(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

PCT

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
13. November 2008 (13.11.2008)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2008/135457 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H01L 41/09 (2006.01) *B60J 1/17* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/055245

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. April 2008 (29.04.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 021 337.0 7. Mai 2007 (07.05.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

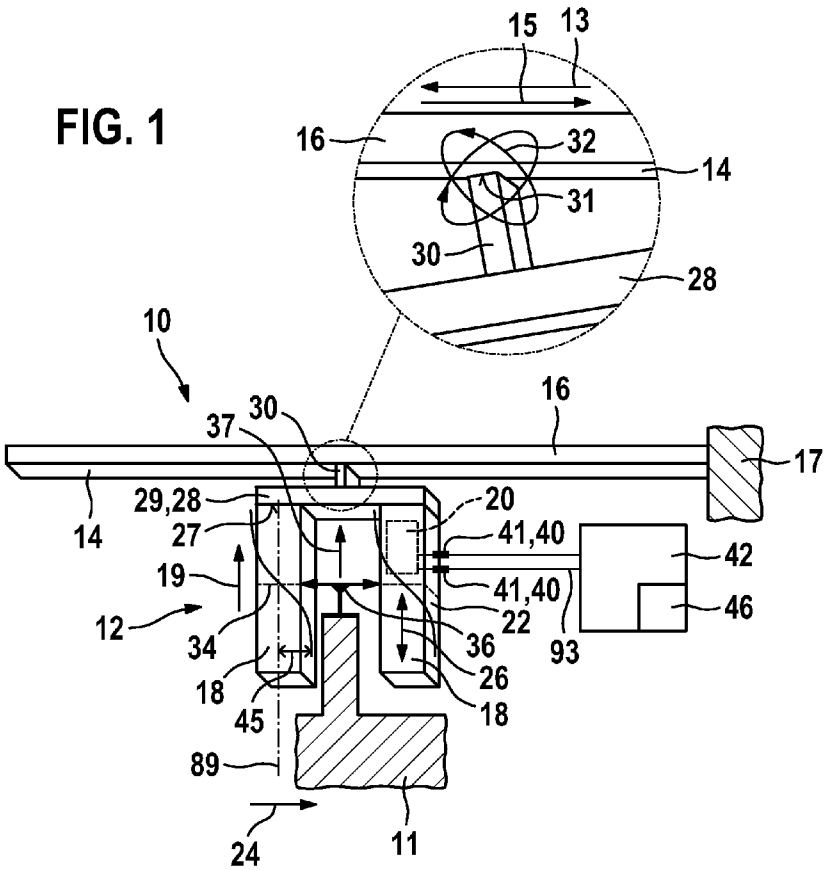
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **HAUSSECKER, Walter** [DE/DE]; Albert-Schneble Str. 25, 77830 Buehlertal (DE). **WALLASCHEK, Jörg** [DE/DE]; Weikenweg 30, 33106 Paderborn (DE). **RIEGER, Vincent** [DE/DE]; Loetzener Str. 6, 76139 Karlsruhe (DE). **TWIEFEL, Jens** [DE/DE]; Luisenstr. 6, 33106 Paderborn (DE). **HEMSEL, Tobias** [DE/DE]; Schulstr. 19, 33449 Langenberg (DE). **RISCHMUELLER, Volker** [DE/DE]; Schillerstr. 29, 71229 Leonberg (DE). **GUENTHER, Dirk** [DE/DE]; Gossbach 2, 55270 Jugenheim (DE). **FROEHLICH,**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** PIEZOELECTRIC DRIVE UNIT

(54) **Bezeichnung:** PIEZOELEKTRISCHE ANTRIEBSVORRICHTUNG

FIG. 1



(57) Abstract: Disclosed are a piezoelectric drive unit (10) and a method for operating such a drive unit in order to adjust movable parts (11), especially in a motor vehicle. Said piezoelectric drive unit (10) comprises at least one piezo motor (12) that is fitted with at least one piezo actuator (18). At least one frictional element (3) of the piezo motor (12) makes it possible to generate a relative movement in relation to a frictional surface (14) located across from the frictional element (30). Said at least one frictional element (30) is disposed on a bridging web (28) of the piezo motor (12). The bridging web (28) places the frictional element (30) at a distance (2) from the central axis (89) of the at least one piezo actuator (18), said central axis (89) extending in a longitudinal direction (19).

(57) Zusammenfassung: Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) sowie Verfahren zum Betreiben eines solchen zum Verstellen von beweglichen Teilen (11), insbesondere im Kraftfahrzeug, mit mindestens einem Piezomotor (12), der mindestens einen Piezoaktor (18) aufweist, wobei mittels mindestens

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/135457 A1

eines Friktionselements (30) des Piezomotors (12) eine

Peter [CN/CN]; Lixiang Road, Changsha Hunan 410100 (CN).

(74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

Relativbewegung bezüglich einer dem Friktionselement (30) gegenüberliegenden Reibfläche (14) erzeugbar ist, wobei das mindestens eine Friktionselement (30) an einem Brückensteg (28) des Piezomotors (12) angeordnet ist, der das Friktionselement (3) mit einem Abstand (2) zur in Längsrichtung (19) verlaufenden Mittelachse (89) des mindestens einen Piezoaktors (18) positioniert.

Beschreibung

Titel

Piezoelektrische Antriebsvorrichtung

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung sowie einem Verfahren zum Betreiben eines solchen nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Mit der WO 00/28652 A1 ist ein Ultraschall-Motor bekannt geworden, bei dem eine Rotorwelle mittels Ultraschall-Vibratoren in Drehung versetzt wird. Dabei sind zwei Ultraschall-Vibratoren rechtwinklig miteinander verbunden, wobei beide Vibratoren derart mit einer Wechselspannung versorgt werden, dass die beiden Vibratoren mit einer Phasendifferenz zueinander schwingen. Diese Schwingung erzeugt eine Bewegung eines Stößels, der die Rotorwelle in Drehung versetzt. Durch die Anordnung des Stößels auf den Längsachsen der Piezoaktoren kann nur ein relativ kleiner Hub erzeugt werden. Daher sind aufgrund der Ausbildung und der Betriebsweise der Vibratoren viele Ultraschall-Vibratoren notwendig sind, um ein ausreichendes Antriebsmoment zu erzeugen. Ein solcher Motor ist deshalb sehr teuer und benötigt eine aufwändige elektronische Ansteuerung und einen entsprechend großen Bauraum.

