



(10) **DE 10 2010 040 220 A1** 2012.03.08

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 040 220.6**

(22) Anmeldetag: **03.09.2010**

(43) Offenlegungstag: **08.03.2012**

(51) Int Cl.: **H02N 2/18** (2006.01)

**H01L 41/113** (2006.01)

**B60C 23/04** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE**

(72) Erfinder:

**Frey, Alexander, 81737, München, DE; Kühne,  
Ingo, 81739, München, DE**

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

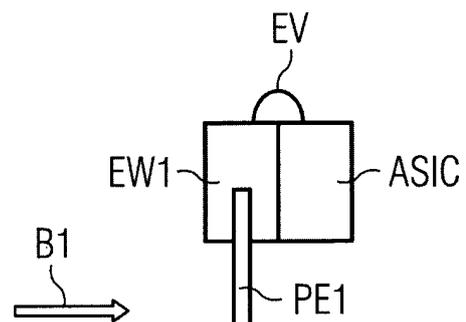
<b>DE</b>	<b>199 46 820</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 041 920</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2007 043 263</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2008 035 498</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>10 2009 043 219</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2009 / 0 315 431</b>	<b>A1</b>
<b>EP</b>	<b>0 725 452</b>	<b>A1</b>

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur gepulsten direktmechanischen Anregung eines Piezobalkengenerators**

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zur gepulsten direktmechanischen Anregung eines Piezobalkengenerators zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie mit mindestens einem piezoelektrischen Element, in das eine durch mechanische Umgebungsverformung hervorgerufene mechanische Kraft derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird, wobei das Einkoppeln der mechanischen Kraft durch eine translatorische (z. B. linear translatorische) Kraftbewegung erfolgt, die auf das piezoelektrische Element einwirkt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischer Energiewandler zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie unter Verwendung eines piezoelektrischen Energiewandlers. Ferner betrifft die Erfindung eine Anordnung zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie, umfassend einen piezoelektrischer Energiewandler.

**[0002]** Viele neue Anwendungen, insbesondere in der industriellen Automatisierung, erfordern eine ausgefeilte Sensorik und/oder Aktorik. Oftmals ist diese lokal verteilt oder dezentral angebracht, was dazu führt, dass eine elektrische Energieversorgung aufwendig und teuer ist (z. B. durch Verlegen von elektrischen Zuführungen). Bei einigen Anwendungen ist eine physische Anbindung solcher dezentralen Aktor- bzw. Sensorknoten gänzlich unmöglich, so dass diese völlig autark betrieben werden müssen. Solche Systeme müssen sich selbst mit elektrischer Energie versorgen.

**[0003]** Ein bedeutendes Anwendungsgebiet liegt dabei auch in der Automobilindustrie, beispielsweise im Zusammenhang mit Reifenkontrollsystemen (Reifensensorik). Heutige Reifendruckkontrollsysteme überwachen Druckschwankungen im Autoreifen, indem sie Druck und Temperatur in bestimmten Intervallen messen und die Ergebnisse drahtlos an eine Kontrolleinheit senden. Dafür notwendige elektrische Bauteile sind über ein Ventil an einer Felge des Autoreifens befestigt.

**[0004]** Es ist bekannt, solche dezentralen Sensor- oder Aktorsysteme mit Batterien zur Stromversorgung auszustatten. Die Batterie begrenzt aber die Einsatz- bzw. Lebensdauer des Systems. Solche batteriebetriebenen dezentralen Systeme erfordern weiterhin einen beträchtlichen Wartungsaufwand, da die Batterien von Zeit zu Zeit gewechselt werden müssen. Ist kein Batteriewechsel möglich, fallen solche Systeme aus.

**[0005]** Weiterhin sind Systeme bekannt, die über eine Solarzelle gespeist werden. Im Bereich der Industrieautomatisierung und den damit oft einhergehenden deutlich reduzierten Lichtbudgets ist der Einsatz dieser Systeme aber begrenzt.

**[0006]** Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen piezoelektrischen Energiewandler, eine Anordnung und ein Verfahren für eine autarke Energieversorgung für dezentrale Systeme, insbesondere im industriellen Umfeld und für Automobilindustrie, bereitzustellen.

**[0007]** Die Aufgabe wird gelöst durch einen piezoelektrischen Energiewandler zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie mit mindestens einem piezoelektrischen Element, in das eine durch mechanische Umgebungsverformung hervorgerufene mechanische Kraft derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird, wobei das Einkoppeln der mechanische Kraft durch eine translatorische Kraftbewegung (z. B. linear translatorische Kraftbewegung) erfolgt, die auf das piezoelektrische Element einwirkt (direkt oder indirekt). Der piezoelektrische Energiewandler kann in beliebig dynamisch verformbaren Umgebungen eingesetzt werden. Z. B. bei Förderbändern, an deren Umkehrpunkten das elastische Förderband verformt wird oder in der Industrieautomatisierung (z. B. Roboter), wo es sehr viele bewegliche Teile gibt, die z. B. durch mechanisch verformbare Gummimanschetten geschützt sind. Aber auch ein Reifenlatsch ist als mechanisch verformbare Umgebung verwendbar. Diese in einer industriellen Umgebung sowieso schon vorhandenen mechanischen Bewegungen, also vorliegenden kinetischen Energien oder mechanische Kräfte, die auch in definierten und bekannten Bewegungsrichtungen vorliegen, lassen sich somit durch die vorliegende Erfindung zur Gewinnung von elektrischer Energie „ernten“. Der erfindungsgemäße Energiewandler wird somit mit kinetischer mechanischer Energie versorgt, die eine schon vorhandene Infrastruktur bereitstellt. Aus den primären Bewegungen verformbarer Umgebungen (z. B. Förderband, Gummimanschetten, Reifen) lassen sich leicht linear translatorische Kraftbewegungen ableiten. Nach erfolgter Auslenkung durch die translatorische Kraftbewegung kann das piezoelektrische Element frei in seiner Eigenfrequenz oszillieren.

**[0008]** Das piezoelektrische Element besteht aus mindestens einer piezoelektrische Schicht und Elektrodenschichten. Die Elektrodenschichten können dabei aus verschiedensten Metallen beziehungsweise Metall-Legierungen bestehen. Beispiele für das Elektrodenmaterial sind Platin, Titan und eine Platin/Titan-Legierung. Denkbar sind auch nicht-metallische, elektrisch leitende Materialien. Die piezoelektrische Schicht kann ebenfalls aus unterschiedlichsten Materialien bestehen. Beispiele hierfür sind piezoelektrische keramische Materialien wie Bleizirkonattitanat (PZT), Zinkoxid (ZnO) und Aluminiumnitrid (AlN). Piezoelektrische organische Materialien wie Polyvinylidendifluorid (PVDF) oder Polytetrafluorethylen (PTFE) sind ebenfalls denkbar.

**[0009]** Durch die Schwingungen des piezoelektrischen Elementes wird über den piezoelektrischen Effekt eine periodische Ladungstrennung zwischen den Elektroden erzeugt. Der daraus gewinnbare Ladungsfluss steht dann extern als elektrische Energie zur Verfügung. Über eine elektrische Ankon-

taktierung an den Elektroden und eine entsprechende Verkabelung wird der elektrische Strom für Verbraucher (z. B. Aktoren oder Sensoren) bereitgestellt.

