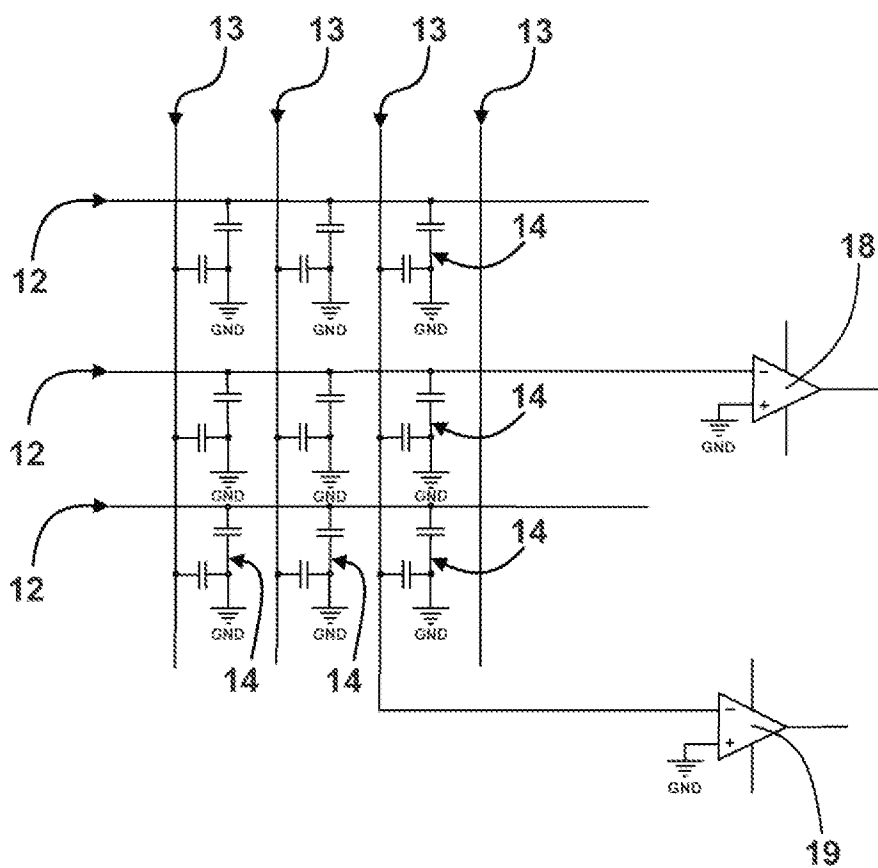


Fig. 8