Offenbarung der Erfindung

Vorteile der Erfindung

Die erfindungsgemäße piezoelektrische Antriebsvorrichtung, sowie das Verfahren zum Betreiben einer solchen Vorrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche hat demgegenüber den Vorteil, dass durch die Anordnung des Friktionselements auf einem Brückensteg eine Hebelwirkung erzielt werden kann, die die Stoßbewegung des Friktionselements verstärkt und dadurch einen größerer Vorschub der Relativbewegung

erzeugt. Über die Festlegung des Abstands des Friktionselements senkrecht zur Längsachse des Piezoaktors kann die Verstärkung bzw. die zu übertragende Stoßkraft eingestellt werden, wodurch eine Anpassung für unterschiedliche Anwendungen möglich ist.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen der in den abhängigen Ansprüchen angegebenen Ausführungen möglich. Wird der Brückensteg im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung des Piezoaktors angeordnet, wird die größte Verstärkung der Stößelbewegung erzielt. Dabei kann der Brückensteg einerseits als freier Hebelarm oder andererseits als Verbindungssteg zu einem zweiten Piezoaktor ausgebildet sein. Ist das Friktionselement als Fortsatz in Längsrichtung ausgebildet, kann die Längsschwingung des Piezoaktors besonders effektiv in eine Stoßbewegung in Längsrichtung umgesetzt werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn das Friktionselement eine Stoßfläche aufweist, die zur Kraftübertragung an der korrespondierenden Reibfläche anliegt. Die Stoßfläche ist dabei im wesentlichen parallel zur Reibfläche und im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung des Piezoaktors ausgerichtet, um einen hohen Wirkungsgrad bei der Übertragung der Stoßbewegung auf die Reibfläche zu gewährleisten.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind genau zwei Piezoaktoren in etwa parallel zueinander angeordnet, wobei der Brückensteg zwischen den beiden Piezoaktoren den Abstand quer zur Längsrichtung vorgibt. Bei dieser Ausbildung, kann das Friktionselement auf den Brückensteg wahlweise durch einen der beiden Piezoaktoren oder durch eine gemeinsame Anregung der beiden Piezoaktoren in eine Stoß- oder eine Ellipsenbewegung versetzt werden. Das Friktionselement ist bevorzugt als Stößel ausgebildet, der eine größere Ausdehnung in Längsrichtung aufweist als seine Ausdehnung in Querrichtung. Ist das Friktionselement mittig am Brückensteg befestigt, können bei wahlweiser Anregung des einen oder des anderen Piezoaktors symmetrische Bewegungen des Friktionselements erreicht werden, wobei die Stoßrichtung der Querkomponente entgegengesetzt zueinander ausgebildet ist. Dadurch kann die Relativbewegung in beide Richtungen mit den gleichen Kräften beziehungsweise Vorschüben realisiert werden.

Durch die gewölbte Ausbildung der Stoßfläche kann die Stoßkraft, besonders bei einer Ellipsenbewegung des Stößels, optimal auf die Reibfläche übertragen werden. Zusätz-

lich kann die Stoßfläche mit einer zusätzlichen Schicht beaufschlagt werden, die die Reibung zur Reibfläche erhöht.

Besonders wirtschaftlich können der Brückensteg und das Friktionselement als separate Bauteile gefertigt werden, die dann mit den Piezoaktoren zum Piezomotor zusammengebaut werden können. Alternativ können die Gehäuse der Piezoaktoren auch einstückig mit dem Brückensteg und/oder dem Friktionselement ausgebildet sein, wodurch entsprechende Montageschritte entfallen.

Besonders günstig kann das Gehäuse des Piezoaktors als Hohlkörper ausgebildet werden, in dessen Inneren das Piezoelement eingefügt werden kann. Dabei ist das Gehäuse beispielsweise aus Metall, das gegenüber dem Piezoelement elektrisch isoliert ist.

Um eine größere mechanische Amplitude des Piezoelements zu erzielen, ist dieses vorteilhaft als Multilayer-Keramik oder Stapel-Keramik ausgebildet, so dass sich die Amplituden der einzelnen Schichten aufaddieren. Diese Piezokeramiken werden in Längsrichtung im Piezogehäuse vorgespannt, um den Wirkungsgrad des Piezoelements zu erhöhen und deren Zerstörung zu verhindern.

Zum Vorspannen der Piezoelemente eignen sich besonders Schraubelemente, die in das Aktorgehäuse und/oder in den Brückensteg eingeschraubt werden können.

Der Brückensteg kann je nach gewünschtem Funktionsprinzip der Stößelbewegung eher biegeweich oder eher biegesteif ausgebildet werden. Die Steifigkeit des Brückenstegs kann durch dessen Materialwahl und Formgebung beeinflusst werden. Zur Realisierung eines biegeweichen Brückenstegs kann an diesem beispielsweise ein oder mehrere Bereiche mit entsprechenden Aussparungen angeformt werden, so dass dessen Materialquerschnitt reduziert wird und/oder gelenkig ausgebildet wird.

Zur elektrischen Kontaktierung der Piezoelemente kann am Aktorgehäuse günstig ein Kontaktelement angeordnet werden, an dem die Elektroden des Piezoelements mit der elektrischen Steuereinheit verbunden werden können.

Um eine größere mechanische Amplitude des Piezoelements zu erzielen, ist dieses vorteilhaft als Multilayer-Keramik oder Stapel-Keramik ausgebildet,

Wird die Piezokeramik in mehreren Schichten ausgebildet, zwischen denen Elektronen angeschlossen werden, lässt sich mit einer vorgegebenen Spannung eine größere Schwingungsamplitude erzeugen. Werden die Schichten quer zur Längsrichtung des Piezoaktors angeordnet, wird dadurch die Längsschwingung in Längsrichtung maximiert. Die Elektroden können dabei günstig zwischen den getrennten Keramikschichten angeordnet werden.

Zur Erzeugung einer großen Schwingungsamplitude des Piezoaktors in Längsrichtung ist die Piezokeramik im Piezogehäuse derart vorgespannt, dass im Schwingbetrieb in der Piezokeramik keine Zugkräfte auftauchen. Dadurch lässt sich ein Schwingsystem hoher Güte erzielen, das in Längsrichtung eine hohe Steifigkeit aufweist.