**[0010]** Eine erste vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass die linear translatorische Kraftbewegung durch einen starren mechanischen Mitnehmer erfolgt, der durch mechanische Umgebungsverformung angetrieben wird. Starre mechanische Mitnehmer sind z. B. als einfache Frontalmitnehmer realisierbar.

**[0011]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass die translatorische (z. B. linear translatorische) Kraftbewegung durch einen semiflexiblen Mitnehmer erfolgt, der in einer ersten Bewegungsrichtung einklappt, wenn er auf das piezoelektrische Element mechanisch einwirkt, so dass das piezoelektrische Element in der ersten Bewegungsrichtung des Mitnehmers im wesentlichen nicht ausgelenkt wird, und wobei in einer zweiten Bewegungsrichtung, die im wesentlichen entgegengesetzt zur ersten Bewegungsrichtung ist, der semiflexiblen Mitnehmer das piezoelektrische Element bei einer Kontaktierung auslenkt, wobei der semiflexiblen Mitnehmer durch mechanische Umgebungsverformung angetrieben wird. Hierbei handelt es sich um ein robustes Konzept (hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und Stabilität des Auslenkvorgangs), welches auch keine Einschränkung bezüglich Eigenfrequenz und Auslenkungsdauer aufweist. In der Vorwärtsbewegung klappt der Mitnehmer ein, sodass der Piezbalken (bzw. die Piezofahne) praktisch nicht ausgelenkt wird. In der Rückwärtsbewegung, ist der Mitnehmer so versteift, dass der Piezobalken mitgeführt wird. Nach Erreichen eines bestimmten Auslenkwegs in der Rückwärtsbewegung, der exakt über Geometrieverhältnisse bestimmbar festgelegt ist, wird der Piezobalken frei gelassen und kann oszillieren.

**[0012]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass im Inneren eines Fahrzeugreifens auf der Lauffläche eine U-förmige Vorrichtung mit einer ersten und zweiten Schenkelhälfte angebracht ist, wobei die Schenkelhälfte jeweils einen rechten Winkel bilden und an der Unterseite der Vorrichtung drehbar verbundenen sind, wobei während der Rotation des Reifens bei Eintritt der Vorrichtung in die Reifenlatsch sich der Abstand der Schenkelhälften an der Öffnung der U-förmigen Vorrichtung verändert, wobei diese Abstandsänderung zum Antrieb des piezoelektrischen Elementes verwendbar ist. Dadurch kann in verformbaren Umgebungen (Förderband, Gummimanschetten, Reifen, etc.) relativ leicht und vielfältig aus den primären Bewegungen eine translatorische Bewegung zur Anregung des Piezoelementes abgeleitet werden.

**[0013]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass der Fahrzeugreifen auf sei-

ner inneren Lauffläche eine Vielzahl von U-förmigen Vorrichtung aufweist. Dadurch erfolgt eine kontinuierliche Anregung des piezoelektrischen Elementes und es wird durch den Energiewandler kontinuierlich elektrische Energie bereitgestellt.

**[0014]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass das piezoelektrische Element als Piezofahne ausgebildet ist und eine im Wesentlichen dreiecksförmige Grundfläche aufweist. Dies bewirkt eine hohe Effizienz bei der Energiewandlung.

**[0015]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass das piezoelektrische Element periodisch zu Schwingungen angeregt wird. Dadurch ist eine kontinuierliche elektrische Energiegewinnung sichergestellt. Prinzipiell ist aber auch eine nichtperiodische Anregung möglich.

**[0016]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass das piezoelektrische Element einen Mehrschichtaufbau mit MEMS-Schichten (d. h. in Micro Electro Mechanical Systems – Technologie) aufweist. Das piezoelektrische Element weist eine Schichtfolge aus Elektrodenschicht, piezoelektrischer Schicht und weiterer Elektrodenschicht auf. Mehrere derartige Schichtfolgen können dabei übereinander gestapelt sein, so dass ein Mehrschichtaufbau mit übereinander gestapelten, alternierend angeordneten Elektrodenschichten und piezoelektrischen Schichten resultiert. Bei der Erzeugung des Piezoelementes mit Hilfe der MEMS-Technologie ist es über entsprechenden lateralen Zug- bzw. Druckstress in und zwischen den einzelnen Schichten möglich, den Schichtstapel so herzustellen, dass er sich nach Freilegen von Schichten krümmt bzw. leicht aufrollt. Das Elektrodenmaterial der Elektrodenschichten kann dabei aus verschiedensten Metallen beziehungsweise Metall-Legierungen bestehen. Beispiele für das Elektrodenmaterial sind Platin, Titan und eine Platin/Titan-Legierung. Denkbar sind auch nicht-metallische, elektrisch leitende Materialien.

**[0017]** Die MEMS-Technologie eignet sich insbesondere im Hinblick auf eine angestrebte Miniaturisierung des Energiewandlers und des Piezoelementes. Mit dieser Technologie ist ein piezoelektrischer Energiewandler mit sehr kleinen lateralen Abmessungen zugänglich. Darüber hinaus können sehr dünne Schichten ausgebildet werden. So betragen die Schichtdicken der Elektrodenschichten beispielsweise 0,1 µm bis 0,5 µm. Die piezoelektrische Schicht ist wenige µm dick, beispielsweise 1 µm bis 10 µm. Das piezoelektrische Element ist als dünne piezoelektrische Membran bzw. Balken ausgestaltet. Das piezoelektrische Element verfügt über eine sehr geringe Masse. Außerdem kann ein solches piezoelektrische Element leicht zu mechanischen Schwingungen angeregt werden. Bei der Realisierung der Erfin-

derung in MEMS-Technologie eignet sich beispielsweise eine Trägerschicht aus Silizium, Polysilizium, Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>) oder Siliziumnitrid (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). Eine Schichtdicke der Trägerschicht ist aus dem Bereich von 1 µm bis 100 µm ausgewählt.

**[0018]** Das in MEMS-Technologie realisierte piezoelektrische Element verfügt über eine sehr geringe Masse und geringe Abmessungen und lässt sich in eine vorhandene Umgebungsinfrastruktur (z. B. Förderband, Gummimanschetten, Reifen) leicht einfügen und integrieren.

**[0019]** Aktoren und Sensoren, die auf der MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)-Technologie basieren, werden zunehmend eingesetzt. Besonders interessant sind hierbei Aktor- bzw. Sensorknoten und Netzwerke, die energieautark funktionieren. Solche Systeme beziehen die zum Betrieb einzelner Komponenten notwendige elektrische Energie nicht aus einer Netzversorgung oder einer Batterie, sondern über einen geeigneten Energiewandler aus der Umgebung. Zum Betrieb solcher Aktoren und Sensoren in MEMS-Technologie eignet sich insbesondere der erfindungsgemäße Energiewandler mit einem Piezoelement in MEMS-Technologie.

**[0020]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass mehrere piezoelektrischen Energiewandler hintereinander geschaltet sind. Dadurch wird die erzeugte Energiemenge vergrößert. Es können somit auch Systeme versorgt werden, die größere Energiemengen benötigen. Weiterhin kann dadurch das Energieerzeugungssystem bezüglich der benötigten Energie skaliert werden.