Bevorzugt wird der Piezoaktor nur in Längsschwingungen versetzt, so dass nur Schwingungskomponenten entlang der Längsrichtung mit der größten Ausdehnung des Piezoaktors angeregt werden. Dazu wird die Piezokeramik und die Ausbildung des Gehäuse des Piezoaktors entsprechend optimiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben piezoelektrischer Antriebsvorrichtungen hat den Vorteil, dass mittels der Abstimmschaltung der Elektronikeinheit der Piezomotor, beziehungsweise die komplette Antriebsvorrichtung in ihrer Resonanzfrequenz angeregt werden kann. Durch die Regelung auf den Null-Durchgang des Phasenverlaufs des Antriebssystems kann die Resonanzfrequenz sehr genau eingehalten werden, wodurch der Wirkungsgrad des Piezoaktors deutlich gesteigert werden kann. Durch den Betrieb der Piezoaktoren in ihrer Resonanzfrequenz wird deren Piezokeramik optimal ausgenutzt. Dadurch lässt sich bei relativ geringem Materialeinsatz der Piezokeramik große Auslenkung des Piezoaktors erzeugen, wodurch ein großer Vorschub, beziehungsweise ein großes Moment auf die korrespondierende Reibfläche übertragen werden kann. Durch den Resonanzbetrieb wird die Piezokeramik im Punkt ihrer höchsten Effizienz betrieben, wodurch die elektrische Verlustleistung stark reduziert wird und dadurch eine Erwärmung der Piezokeramik vermieden wird. Im Resonanzbetrieb wird die Piezokeramik, die Elektronikeinheit und die Spannungsquelle nicht mit einer Blindleistung belastet, wodurch die Elektronik einfacher ausgeführt werden kann und beispielsweise auf zusätzliche Schalter und Filterelemente verzichtet werden kann. Durch die Ausnützung der Dielektrizität der Piezokeramik werden keine störenden elektromagnetischen Felder erzeugt, noch wird der Betrieb der Piezokeramik durch äußere Magnetfelder merklich beeinträchtigt. Beim Betrieb des Piezoaktors im Resonanzbetrieb, kann durch das

Design des Piezoaktors die Amplitude und die Kraftübertragung des Piezoaktors an die korrespondierende Reibfläche angepasst werden. Aufgrund der hohen Leistungsdichte des Piezoaktors kann der Materialeinsatz der relativ kostenintensiven Piezokeramik reduziert werden, bzw. die Leistung des Piezoantriebs erhöht werden.

Aufgrund der einphasigen Anregung des Piezomotors kann auf eine zweite Elektronikeinheit/Abstimmschaltung pro Piezomotor verzichtet werden. Es muss nur ein einziges Anregungssignal generiert werden, das abwechselnd auf den einen oder den anderen Piezoaktor gegeben wird. Dies vereinfacht die Signalaufbereitung und die Koordination verschiedener Piezomotoren. Durch die Ansteuerung jeweils nur eines Piezoaktors eines Piezomotors wird dessen Ansteuerungselektronik wesentlich vereinfacht wird. Das Schwingverhalten des Piezomotors wird nur durch die eine einzige Anregungsfrequenz bestimmt, so dass die Bewegungsbahn des Stößels einfach vorgebbar ist. Bei äußeren Einflüssen, die die Resonanzfrequenz verstimmen, kann die Resonanzfrequenz wesentlich einfacher mit einer einphasigen Anregung nachgeführt werden. Ist die Längsrichtung des Piezoaktors im Ruhezustand im Wesentlichen senkrecht zur korrespondieren Reibfläche des Antriebelements ausgerichtet, so kann die Längsschwingung eines einzigen Piezoaktors effektiv in die eine oder die entgegengesetzte Bewegungsrichtungen der Relativbewegung gegenüber der Reibfläche umgesetzt werden.

Durch die Mikrostoßbewegung des Friktionselements gegenüber der korrespondierenden Reibfläche kann eine Relativbewegung erzeugt werden, ohne dass zusätzliche träge Massen in Bewegung gesetzt werden müssen. Durch eine geeignete Wahl der Reibpartner zwischen dem Friktionselement und der korrespondierenden Reibfläche kann die Schwingung des Piezoaktors sehr verlustarm in eine Linearbewegung oder Rotationsbewegung eines Antriebelements umgesetzt werden. Zur Unterstützung der Kraftübertragung kann zusätzlich zum Reibschluss ein Formschluss zwischen dem Friktionselement und der Reibfläche ausgebildet werden. Das Antriebselement mit der Reibfläche kann vorteilhaft als lineare Antriebsschiene oder als Rotorwelle ausgebildet werden. Durch die Haltekraft, mit dem das Friktionselement gegen die lineare Schiene oder den Rotationskörper gepresst wird, wird die tangentiale Bewegungskomponente des Friktionselements auf das Antriebselement übertragen. Besonders günstig ist es, den Piezomotor an dem beweglichen Teil zu befestigen, so dass sich dieser gegenüber einer ortsfesten Reibfläche mit dem beweglichen Teil wegbewegt. Beispielsweise kann der Piezomotor an einer Fensterscheibe befestigt werden, und sich entlang einer Reibfläche einer karosseriefesten Führungsschiene abstoßen. Durch die direkte

Erzeugung einer linearen Bewegung ist eine sehr schnelle Ansprechzeit mit hoher Dynamik möglich. Durch das Mikrostoßprinzip kann eine äußerst präzise Positionierung des zu verstellenden Teils bei geringer Geräuschemission erzielt werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 Eine erfindungsgemäße piezoelektrische Antriebsvorrichtung,
Fig. 2 eine weitere Ausführung für einen Rotationsantrieb,
Fig. 3 ein Piezoelement für den Einbau in den Piezoaktor gemäß Fig. 1,
Fig. 4 eine schematische Darstellung zum Betreiben der Antriebsvorrichtung,
Fig. 5 eine Resonanzkurve des Piezomotors,
Fig. 6 eine Impedanzkurve für das piezoelektrische Antriebs-System,
Fig. 7 eine weiteres Ausführungsbeispiel einer Antriebsvorrichtung mit integriertem Lastsensor,
Fig. 8 a, b Explosionsdarstellungen zweier erfindungsgemäßer Piezomotoren,
Fig. 9 a, b den schematische Erzeugung verschiedener Schwingungsformen, und
Fig. 10 a, b die Kraftübertragung der Stößelbewegung.

In Fig. 1 ist eine piezoelektrische Antriebsvorrichtung 10 dargestellt, bei der ein Piezomotor 12 eine Relativbewegung gegenüber einer korrespondierenden Reibfläche 14 ausführt. Die Reibfläche 14 ist hierbei als lineare Schiene 16 ausgebildet, die beispielsweise an einem Karosserieteil 17 befestigt ist. Der Piezomotor 12 weist mindestens einen Piezoaktor 18 auf, der wiederum ein Piezoelement 20 enthält. Hierzu weist der Piezoaktor 18 ein Aktorgehäuse 22 auf, das das Piezoelement 20 aufnimmt. Das Aktorgehäuse 22 ist beispielsweise hülsenförmig ausgebildet. In der dargestellten Ausführungen ist das Piezoelement 20 vom Aktorgehäuse 22 umschlossen. Der Piezoaktor 18 weist eine Längsrichtung 19 auf, in deren Richtung die Ausdehnungen des Piezoaktors 18 größer ist als in einer Querrichtung 24 dazu. Das Piezoelement 20 ist vorzugsweise im Aktorgehäuse 22 in Längsrichtung 19 vorgespannt, derart, dass bei einer Anregung einer Längsschwingung 26 des Piezoelements 20 in diesem keine Zugkräfte auftreten. Durch die Schwingung des Piezoelements 20 wird der gesamte Piezoaktor 18 in Längsschwingung 26 versetzt und überträgt eine Schwingungsamplitude 45 über einen Brückensteg 28 auf ein Friktionselement 30, das in Reibkontakt zur Reibfläche 14 steht. Durch die Längsschwingung 26 des Piezoaktors 18 wird der Brückensteg 28 in eine Kippbewegung oder eine Biegebewegung versetzt, so dass ein der Reibfläche 14 zugewandtes Ende 31 des Friktionselements 30 eine

Mikrostoßbewegung ausführt. Die Wechselwirkung zwischen dem Friktionselement 30 und der Reibfläche 14 ist in dem vergrößerten Ausschnitt dargestellt, in dem ersichtlich ist, dass der Brückensteg 28, der in Ruhestellung näherungsweise parallel zur Reibfläche 14 angeordnet ist, bei angeregter Schwingung des Piezoaktors 18 gegenüber der Reibfläche 14 verkippt. Dabei führt das Ende 31 des Friktionselements 30 beispielsweise näherungsweise eine Ellipsenbewegung 32 oder Kreisbewegung aus, mittels derer sich der Piezomotor 12 entlang der linearen Schiene 16 abstößt. Der Piezomotor 12 ist im Bereich von Schwingungsknoten 34 der Piezoaktoren 18 gelagert und beispielsweise mit einem zu bewegenden Teil 11 verbunden. Gleichzeitig wird der Piezomotor 12 über eine Lagerung 36 mit einer Normalkraft 37 gegen die Reibfläche 14 gedrückt. Dadurch führt das Ende 31 des Friktionselements 30 nun eine Ellipsenbewegung 32 aus, die zusätzlich zur Normalkraft 37 eine tangentiale Kraftkomponente 38 aufweist, die den Vorschub des Piezomotors 12 gegenüber der Reibfläche 14 bewirkt. In einer alternativen Ausführung führt das Friktionselement 30 lediglich eine lineare Stoßbewegung unter einem gewissen Winkel zur Normalkraft 37 aus. Dadurch kommt es ebenfalls zu einer Relativbewegung mittels Mikrostößen.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 weist der Piezomotor 12 genau zwei Piezoaktoren 18 auf, die beide näherungsweise parallel zu ihrer Längsrichtung 19 angeordnet sind. Dabei ist der Brückensteg 28 quer zur Längsrichtung 19 angeordnet und verbindet die beiden Piezoaktoren 18 an ihren Stirnseiten 27. Der Brückensteg 28 ist beispielsweise als ebene Platte 29 ausgebildet, in deren Mitte das Friktionselement 30 angeordnet ist. In einer bevorzugten Betriebsweise der piezoelektrischen Antriebsvorrichtung 10 wird für eine Relativbewegung in eine erste Richtung 13 nur einer der beiden Piezoaktoren 18 angeregt. Dabei wirkt der zweite, nicht angeregte Piezoaktor 18 über den Brückensteg 28 als Schwingmasse, aufgrund derer der Brückensteg 28 mit dem Friktionselement 30 gegenüber der Längsrichtung 19 verkippt oder verbogen wird. Entsprechend der Steifigkeit des Aufbaus des Piezomotors 12 wird somit die Längsschwingung 26 des Piezoelements 20 in eine Mikrostoßbewegung mit einer tangentialen Kraftkomponente 38 umgewandelt. Die elektrische Anregung des Piezoelements 20 erfolgt über Elektroden 40, die über ein Kontaktierelement 41 mit einer Elektronikeinheit 42 verbunden sind. Für eine Bewegung des Piezomotors 12 in die entgegengesetzte Richtungen 15 wird entsprechend das Piezoelement 20 des anderen Piezoaktors 18 mittels der Elektronikeinheit 42 angeregt. Bei dieser Betriebsweise ist immer nur ein Piezoelement 20 des Piezomotors 12 angeregt, so dass es zu keiner Überlagerung von zwei Schwingungsanregungen beider Piezoaktoren 18 kommen kann.

Erfindungsgemäß wird die piezoelektrische Antriebsvorrichtung in ihrer Resonanzfrequenz 44 betrieben. Dazu weist die Elektronikeinheit 42 eine Abstimmschaltung 46 auf, die das entsprechende Piezoelement 20 derart ansteuert, dass das gesamte System in Resonanz schwingt. Die Elektronikeinheit 42 kann beispielsweise zumindest teilweise auch innerhalb des Aktorgehäuses 18 oder der Lagerung 36 angeordnet sein. In Fig. 1 sind in den beiden Piezoaktoren 18 jeweils die Amplituden 45 der Resonanzfrequenz 44 der Längsschwingung 26 dargestellt, wobei die beiden Piezoaktoren 18 bei dieser Betriebsweise nicht gleichzeitig angeregt werden. Die maximalen Amplituden 45 entsprechen hier der mechanische Resonanzfrequenz 44.

In Fig. 2 ist eine Variation der Antriebsvorrichtung 10 dargestellt, bei der der Piezomotor 12 in einem Karosserieteil 17 gelagert ist. Hingegen ist die Reibfläche 14 als Umfangsfläche eines Rotationskörpers 48 ausgebildet, so dass durch die Stößelbewegung des Friktionselements 30 der Rotationskörper 48 in Drehung versetzt wird. Entsprechend der zu Fig. 1 beschriebenen Betriebsweise kann die Drehrichtung 49 des Rotationskörpers 48 wiederum durch die Ansteuerung von jeweils nur einem Piezoelement 20 an einem der beiden Piezoaktoren 18 vorgegeben werden. Eine solche Antriebsvorrichtung 10 erzeugt eine Rotation als Antriebsbewegung und kann somit an Stelle eines Elektromotors mit nachgeschaltetem Getriebe eingesetzt werden.