**[0021]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung liegt darin, dass der piezoelektrische Energiewandler einen integrierten Schaltkreis (ASIC) zum bedarfsgerechten Energiemanagement und/oder zur bedarfsgerechten Energieverteilung der vom piezoelektrischen Energiewandler bereitgestellten Energie für elektrische Verbraucher aufweist. Der Energiewandler und die integrierte Schaltung (ASIC) können somit z. B. zum Energiemanagement einer energieautarken Sensorik und/oder Aktorik verwendet werden. Die integrierte Schaltung (ASIC) zum Energiemanagement der vom piezoelektrischen Energiewandler bereitgestellten Energie ermöglicht eine den jeweiligen Energie-Erfordernissen eines zu versorgenden dezentralen Systems angepasste Energieversorgung. Dadurch kann die für den Verbraucher zur Verfügung stehende Energie angepasst und maximiert werden.

**[0022]** Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie unter Verwendung eines piezoelektrischen Energiewandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 10 durch Einwirken eines durch me-

chanische Umgebungsenergie hervorgerufene mechanische Kraft auf ein piezoelektrisches Element, so dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird. Der piezoelektrische Energiewandler kann in beliebig dynamisch verformbaren Umgebungen verwendet werden. Z. B. bei Förderbändern, an deren Umkehrpunkten das elastische Förderband verformt wird oder in der Industrieautomatisierung (z. B. Roboter), wo es sehr viele bewegliche Teile gibt, die z. B. durch mechanisch verformbare Gummimanschetten geschützt sind. Aber auch ein Reifenlatsch ist als mechanisch verformbare Umgebung verwendbar. Diese in einer industriellen Umgebung sowieso schon vorhandenen mechanischen Bewegungen (z. B. linear translatorische Kraftbewegungen) lassen sich somit durch die vorliegende Erfindung zur Gewinnung von elektrischer Energie „ernten“. Der erfindungsgemäße Energiewandler wird somit mit kinetischer mechanischer Energie versorgt, die durch eine schon vorhandene Infrastruktur bereitgestellt wird.

**[0023]** Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch eine Anordnung zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie, die Anordnung umfassend:

- a) eine Vorrichtung zum Bereitstellen einer linear translatorischen Bewegung, wobei die Vorrichtung derart in einer mechanisch verformbaren Umgebung angebracht ist, dass bei mechanischer Verformung der Umgebung die linear translatorische Bewegung bereitgestellt wird;
- b) einen piezoelektrischen Energiewandler mit mindestens einem piezoelektrischen Element, in das die linear translatorische Bewegung derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird. Die erfindungsgemäße Anordnung kann in beliebig dynamisch verformbaren Umgebungen verwendet werden. Z. B. bei Förderbändern, an deren Umkehrpunkten das elastische Förderband verformt wird oder in der Industrieautomatisierung (z. B. Roboter), wo es sehr viele bewegliche Teile gibt, die z. B. durch mechanisch verformbare Gummimanschetten geschützt sind. Aber auch ein Reifenlatsch ist als mechanisch verformbare Umgebung verwendbar.

**[0024]** Anhand mehrerer Ausführungsbeispiele und der dazugehörigen Figuren wird die Erfindung im Folgenden näher erläutert. Die Figuren sind schematisch und stellen keine maßstabsgetreuen Abbildungen dar.

**[0025]** Dabei zeigen:

**[0026]** [Fig. 1](#) ein beispielhaftes schematisches Übersichtsbild des erfindungsgemäßen Energiewandlers,

[0027] [Fig. 2](#) ein beispielhaftes Funktionsbild für eine Auslenkung eines Piezoelementes durch eine periodische Anregung,

[0028] [Fig. 3a–Fig. 3c](#) eine beispielhafte Schwingungsanregung eines Piezobalkengenerators mithilfe einer linear translatorischen Bewegung und eines geeigneten mechanischen starren Mitnehmers,

[0029] [Fig. 4a–Fig. 4d](#) eine beispielhafte Schwingungsanregung eines Piezobalkengenerators mithilfe einer linear translatorischen Bewegung und eines geeigneten semiflexiblen mechanischen Mitnehmers,

[0030] [Fig. 5](#) ein Beispiel für eine translatorische Auslenkung zur Schwingungsanregung,

[0031] [Fig. 6](#) eine beispielhafte Schemadarstellung eines Piezoelementes,

[0032] [Fig. 7](#) ein beispielhaftes Ableiten einer translatorischen Bewegung aus einem elastischen Verformungsvorgang,

[0033] [Fig. 8](#) ein Beispiel für eine Vorrichtung zum Ableiten einer translatorischen Bewegung aus einem elastischen Verformungsvorgang,

[0034] [Fig. 9](#) ein beispielhaftes schematisches Ausführungsbeispiel eines Piezoelementes, und

[0035] [Fig. 10](#) ein beispielhaftes schematisches Ausführungsbeispiel eines semiflexiblen Rückseitenmitnehmers in MEMS-Ausführung und integriert mit Piezogenerator.

[0036] Viele neue Anwendungen, insbesondere in der industriellen Automatisierung oder in der Fahrzeugtechnik, erfordern eine ausgefeilte Sensorik und/oder Aktorik. Oftmals ist diese lokal verteilt, was dazu führt, dass eine elektrische Energieversorgung aufwändig und damit auch teuer ist (z. B. Verlegen von elektrischen Zuführungen). Bei einigen Anwendungen ist eine physische Anbindung solcher dezentralen Systeme gänzlich unmöglich, sodass diese völlig autark betrieben werden müssen. Dies bedeutet, dass sich diese Sensoren selbst mit Energie versorgen müssen, und die gewonnenen Messdaten kabellos übertragen werden.

[0037] In unserer industrialisierten Welt gibt es viele dynamisch verformbare Umgebungen, die zum Ernten von Energie geeignet sind insbesondere in dezentralen Umgebungen. Ein Beispiel sind Förderbänder an deren Umkehrpunkten das elastische Band deutlich verformt wird. Diese mechanischen Verformungen stellen eine Quelle für Deformationsenergie dar, die in elektrische Energie umgewandelt werden kann und so die dezentrale Sensorik

und/oder Aktorik mit Strom versorgt. In der Industrieautomatisierung werden weiterhin Roboter eingesetzt, die sehr viele bewegliche Teile besitzen und die meistens durch verformbare Gummimanschetten geschützt sind. Auch diese Gummimanschetten stellen eine Quelle für Deformationsenergie dar. Ein weiteres Beispiel ist in der Automobiltechnik zu finden. Der Mantel vom Autoreifen ist im Einsatz laufend mechanischen Verformungen unterworfen. Diese Verformungen können verwendet werden um elektrische Energie zu gewinnen. Die gewonnene Energie aus der Verformung von Autoreifen kann für Sensoren verwendet werden, die z. B. den Reifendruck oder die Reifentemperatur überwachen. Ein solches System benötigt keine Batterien zur Energieversorgung und ist somit prinzipiell wartungsfrei.