In Fig. 3 ist vergrößert ein Piezoelement 20 abgebildet, wie es beispielsweise im Piezomotor 12 der Fig. 1 oder 2 verwendet werden kann. Das Piezoelement 20 weist mehrere voneinander getrennte Schichten 50 auf, zwischen denen die jeweiligen Elektroden 40 angeordnet sind. Wird an den Elektroden 40 über die Elektronikeinheit 42 eine Spannung 43 angelegt, dehnt sich das Piezoelement 20 in Längsrichtung 19 aus. Die Ausdehnung der einzelnen Schichten 50 addiert sich auf, so dass durch die Anzahl der Schichten 50 die mechanische Gesamtamplitude 45 des Piezoelements 20 in Längsrichtung 19 vorgegeben werden kann. Die Schichten 20 sind dabei quer zur Längsrichtung 19 im Aktorgehäuse 22 angeordnet, so dass der gesamte Piezoaktor 18 durch das Piezoelement 20 in Längsschwingung 26 versetzt wird. Das Piezoelement 20 ist vorzugsweise aus einer Keramik 21 hoher Güte hergestellt, so dass im Resonanzbetrieb des Piezoelements 20 sehr große Amplituden 45 erzeugbar sind.

In Fig. 4 ist ein Modell der piezoelektrischen Antriebsvorrichtung 10 dargestellt, das als Grundlage zur Einstellung der Resonanzfrequenz 44 dient. Dabei ist der Piezoaktor 18 als Schwingkreis 52 dargestellt, in dem eine Induktivität 53 mit einer ersten Kapazität 54

und einer ohmschen Last 55 in Reihe geschaltet sind. Dazu ist eine zweite Kapazität 56 parallel geschaltet. An diesem Schwingkreis 52 wird eine Anregungsspannung 43 mittels der Elektronikeinheit 42 angelegt. Durch die Umwandlung der Längsschwingung 26 des Piezoaktors 18 in die Stößelbewegung des Friktionselements 30 wird die Resonanzfrequenz 44 des Piezoaktors 18 beeinflusst. Weiterhin hängt die Resonanzfrequenz 44 der gesamten Antriebsvorrichtung 10 von der Last 58 ab, die beispielsweise durch das Gewicht des zu verstellenden Teils 11 und/oder der Reibbedingung zwischen dem Friktionselement 30 und der Reibfläche 14 bestimmt wird.

Gemäß diesem Schaltbild stellt sich bei der Anregung der Verstellvorrichtung 10 mittels der Elektronikeinheit 42 ein Frequenzgang ein, wie er in Fig. 5 dargestellt ist. Hierbei ist die Leistung 59 über der Frequenz 69 aufgetragen. Beim Null-Durchgang 61 der dargestellten Blindleistung 62 ergibt sich ein Maximum 63 der Wirkleistung 64. Das Maximum 63 der Wirkleistung 64 tritt bei der Resonanzfrequenz 44 auf, auf die die piezoelektrische Antriebsvorrichtung 10 mittels der Abstimmschaltung 46 geregelt wird. Die Resonanzfrequenz 44 liegt beispielsweise im Bereich zwischen 30 und 80 kHz, vorzugsweise zwischen 30 und 50 kHz.

In Fig. 6 ist das dazugehörige Impedanzverhalten des Piezomotors 12 über den Frequenzgang dargestellt. Der Phasenverlauf 60 der Impedanz der durch den Schwingkreis 52 gemäß Fig. 4 dargestellten Verstellvorrichtung 10 weist einen ersten Null-Durchgang 65 mit positiver Steigung und einen zweiten Null-Durchgang 66 mit negativer Steigung auf, die der Serien- und der Parallelresonanz des Schwingkreises 52 entsprechen. Der Phasenwinkel 68 ist auf der Y-Achse auf der rechten Seite des Diagramms dargestellt. Um die Antriebsvorrichtung 10 im Resonanzbetrieb zu halten – beispielsweise auch bei einer veränderlichen Last 58 - regelt die Abstimmschaltung 46 die Frequenz 69 beispielsweise auf den Null-Durchgang 65 mit positiver Steigung, was elektronisch relativ einfach mittels einer Phasenregelschleife 47 (PLL: Phase Locked Loop) realisierbar ist. Die linke Y-Achse 74 stellt den Betrag 70 der Impedanz dar, wobei der Impedanzverlauf 70 über der Frequenz 69 ein Minimum 71 am ersten Null-Durchgang 65 und ein Maximum 72 am zweiten Null-Durchgang 66 aufweist.

In Figur 7 ist ein weiteres Beispiel einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung 10 dargestellt, bei dem die lineare Schiene 16 als vertikale Führung 9 ausgebildet ist. Der Piezomotor 12 weist ebenso wie in Figur 1 und 2 zwei Piezoaktoren 18 auf, die in Längsrichtung 19 angeordnet sind. Die beiden Piezoaktoren 18 sind mittels eines Brückenstegs 28 miteinander verbunden, wobei dieser beispielsweise einstückig mit den

beiden Aktorgehäusen 22 ausgebildet ist. Am Brückensteg 28 ist wiederum ein Friktionselement 30 ausgebildet, das mit seinem Ende 31 in Reibverbindung mit der Reibfläche 14 der linearen Schiene 16 steht. Das Friktionselement 30 ist hier beispielsweise als gewölbter Stößel 94 ausgebildet, der eine Mikrostoßbewegung gegenüber der Schiene 16 ausführt. Im Inneren der beiden Aktorgehäuse 22 ist als Piezoelement 20 jeweils eine Piezokeramik 21 angeordnet, die in Längsrichtung 19 eine größere Ausdehnung aufweist, als in der Querrichtung 24. Die Piezoelemente 20 sind in Längsrichtung 19 mechanisch vorgespannt, wozu diese innerhalb eines Hohlraums 23 mittels Spannelementen 95 festgeklemmt sind. Die Spannelemente 95 sind beispielsweise als Schrauben 96 ausgebildet, die direkt in ein Gewinde des Aktorgehäuses 22 einschraubbar sind. Die Antriebsvorrichtung 10 ist hier als Fensterheberantrieb ausgebildet, bei dem der Piezomotor 12 mit dem zu verstellenden Teil 11 verbunden ist, das hier als Scheibe ausgebildet ist. Zur Ausführung einer Relativbewegung in erster Bewegungsrichtung 13 (Heben) wird gemäß dieser Ausführung nur der untere Piezoaktor 18u mittels der Elektronikeinheit 42 angesteuert. Durch die Anregung des unteren Piezoelements 20 führt das Friktionselement 30 eine Stoßbewegung oder Ellipsenbewegung 32 aus, wodurch sich der Piezomotor 12 mittels einer tangentialen Kraftkomponente 38 entlang der ersten Bewegungsrichtung 13 abstößt. Aufgrund der mechanischen Hysterese des am Piezoaktor 18 angeordneten Brückenstegs 28 wird die angeregte Längsschwingung 26 in eine elliptische Bewegung des Stößels 94 umgewandelt, die entsprechend den Systemparametern von einer reinen Linearbewegung abweicht. Dabei wird der Piezomotor 12 in Längsrichtung 19 mit einer Normalkraft 37 gegen die Reibfläche 14 gepresst.

Während der untere Piezoaktor 18u angeregt wird, wird an den oberen Piezoaktor 18o kein Anregungssignal 93 angelegt. Somit kann mit einer einzigen Elektronikeinheit 42, mit einer einzigen Abstimmschaltung 46 zeitlich nacheinander entweder der untere Piezoaktor 18u zum Heben des Teils 11 oder der obere Piezoaktor 18u zum Senken des Teils 11 angesteuert werden. Daher gibt es keine Überlagerung mehrerer Anregungssignale 93, wodurch der Piezomotor 12 immer nur einphasig angesteuert wird. Dabei kann für die Anregung des unteren Piezoaktors 18u und für die Anregung des oberen Piezoaktors 18o das identische Anregungssignal 93 verwendet werden, das durch die Abstimmschaltung 46 der Elektronikeinheit 42 generiert wird.

In Fig. 8a und 8b ist jeweils ein Piezomotor 12 in Explosionsdarstellung gezeigt, wobei zwei Piezoaktoren 18 mittels dem Brückensteg 28 miteinander verbunden sind. Die Piezoaktoren 18 weisen in Längsrichtung 19 eine größere Ausdehnung auf als in

Querrichtung 24 und sind im Wesentlichen parallel zueinander angeordnet. Das Brückenelement 28 ist näherungsweise senkrecht zur Längsrichtung 19 angeordnet und erstreckt sich in etwa parallel zur korrespondierenden Reibfläche 14, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist. In den Ausführungsbeispielen der Fig. 8a und 8b ist der Brückensteg 28 und das Friktionselement 30 jeweils als separates Bauteil ausgebildet, das dann mit dem Aktorgehäuse 22 zusammenmontiert wird. Dazu weist der Brückensteg 28 Aussparungen 4 auf, in die Spannelement 95 zur Erzeugung einer Vorspannung für das Piezoelement 20 einfügbar sind. In Fig. 8a besteht das Piezoelement 20 aus einer Stapel-Keramik 103, bei der mehrere Keramikringe 105 in Längsrichtung 19 aufeinander gestapelt werden und mittels dem Spannelement 95 gegeneinander verklemmt werden. Das Spannelement 95 ist beispielsweise als Schraube 96 ausgebildet, die einerseits in die Aussparung 4 einschraubbar oder einfügbar ist, und andererseits im Aktorgehäuse 22 eingeschraubt werden kann. Das Aktorgehäuse 22 ist beispielsweise als zylindrische Gehäusehülse 25 ausgebildet, die in Fig. 8a etwa einen gleichen Außendurchmesser aufweist, wie die Stapel-Keramik 103. In Fig. 8b hingegen ist das Piezoelement 20 als Multilayer-Keramik 104 ausgebildet, die einen geringeren Außendurchmesser aufweist als das Aktorgehäuse 22. Das Piezoelement 20 ist hierbei komplett im Hohlraum 23 des Aktorgehäuses 22 aufgenommen. Dabei ist das Piezoelement 20 mittels eines Isolierelements 106 gegenüber dem Aktorgehäuse 22 elektrisch isoliert. Das Aktorgehäuse 22 weist beispielsweise ein Innengewinde auf, in das die schraubenförmige Spannelemente 95 eingeschraubt werden. Das Brückenelement 28 weist eine weitere Aussparung 5 auf, in die das Friktionselement 30 eingefügt wird. Das Friktionselement 30 ist als Stößel 94 ausgebildet, der in Längsrichtung 19 eine größere Ausdehnung aufweist als in Querrichtung 24. Der Stößel 94 weist eine Stoßfläche 101 auf, die sich im wesentlichen parallel zum Brückensteg 28 und parallel zur korrespondierenden Reibfläche 14 erstreckt. Das Friktionselement 30 ist etwa in der Mitte zwischen den beiden Piezoaktoren 18 angeordnet und weist einen Abstand 2 zur Mittelachse 89 der Piezoaktoren 18 auf. Zur Lagerung der Piezoaktoren 18 mittels des Lagerelements 36 (siehe Fig. 1) ist am Aktorgehäuse 22 eine Aufnahme 107 ausgeformt, die beispielsweise als Ringnut 108 ausgebildet ist. Die Aufnahme 107 ist vorzugsweise im Bereich des Schwingungsknoten 34 des Piezoaktors 18 angeordnet. Alternativ zur zylindrischen Ausbildung des Aktorgehäuses 22 kann dieses auch einen viereckigen Querschnitt aufweisen, wie dies beispielsweise in Fig. 1 und 2 gezeigt ist.

In Fig. 9A ist eine alternative Ausführung des Brückenstegs 28 dargestellt, wobei dieser als gelenkig an den Piezoaktor 18 angebundene biegesteife Platte 6 – bzw. Balken - ausgebildet ist. Um ein leichteres Verkippen des Brückenstegs 28 zu ermöglichen, weist

die Platte 6 Bereiche 7 mit einem verringerten Materialquerschnitt auf. Diese Bereiche 7 sind quasi als gelenkige Bereiche ausgebildet, die ein Abknicken der Platte 6 ermöglichen. Dazu werden beispielsweise Schlitze 1 – insbesondere über die gesamte Breite des Brückenstegs 28 - in den Brückensteg 28 ausgeformt, deren Anzahl und Tiefe die Beweglichkeit des Brückenstegs 28 bestimmen. Eine alternative Ausführung des Brückenstegs kann durch eine kontinuierliche Veränderung des Materialquerschnitts über die Länge des Brückenstegs 28 ausgebildet werden, oder als biegeweiche Platte ausgebildet werden, wobei entsprechend biegeweiche Materialien verwendet werden. Zwischen den gelenkigen Bereichen kann biegesteifes oder biegeweiches Material angeordnet werden.