[0038] [Fig. 1](#) zeigt ein beispielhaftes schematisches Übersichtsbild des erfindungsgemäßen Energiewandlers EW1 zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie. Der Energiewandlers EW1 hat mindestens ein piezoelektrisches Element PE1, in das eine durch mechanische Umgebungsenergie hervorgerufene linear translatorische Kraftbewegung B1 derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element PE1 zu mechanischen Schwingungen angeregt wird.

[0039] Das piezoelektrische Element PE1 weist vorteilhafter Weise eine Schichtfolge aus Elektroden-schicht, piezoelektrischer Schicht und weiterer Elektroden-schicht auf. Mehrere derartige Schichtfolgen können dabei übereinander gestapelt sein, so dass ein Mehrschichtaufbau mit übereinander gestapelten, alternierend angeordneten Elektroden-schichten und piezoelektrischen Schichten resultiert.

[0040] Eine Auslenkung (Schwingung) des piezoelektrischen Elements PE1, die durch Einwirken einer mechanischen Kraft K1 auf das piezoelektrische Element PE1 hervorgerufen wird, führt zur Ladungsverschiebung bzw. Ladungstrennung im piezoelektrischen Element (piezoelektrischer Effekt). Die beiden Elektroden-schichten und die piezoelektrische Schicht sind dabei derart aneinander angeordnet, dass ein auf der Ladungstrennung hervorgerufener Ladungsfluss zur Gewinnung von elektrischer Energie genutzt werden kann. Im Ergebnis wird mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt.

[0041] Das Elektrodenmaterial der Elektroden-schichten kann aus verschiedensten Metallen beziehungsweise Metall-Legierungen bestehen. Beispiele für das Elektrodenmaterial sind Platin, Titan und eine Platin/Titan-Legierung. Denkbar sind auch nichtmetallische, elektrisch leitende Materialien.

[0042] Optional umfasst der Energiewandler EW1 eine integrierte Schaltung ASIC als Energiemanagementsystem und eine elektrische Verbindung EV zwi-

schen dem Energiewandler EW1 und der integrierten Schaltung ASIC. Die vom Energiewandler EW1 erzeugte primäre elektrische Energie wird über die elektrische Verbindung EV der integrierten Schaltung ASIC zur Verfügung gestellt. Die integrierte Schaltung ASIC arbeitet als Energiemanagementsystem und bereitet diese primäre Energie auf und stellt sie einem Verbraucher (z. B. Sensor oder Aktor) zur Verfügung. Die integrierte Schaltung ASIC ist mit einer Intelligenz ausgestattet, die eine zielgerichtete anwendungsorientierte und skalierbare Energieversorgung des jeweiligen Verbrauchers ermöglicht. Durch hintereinander geschaltete Energiewandler (Generatoren) EW1 lässt sich die erzeugte Energiemenge vergrößern. Es ist somit eine Energieskalierung möglich die es erlaubt jeweils angepasste, bzw. erforderliche Energiemengen zur Verfügung zu stellen.

**[0043]** [Fig. 2](#) zeigt ein beispielhaftes Funktionsbild für eine Auslenkung eines Piezoelementes durch eine periodische Anregung. Die der Erfindung zugrunde liegende Idee ist die direktmechanischen Auslenkung einer Piezobalkenstruktur. [Fig. 2](#) zeigt das Prinzip des erfindungsgemäßen Ansatzes. Die Balkenstruktur (Piezoelement) wird mit Hilfe von mechanischer Umgebungsenergie in die Position  $x_0$  ausgelenkt und dann frei gelassen. Der Piezobalken beginnt dann mit seiner Eigenfrequenz  $1/T_{os}$  zu oszillieren. Unter anderem durch die Extraktion von elektrischer Energie aus dem Generator wird die Schwingung gedämpft. Das System wird nun periodisch mit  $1/T_{ex}$  angeregt. Möglich ist auch eine nichtperiodische Anregung. Ein Vorteil einer periodischen Anregung liegt in der kontinuierlichen Bereitstellung von elektrischer Energie durch den Energiewandler.

**[0044]** Ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist die Realisierung der in [Fig. 2](#) dargestellten Schwingungsanregung. In einem ersten Schritt muss eine linear translatorische Bewegung (B1; [Fig. 1](#)) bereitgestellt, bzw. direkt genutzt werden. Beispielsweise kann in den Eingangs beschriebenen verformbaren Umgebungen (Förderband, Gummimanschetten, Reifen, etc.) relativ leicht und vielfältig aus den primären Bewegungen eine solche translatorische Komponente d. h. Bewegung abgeleitet werden.

**[0045]** Die [Fig. 3a–Fig. 3c](#) zeigen eine beispielhafte Schwingungsanregung eines Piezobalkengenerators PE2, PE', PE" mithilfe einer linear translatorischen Bewegung B2, B2', B2" und eines geeigneten mechanischen starren Mitnehmers SM, SM', SM". Die durch die Piezobalkenstruktur PE2, PE2', PE2" erzeugte elektrische Energie wird über den Energiewandler EW2, EW2', EW2" durch eine geeignete elektrische Kontaktierung elektrischen Verbrauchern bereitgestellt.

**[0046]** Die [Fig. 3a–Fig. 3c](#) zeigen, wie die translatorische Auslenkung zur Schwingungsanregung ge-

nutzt wird. In den Darstellungen der [Fig. 3a–Fig. 3c](#) basiert die Anregung auf einem mechanischen Mitnehmer SM, SM', SM", der von der translatorischen Bewegung B2, B2', B2" angetrieben wird. In den [Fig. 3a–Fig. 3c](#) ist der Fall eines starren Frontalmitnehmers SM, SM', SM" gezeigt. Die maximale Auslenkung der Piezobalkenstruktur PE2, PE2', PE2" wird vom Umkehrpunkt der translatorischen Bewegung B2, B2', B2" bestimmt (setzt hier also reproduzierbares und stabiles Verhalten voraus). In der Rückwärtsbewegung ist es entscheidend, dass sich der Mitnehmer SM, SM', SM" schneller bewegt als der Piezobalken PE2, PE2', PE2". Dies lässt sich prinzipiell erfüllen, wenn die Periode der Eigenfrequenz der Piezostruktur PE2, PE2', PE2" größer ist als die Zeitdauer der Auslenkung. Nach dem vollständigen Durchlaufen der translatorischen Auslenkung innerhalb der Zeit  $T_p$  (s. [Fig. 5](#)) kann der Piezobalken frei mit seiner Eigenfrequenz oszillieren. Der starre Frontalmitnehmer SM, SM', SM" kann z. B. an einem Förderband oder an einem Rad angebracht sein, durch das eine translatorische Bewegung B2, B2', B2" bereitgestellt wird. Die translatorische Bewegung B2, B2', B2" kann periodisch wiederkehrend sein.

**[0047]** Die [Fig. 4a–Fig. 4d](#) zeigen eine beispielhafte Schwingungsanregung eines Piezobalkengenerators PE3, PE3', PE3" mithilfe einer linear translatorischen Bewegung B3, B3', B3" und eines geeigneten semiflexiblen mechanischen Mitnehmers SFM, SFM', SFM", SFM". Die durch die Piezobalkenstruktur PE3, PE3', PE3", PE3" erzeugte elektrische Energie wird über den Energiewandler EW3, EW3', EW3" durch eine geeignete elektrische Kontaktierung elektrischen Verbrauchern (z. B. dezentralen Aktoren oder Sensoren) bereitgestellt.

**[0048]** Das in den [Fig. 4a–Fig. 4d](#) dargestellte Konzept der Schwingungsanregung durch einen semiflexiblen mechanischen Mitnehmer SFM, SFM', SFM", SFM" stellt ein wesentlich robusteres Konzept (hinsichtlich der Reproduzierbarkeit und Stabilität des Auslenkvorgangs), welches auch keine Einschränkung bezüglich Eigenfrequenz und Auslenkungsdauer aufweist, im Vergleich zum Konzept des in den [Fig. 3a–Fig. 3c](#) dargestellten starren Frontalmitnehmers dar.

**[0049]** In der Vorwärtsbewegung B3 klappt der Mitnehmer SFM, SFM', SFM", SFM" ein, sodass der Piezobalken PE3, PE3', PE3", PE3" praktisch nicht ausgelenkt wird. In der Rückwärtsbewegung B3", ist der Mitnehmer SFM, SFM', SFM", SFM" so versteift, dass der Piezobalken PE3, PE3', PE3", PE3" mitgeführt wird. Nach Erreichen eines bestimmten Auslenkwegs in der Rückwärtsbewegung, der exakt über Geometrieverhältnisse bestimmbar festgelegt ist, wird der Piezobalken frei gelassen und kann in Eigenfrequenz oszillieren ([Fig. 4d](#)).

**[0050]** [Fig. 5](#) zeigt ein Beispiel für eine translatorische Auslenkung zur Schwingungsanregung durch eine Kraftbewegung, die aus der Umgebungsenergie gespeist werden kann, z. B. durch die Mitnehmerkonzepte aus [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#). In periodischen Abständen (es sind auch nichtperiodische Vorgänge denkbar) kommt es zu einer Auslenkung, die zumindest eine linear translatorische Komponente aufweist und sich über eine Dauer der Größe  $T_p$  erstreckt.

**[0051]** [Fig. 6](#) zeigt eine beispielhafte Schemadarstellung eines Piezoelementes PE4. [Fig. 6](#) zeigt eine beispielhafte piezoelektrische Fahne PE4 (bzw. einen piezoelektrischen Biegebalken) mit einer im Wesentlichen dreieckigen Grundfläche. Die mechanische Kraft B4 trifft im Wesentlichen senkrecht auf eine Stirnseite des Piezo-Dreiecks PE6 und bringt die Piezofahne PE4 zum Schwingen. Die dreieckige Grundfläche bewirkt eine hohe Effizienz bei der Energiewandlung. Das dreieckige Piezoelement PE4 kann im erfindungsgemäßen Energiewandler in beliebig dynamisch verformbaren Umgebungen eingesetzt werden. Z. B. bei Förderbändern, an deren Umkehrpunkten das elastische Förderband verformt wird oder in der Industrieautomatisierung (z. B. Roboter), wo es sehr viele bewegliche Teile gibt, die z. B. durch verformbare Gummimanschetten geschützt sind. Die durch mechanische Umgebungsenergie (Deformationsenergie) hervorgerufene mechanische Kraft wird derart in das piezoelektrische Element PE4 eingekoppelt, so dass das piezoelektrische Element PE4 zu mechanischen Schwingungen angeregt wird.

**[0052]** [Fig. 7](#) zeigt ein beispielhaftes Ableiten einer translatorischen Bewegung aus einem elastischen Verformungsvorgang. Ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist die Realisierung einer in [Fig. 2](#) dargestellten Schwingungsanregung. In einem ersten Schritt muss eine linear translatorische Bewegung bereitgestellt, bzw. direkt genutzt werden. Beispielsweise kann in den verformbaren Umgebungen (Förderband, Gummimanschetten, Reifen, etc.) relativ leicht und vielfältig aus den primären Bewegungen eine solche translatorische Komponente abgeleitet werden. Ein Beispiel dafür ist in [Fig. 7](#) gezeigt und erläutert. Im Inneren eines Reifens ist die in [Fig. 8](#) detailliert dargestellte U-förmige Vorrichtung eingebracht. Während der Rotation folgen die beiden Schenkelhälften S1, S1' bzw. S2, S2' der Vorrichtung dem lokalen Krümmungsradius des Reifens. Der Abstand der Schenkel ändert sich (z. B. von  $d_0$  nach  $d_c$ ). Diese Längenänderung lässt sich als translatorische Bewegung nutzen. Als Ergebnis liegt eine Bewegung vor, wie sie schematisch und generalisiert in [Fig. 5](#) dargestellt ist. In periodischen Abständen (es sind auch nichtperiodische Vorgänge denkbar) kommt es zu einer Auslenkung, die zumindest eine linear translatorische Komponente aufweist und sich über eine Dauer der Größe  $T_p$  erstreckt.

**[0053]** [Fig. 8](#) zeigt ein Beispiel für eine Vorrichtung zum Ableiten einer translatorischen Bewegung aus einem elastischen Verformungsvorgang. Die in [Fig. 8](#) dargestellte U-förmige Vorrichtung besteht aus zwei rechtwinkligen Schenkelhälften S3 und S4, die über einen Drehpunkt DP2 (z. B. ein Drehscharnier) miteinander drehbar verbunden sind. Während der Rotation des Reifens wird bei Eintritt der Vorrichtung in die Reifenlatsch der Abstand der Schenkelhälften S3 und S4 an der Öffnung der U-förmigen Vorrichtung verändert, wobei diese Abstandsänderung zum Antrieb eines piezoelektrischen Elementes verwendbar ist. Dadurch kann in verformbaren Umgebungen (Förderband, Gummimanschetten, Reifen, etc.) relativ leicht und vielfältig aus den primären Bewegungen eine translatorische Bewegung zur Anregung des Piezoelementes abgeleitet werden.

**[0054]** Durch das Aufbringen einer Vielzahl (z. B. kranzförmig in einem Reifen) von U-förmigen Vorrichtungen erfolgt eine kontinuierliche Anregung des piezoelektrischen Elementes und es wird durch den Energiewandler kontinuierlich elektrische Energie bereitgestellt.

**[0055]** [Fig. 9](#) zeigt ein beispielhaftes schematisches Ausführungsbeispiel eines Piezoelementes PE5. Das Beispiel nach [Fig. 9](#) zeigt das Piezoelement PE5 als mehrschichtige rechteckige bzw. im Wesentlichen rechteckige Platte. Das Piezoelement PE5 kann prinzipiell auch andere Formen annehmen (z. B. Dreiecksform).

**[0056]** Das piezoelektrische Element PE5 weist eine Schichtfolge aus Elektroden-schicht ES1, piezoelektrischer Schicht PES und weiterer Elektroden-schicht ES2 auf. Mehrere derartige Schichtfolgen können dabei übereinander gestapelt sein, so dass ein Mehrschichtaufbau mit übereinander gestapelten, alternierend angeordneten Elektroden-schichten ES1, ES2 und piezoelektrischen Schichten PES resultiert. Das Elektrodenmaterial der Elektroden-schichten ES1, ES2 kann aus verschiedensten Metallen beziehungsweise Metall-Legierungen bestehen. Beispiele für das Elektrodenmaterial sind Platin, Titan und eine Platin/Titan-Legierung. Denkbar sind auch nicht-metallische, elektrisch leitende Materialien.