In Fig. 9B sind schematisch verschiedene Schwingungsformen des Piezomotors 12 dargestellt, die durch entsprechende Festlegung der Biegesteifigkeit des Brückenstegs 28 beziehungsweise des Aktorgehäuses 22 und dessen Zusammenbau bestimmt wird. Wird beispielsweise nur ein Piezoaktor 18 (links) mittels des Piezoelements 20 in Längsschwingung 26 versetzt, bewegt sich das obere Ende 109 des Piezoaktors 18 mit einer entsprechenden Amplitude 45 in Längsrichtung 19. Der zweite, nicht angeregte Piezoaktor 18 (rechts) wirkt zusammen mit dem Brückensteg 28 als passive Masse, die nur durch den ersten Piezoaktor 18 angeregt wird. Ist der Brückensteg 28 gelenkig angebunden und relativ biegesteif ausgebildet, so führt dieser auf der linken Seite eine Schwingung in Längsrichtung 19 aus, die stärker ist als auf der rechten Seite des Brückenstegs 28. Dies ist schematisch durch die eingezeichnete mechanische Schwingungsamplitude 110 des Brückenstegs 28 dargestellt. Dabei schwingt auch das Friktionselement 30 vorrangig in Längsrichtung 19. Jedoch hängen auch hier die Bewegungskomponenten des Friktionselements 30 und des Brückenstegs 28 von dem Abgleich der Resonanzfrequenzen der beiden Piezoaktoren 18 ab, so dass durch eine gezielte Verstimmung des Gesamtsystems auch eine Bewegungskomponente in Querrichtung 24 erzeugt werden kann. Eine solche Schwingungsform des Friktionselements 30 wird als „Tilting beam“ bezeichnet. Werden hingegen bei einem gelenkig angebundenen biegesteifen Brückensteg 28 beide Piezoaktoren 18 gleichzeitig mit einem Phasenversatz angeregt (2-phasig), beispielsweise 90° versetzt, bewirkt dies ein Verkippen des Brückenstegs 28 um dessen Mittelpunkt, so dass das Friktionselement 30 eine so genannte „Shaking Beam“-Schwingung ausführt. Der Betrag und die Richtung der Relativbewegung an dem Friktionselement 30 und der Reibfläche 14 kann dabei durch die Einstellung des Phasenversatzes gesteuert werden.

Wird hingegen ein biegeweicher Brückensteg 28, beispielsweise eine biegeweiche Platte 6 verwendet, kann durch die Anregung eines Piezoaktors 18 in Längsschwingung 26 eine so genannte „La Ola"-Schwingung des Friktionselements 30 erzielt werden. Durch die Überlagerung von Biege- und Längsschwingung 26 bildet sich dann eine elliptische Bewegung des Friktionselements 30 aus. Hierbei kann die Biegebewegung des Brückenstegs 28 resonant abgestimmt werden, dies ist aber nicht zwingend notwendig ist. Die La Ola-Schwingung ist in Fig. 9B durch den Amplitudenverlauf 111 der mechanischen Schwingungen des Brückenstegs 28 dargestellt.

Die Steifigkeit des Brückenstegs 28 mit dem Aktorgehäuse 22 ist nicht zwangsläufig gleich mit der Steifigkeit des Piezoelements 20. Daher können beide Teile zwei verschiedene Antwortzeiten bezüglich ihrer Eigenschwingung haben, so dass bei zu niedriger Vorspannkraft das Risiko besteht, dass sich das Piezoelement 20 schneller zusammenzieht, als das Aktorgehäuse 22. Eine zu hohe Vorspannkraft hingegen würde die Schwingungsamplitude im quasistatischen Bereich zu sehr reduzieren. Daher wird die Vorspannung derart eingestellt, dass im Piezoelement 20 keine Zugkräfte im angeregten Zustand auftreten und dennoch möglichst hohe Schwingungsamplituden 45 im Resonanzbetrieb erzielt werden können. Die Spannelement 95 dienen auch zur Ableitung der im Piezoelement 20 generierten Wärme und sind daher aus einem Material mit guter Wärmeleitfähigkeit gefertigt.

In Fig. 10a und 10b ist nochmals schematisch dargestellt, wie durch die Bewegung des Friktionselements 30 eine Relativbewegung zur Reibfläche 14 erzeugt wird. Das Friktionselement 30 weist beispielsweise eine gewölbte Stoßfläche 101 auf, die jedoch im Bereich der Auflage an der Reibfläche 14 im wesentlichen parallel zu dieser ausgebildet ist. Dabei kann die Auflage als punkt- oder linienförmige Kontaktfläche ausgebildet sein. Das Friktionselement 30 wird mit der Normalkraft 37 gegen die Reibfläche 14 gedrückt. Der Normalkraft 37 wird die Stoß- oder Ellipsenbewegung 32 des Friktionselements 30 überlagert. Dabei tritt eine tangentiale Kraftkomponente 38 auf, die aufgrund der Reibung eine Relativbewegung entsprechend der Richtungen 13 oder 15 bewirkt. Dazu kann einerseits das Friktionselement 30 eine spezielle Beschichtung 102 aufweisen, die den Reibwert erhöht, und den Verschleiß der bewegten Teile reduziert. Ebenso kann andererseits die Reibfläche 14 eine spezielle Beschichtung 102 oder Oberflächenbeschaffenheit aufweisen, um die Reibpaarung zwischen der Reibfläche 14 und dem Friktionselement 30 zu verbessern. In Fig. 10b ist symbolisch beispielsweise die Ellipsenbewegung 32 des Friktionselements 30 dargestellt, die aufgrund der

Reibpaarung zwischen dem Friktionselement 30 und der Reibfläche 14 in eine lineare Relativbewegung 13, 15 umgesetzt wird.

Es sei angemerkt, dass hinsichtlich der in den Figuren und der in der Beschreibung gezeigten Ausführungsbeispiel vielfältige Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Merkmale untereinander möglich sind. So kann beispielsweise die konkrete Ausbildung der Piezoaktoren 18, 8 deren Aktorgehäuse 22, der Piezolemente 20 (Monoblock, Stapel- oder, Multilayer), des Brückenstegs 28 und des Friktionselements 30 entsprechend der Anwendung variiert werden. Dabei kann die Stößelbewegung als reine Stoßbewegung oder als im wesentlichen elliptische oder kreisförmige Bewegungsbahn ausgebildet sein, wobei entsprechend der Querkomponente der Kraftübertragung die Reibpaarung zwischen dem Friktionselement 30 und der Reibfläche 14 eine höhere oder geringere Reibzahl aufweist. Dabei stellt die reine lineare Stößelbewegung den Grenzfall der Ellipsenbewegung dar. Als Grenzfall ist auch eine Ausbildung mit reinem Formschluss möglich, bei dem das Friktionselement 30 ohne Reibung in eine entsprechende Aussparung, beispielsweise in eine Mikroverzahnung des Antriebselements, z.B. der linearen Führungsschiene 16 oder des Rotationskörpers 48 greift. Der Winkel zwischen den Piezoaktoren 18 kann in einer alternativen Ausgestaltung auch von etwa 0° abweichen und bis zu 100° betragen. Ebenso kann die Längsrichtung des Stößels 94 unter einem Winkelbereich von 40° bis 90° zum Brückensteg 18 angeordnet werden, wobei auch die Stoßfläche 101 des Stößels 94 einen Winkel zur Reibfläche 14 und/oder zum Brückensteg 28 bilden kann. In einer weiteren Variation kann der Piezoaktor 18 auch mit einer Biegeschwingung betrieben werden, die sich beispielsweise mit der Längsschwingung 26 überlagert. Ebenso können bei mehr als zwei Piezoaktoren 18 die entsprechenden Schwingungen mehrerer Piezoaktoren eines Piezomotors 12 gleichzeitig ein- oder mehrphasig angeregt werden, wodurch eine Überlagerung dieser Schwingungen eine Stößelbewegung bewirkt, die das Antriebselement in Bewegung versetzt. Bevorzugt wird die erfindungsgemäße Antriebseinheit 10 zu Verstellung beweglicher Teile 11 im Kraftfahrzeug verwendet, ist jedoch nicht auf eine solche Anwendung beschränkt.