**[0057]** Die piezoelektrische Schicht PES kann ebenfalls aus unterschiedlichsten Materialien bestehen. Beispiele hierfür sind piezoelektrische keramische Materialien wie Bleizirkonattitanat (PZT), Zinkoxid (ZnO) und Aluminiumnitrid (AlN). Piezoelektrische organische Materialien wie Polyvinylidendifluorid (PVDF) oder Polytetrafluorethylen (PTFE) sind ebenfalls denkbar.

**[0058]** Eine optionale Trägerschicht TS erhöht die mechanische Belastbarkeit des piezoelektrischen Elementes PE5.

**[0059]** Im Hinblick auf die mögliche Miniaturisierung des Energiewandlers eignet sich zur Realisierung des piezoelektrischen Elementes PE5 besonders die MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)-Technologie. Mit dieser Technologie ist ein piezoelektrischer Energiewandler mit sehr kleinen lateralen Abmessungen zugänglich. Darüber hinaus können sehr dünne Schichten ausgebildet werden. So betragen die Schichtdicken der Elektroden-schichten ES1, ES2 beispielsweise 0,1  $\mu\text{m}$  bis 0,5  $\mu\text{m}$ . Die piezoelektrische Schicht PES ist wenige  $\mu\text{m}$  dick, beispielsweise 1  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ . Das piezoelektrische Element PE5 ist als dünne piezoelektrische Platte ausgestaltet. Das piezoelektrische Element PE verfügt über eine sehr geringe Masse. Die Trägerschicht TS5 kann aus Silizium, Polysilizium, Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) oder Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) hergestellt sein. Eine Schichtdicke der Trägerschicht TS ist aus dem Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  ausgewählt.

**[0060]** Ein miniaturisiert ausgebildeter Energiewandler erhöht das Spektrum von möglichen Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten, insbesondere bei dezentralen Anwendungen, die eine autarke und möglichst wartungsfreie Energieversorgung verlangen. Des Weiteren kann ein handelsübliches Bulk-Material (z. B. mittels Grünfolientechnik hergestellt) mit Dicken im Bereich einiger hundert  $\mu\text{m}$  eingesetzt werden.

**[0061]** [Fig. 10](#) zeigt ein beispielhaftes schematisches Ausführungsbeispiel eines semiflexiblen Rückseitenmitnehmers SFM1 in MEMS-Ausführung und integriert mit Piezogenerator. Der Rückseitenmitnehmer SFM1 ist auf einem Federelement F angebracht, Die translatorische Kraft B5 kann dabei direkt auf den Mitnehmer SFM1 oder aber auch auf das Federelement F wirken. Der Rückseitenmitnehmer SFM1 regt dabei nur in einer Bewegungsrichtung das Piezoelement PE6 an. Das kann z. B. durch geeignete Wahl eines Werkstoffes für den Rückseitenmitnehmer SFM1 bewerkstelligt werden oder durch eine mechanische Klapp- und Sperrvorrichtung.

**[0062]** Der erfinderische Schritt liegt insbesondere in der Realisierung einer intervallartigen Anregung eines Piezobalken mithilfe eines von Umgebungsenergie angetriebenen mechanischen Mitnehmers.

**[0063]** Der erfindungsgemäße Ansatz weist insbesondere folgende Vorteile auf:

- Nutzung breitbandige Anregung: Im Gegensatz zu konventionellen Ansätzen muss der Piezowandler nicht auf ein schmales Frequenzband im Anregungsspektrum ausgelegt werden. Zur mechanischen Auslenkung der Balkenstruktur können mechanische Bewegungen mit einem breiten Frequenzspektrum genutzt werden.
- Hohe mechanische Robustheit: Insbesondere für die vorgeschlagene Variante eines semiflexi-

blen Rückseitenmitnehmers ist die Auslenkungsamplitude unabhängig von der extern angetriebenen translatorischen Bewegung. Der Wert ist exakt über Geometrieverhältnisse (z. B. senkrecht zur translatorischen Bewegung) bestimmbar festgelegt. Die maximale Spannungsbelastung der mechanischen Strukturen lässt sich damit sehr gut kontrollieren und Überlastzustände können inhärent ausgeschlossen werden.

- Einfache Implementierung: Aufgrund des Konzepts können Ausführungen einfach gehalten werden, sodass robuste, zuverlässige und kostengünstige Umsetzungen möglich sind.

- Konzept ist gut geeignet für Systemintegration: Das erfindungsgemäße System kann mit MEMS- und ASIC-kompatiblen Technologien und Prozessen hergestellt werden und ermöglicht deshalb einen hohen Integrationsgrad. Denkbar ist z. B. eine Ein-Chip-Lösung bestehend aus Generator und Energiemanagement ASIC.

- Miniaturisierbarkeit: Da das erfindungsgemäße System mit MEMS- und ASIC-kompatiblen Technologien hergestellt werden kann, besteht die Möglichkeit der Miniaturisierung.

**[0064]** Vorrichtung zur gepulsten direktmechanischen Anregung eines Piezobalkengenerators zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie mit mindestens einem piezoelektrischen Element, in das eine durch mechanische Umgebungsverformung hervorgerufene mechanische Kraft derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird, wobei das Einkoppeln der mechanische Kraft durch eine linear translatorische Kraftbewegung erfolgt, die direkt auf das piezoelektrische Element einwirkt.

**[0065]** Vorrichtung zur gepulsten direktmechanischen Anregung eines Piezobalkengenerators zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie mit mindestens einem piezoelektrischen Element, in das eine durch mechanische Umgebungsverformung hervorgerufene mechanische Kraft derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element zu mechanischen Schwingungen angeregt wird, wobei das Einkoppeln der mechanische Kraft durch eine translatorische Kraftbewegung (z. B. linear translatorische Kraftbewegung) erfolgt, die auf das piezoelektrische Element einwirkt.

#### Bezugszeichen

EW1–EW3	Energiewandler
EW2', EW2''	Energiewandler
EW3', EW3'', EW3'''	Energiewandler
SM, SM', SM''	Starrer Mitnehmer
SFM, SFM', SFM'', SFM'''	Semiflexibler Mitnehmer

SFM1	Semiflexibler Mitnehmer
F	Federelement
ASIC	Integrierte Schaltung
EV	Elektrische Verbindung
PE1–PE6	Piezoelement
PE2', PE2''	Piezoelement
PE3', PE3'', PE3'''	Piezoelement
B1–B5	Translatorische Bewegung
B2', B2'', B3', B3''	Translatorische Bewegung
S1, S1', S3	Erste Schenkelhälfte
S2, S2', S4	Zweite Schenkelhälfte
DP1, DP2	Drehpunkt
TS	Trägerschicht
ES1, ES2	Elektrodenschicht
PES	Piezoelektrische Schicht

### Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie mit mindestens einem piezoelektrischen Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3'''), in das eine durch mechanische Umgebungsverformung hervorgerufene mechanische Kraft derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') zu mechanischen Schwingungen angeregt wird, wobei das Einkoppeln der mechanische Kraft durch eine translatorische Kraftbewegung erfolgt, die auf das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') einwirkt.

2. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach Anspruch 1, wobei die translatorische Kraftbewegung durch einen starren mechanischen Mitnehmer erfolgt, der durch mechanische Umgebungsverformung angetrieben wird.

3. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach Anspruch 1, wobei die translatorische Kraftbewegung durch einen semiflexiblen Mitnehmer erfolgt, der in einer ersten Bewegungsrichtung einklappt, wenn er auf das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') mechanisch einwirkt, so dass das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') in der ersten Bewegungsrichtung des Mitnehmers im wesentlichen nicht ausgelenkt wird, und wobei in einer zweiten Bewegungsrichtung, die im wesentlichen entgegengesetzt zur ers-

ten Bewegungsrichtung ist, der semiflexiblen Mitnehmer das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') bei einer Kontaktierung ausgelenkt, wobei der semiflexiblen Mitnehmer durch mechanische Umgebungsverformung angetrieben wird.

4. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei im Inneren eines Fahrzeugreifens auf der Lauffläche eine U-förmige Vorrichtung mit einer ersten (S1, S1', S3) und zweiten Schenkelhälfte (S2, S2', S4) angebracht ist, wobei die Schenkelhälften jeweils einen rechten Winkel bilden und an der Unterseite der Vorrichtung drehbar verbundenen sind, wobei während der Rotation des Reifens bei Eintritt der Vorrichtung in die Reifenlatsch sich der Abstand der Schenkelhälften an der Öffnung der U-förmigen Vorrichtung verändert, wobei diese Abstandsänderung zum Antrieb des piezoelektrischen Elementes (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') verwendbar ist.

5. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche 4, wobei der Fahrzeugreifen auf seiner inneren Lauffläche eine Vielzahl von U-förmigen Vorrichtung aufweist.

6. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') als Piezofahne ausgebildet ist und eine im Wesentlichen dreiecksförmige Grundfläche aufweist.

7. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') periodisch zu Schwingungen angeregt wird.

8. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') einen Mehrschichtaufbau mit MEMS-Schichten aufweist.

9. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei mehrere piezoelektrischen Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') hintereinander geschaltet sind.

10. Piezoelektrischer Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der vorstehenden Ansprüche, weiter umfassend einen integrierten Schaltkreis (ASIC) zum bedarfsgerechten Energiemanagement und/oder zur bedarfsgerechten Energieverteilung der vom piezoelektrischen Ener-

gieuwandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') bereitgestellten Energie für elektrische Verbraucher.

11. Verfahren zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie unter Verwendung eines piezoelektrischen Energiewandlers (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') nach einem der Ansprüche 1 bis 10 durch Einwirken eines durch mechanische Umgebungsenergie hervorgerufene mechanische Kraft auf ein piezoelektrisches Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3'''), so dass das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') zu mechanischen Schwingungen angeregt wird.

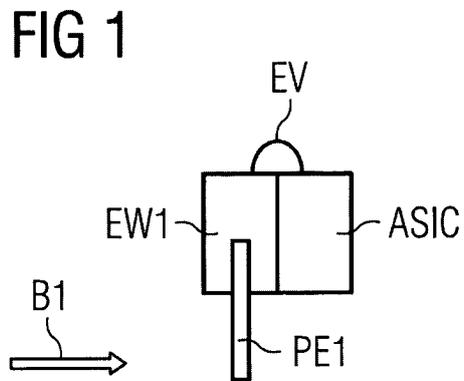
12. Anordnung zum Umwandeln von mechanischer Energie in elektrische Energie, die Anordnung umfassend:

a) eine Vorrichtung zum Bereitstellen einer translatorischen Bewegung, wobei die Vorrichtung derart in einer mechanisch verformbaren Umgebung angebracht ist, dass bei mechanischer Verformung der Umgebung die translatorische Bewegung bereitgestellt wird;

b) einen piezoelektrischen Energiewandler (EW1–EW3, EW2', EW2'', EW3', EW3'', EW3''') mit mindestens einem piezoelektrischen Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3'''), in das die linear translatorische Bewegung derart eingekoppelt werden kann, dass das piezoelektrische Element (PE1–PE6, PE2', PE2'', PE3', PE3'', PE3''') zu mechanischen Schwingungen angeregt wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



**FIG 2**

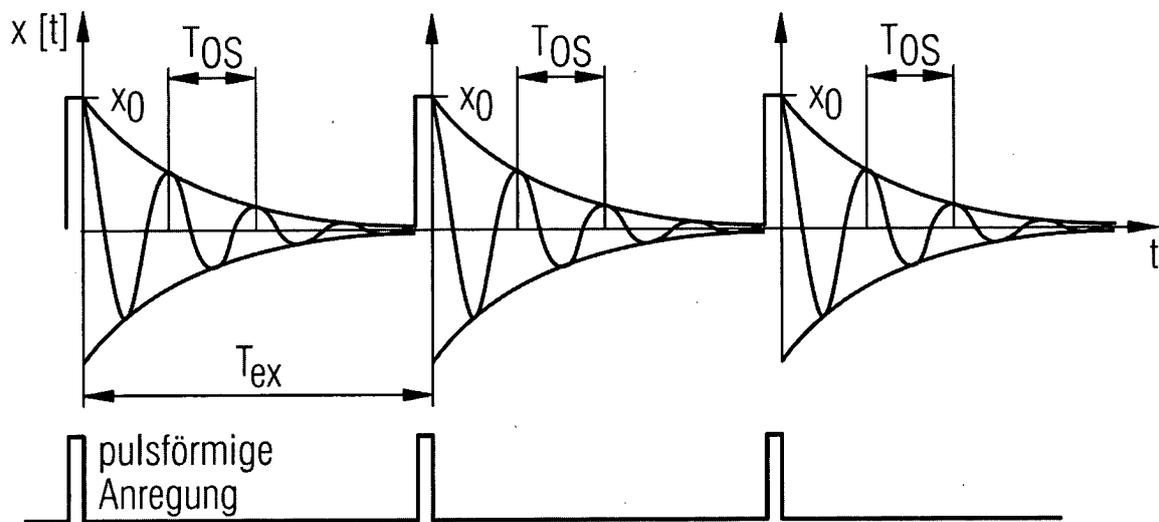


FIG 3A

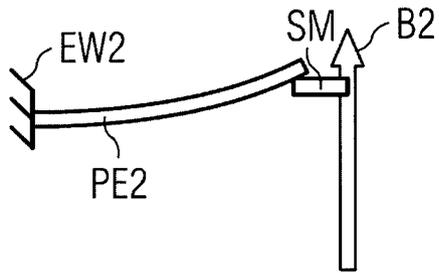


FIG 3B

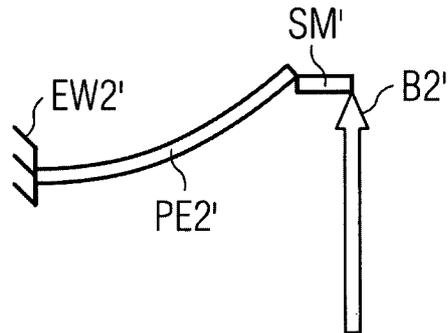


FIG 3C

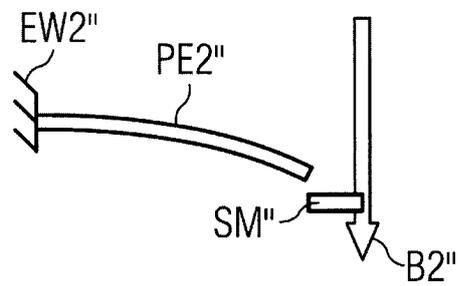


FIG 4A

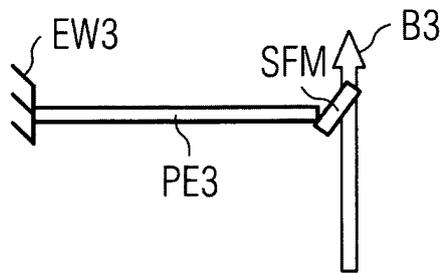


FIG 4B

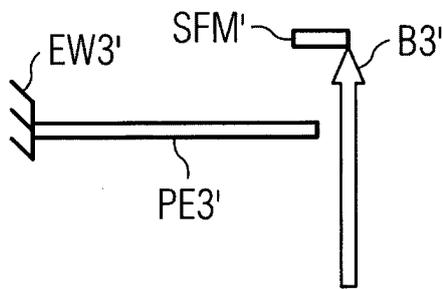


FIG 4C

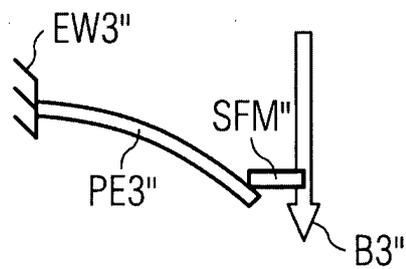


FIG 4D

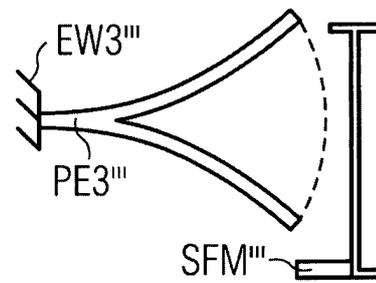


FIG 5

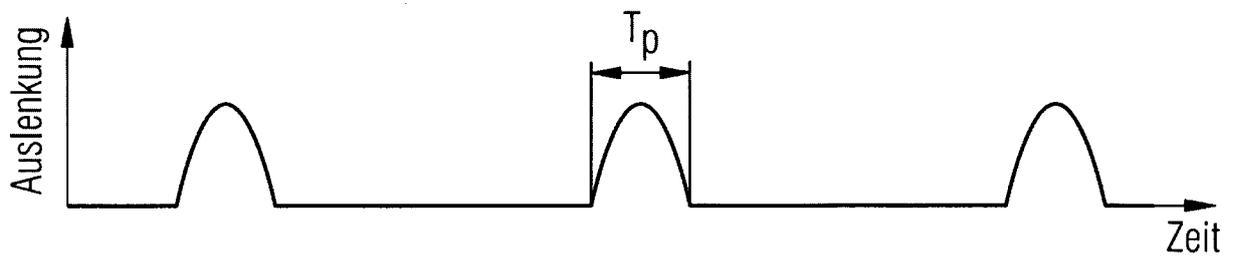


FIG 6

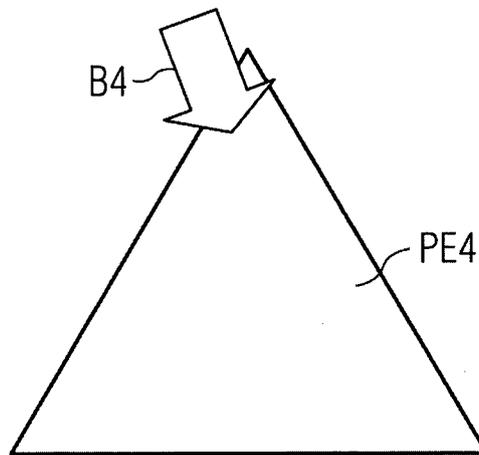


FIG 7

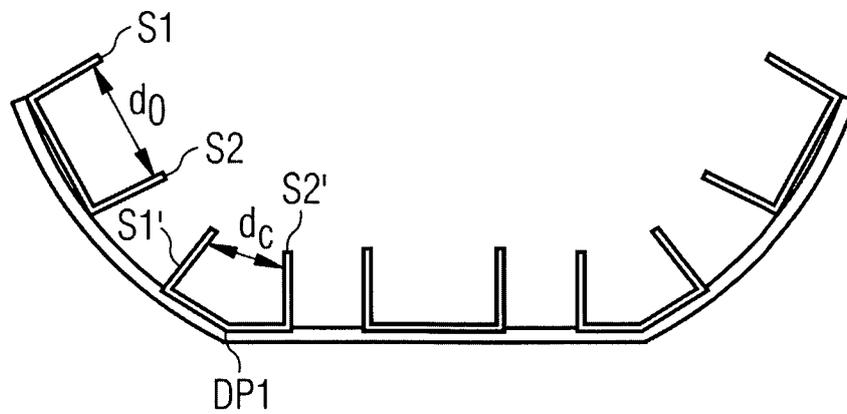


FIG 8

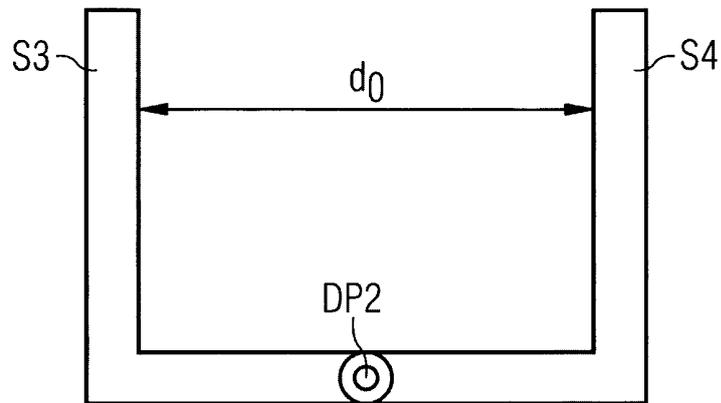


FIG 9

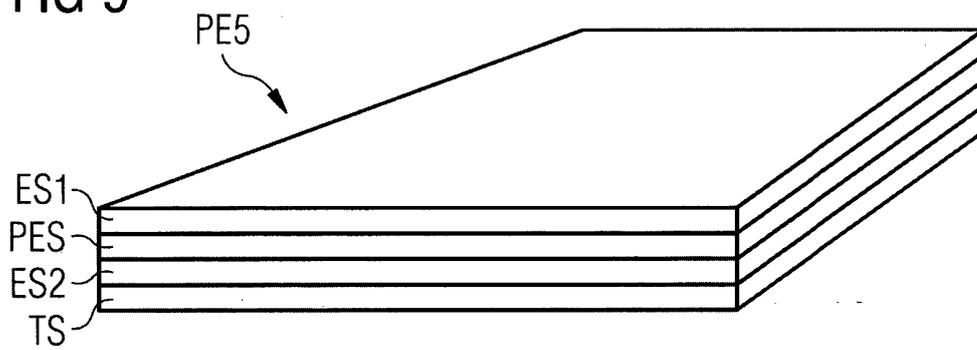


FIG 10