Ansprüche

1. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) zum Verstellen von beweglichen Teilen (11), insbesondere im Kraftfahrzeug, mit mindestens einem Piezomotor (12), der mindestens einen Piezoaktor (18) aufweist, wobei mittels mindestens eines Friktionselements (30) des Piezomotors (12) eine Relativbewegung bezüglich einer dem Friktionselement (30) gegenüberliegenden Reibfläche (14) erzeugbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Friktionselement (30) an einem Brückensteg (28) des Piezomotors (12) angeordnet ist, der das Friktionselement (3) mit einem Abstand (2) zur in Längsrichtung (19) verlaufenden Mittelachse (89) des mindestens einen Piezoaktors (18) positioniert.

2. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Brückensteg (28) näherungsweise senkrecht zur Längsrichtung (19) erstreckt und sich das Friktionselement (30) näherungsweise in Längsrichtung (19) erstreckt.

3. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das mindestens eine Friktionselement (30) eine Stoßfläche (101) aufweist, die zur Übertragung einer Antriebskraft mit der Reibfläche (14) zusammenwirkt, wobei die Stoßfläche (101) – insbesondere im Ruhezustand des Piezomotors (12) - im wesentlichen senkrecht zur Längsrichtung (19) ausgerichtet ist.

4. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Piezoaktoren (18) näherungsweise bezüglich ihrer Längsrichtung (19) parallel zueinander mit einem Abstand (2) zueinander angeordnet sind und mittels des Brückenstegs (28) miteinander verbunden sind.

5. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Friktionselement (30) als stößelartiger Fortsatz (94) in Längsrichtung (19) an dem Brückensteg (28) befestigt ist, vorzugsweise etwa mittig zwischen den beiden Piezoaktoren (18).

6. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stoßfläche (101) gewölbt ausgebildet ist, und insbesondere eine Oberfläche (102) mit einem erhöhten Reibwert aufweist.

7. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brückensteg (28) als separat gefertigte, ebene Platte ausgebildet ist, auf der insbesondere das separat gefertigte Friktionselement (30) befestigbar ist.

8. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Piezoaktor (18) eine Gehäusehülse (25) aufweist, in deren Hohlraum (23) das Piezoelement (20) gegen die Gehäusehülse (25) elektrisch isoliert angeordnet ist.

9. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brückensteg (28) einteilig mit der Gehäusehülse (25) des mindestens einen Piezoaktors (18) und insbesondere einteilig mit dem Friktionselement (30) ausgebildet ist.

10. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Piezoelement (20), das insbesondere als Multilayer-Keramik (104) oder Stapelkeramik (103) ausgebildet ist, mittels Spannelementen (95) im Aktorgehäuse (22) vorgespannt ist.

11. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brückensteg (28) mindestens eine Aussparung (4) – insbesondere mit einem Gewinde - aufweist, in die das Spannelement (95) – insbesondere eine Schraube (96) - in Längsrichtung (19) hinein ragt.

12. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brückensteg (28) als biegeweiche Platte (6) ausgebildet ist, die insbesondere Bereiche mit einer reduzierten Materialstärke (7) aufweist.

13. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Brückensteg (28) als gelenkig mit mindestens einen der Piezoaktoren (18) verbundene Platte (6) ausgebildet ist, deren Bereiche zwischen den gelenkigen Verbindungen biegesteif oder biegeweich ausgebildet sind.

14. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Friktionselement (30) in Abhängigkeit der Ausbildung der Biegesteifigkeit des Brückenstegs (28) eine reine Stoßbewegung oder eine elliptische Bahnbewegung (32) ausführt.

15. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Friktionselement (30) sich mittels Reibschluß und/oder Formschluß – insbesondere mittels einer formschlüssigen Mikrostruktur - an der Reibefläche (14) abstößt.

16. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezomotor (12) an dem beweglichen Teil (11) angeordnet ist, und die Reibfläche (14) ortsfest ausgebildet ist, oder dass der Piezomotor (12) an ortsfest angeordnet ist, und die Reibfläche (14) an dem beweglichen Teil (11) angeordnet ist.

17. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Piezoelement (20) Elektroden (40) aufweist, die am Aktorgehäuse (22) ein Kontaktierelement (41) aufweisen mittels dem das Piezoelement (20) mit einer Elektronikeinheit (42) zur Ansteuerung der Piezokeramik (21) verbindbar ist.

18. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der mindestens eine Piezoaktor (18) in Längsschwingung (26) - insbesondere ausschließlich in Längsrichtung (19) ohne Querkomponenten – anregbar ist, und der mindestens eine Piezoaktor (18) in einem Schwingungsknoten (34) gelagert und mit einer Normalkraft (37) gegen die Reibfläche (14) gedrückt wird.

19. Piezoelektrische Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Piezomotor (12) genau zwei

Piezoaktoren (18) aufweist, wobei für eine erste Bewegungsrichtung (13) der Relativbewegung nur der eine Piezoaktor (18u) und für die entgegengesetzte Bewegungsrichtung (15) nur der andere Piezoaktor (18o) – vorzugsweise jeweils im Resonanzbetrieb - betätigt wird.

20. Verfahren zum Betreiben einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Piezomotor (12) im Bereich seiner Resonanzfrequenz (44) betrieben wird.

21. Verfahren zum Betreiben einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass zwei Piezoaktoren (18) eines Piezomotors (12) mittels eines biegeweichen Brückenstegs (28) miteinander verbunden sind und die beiden Piezoaktoren (18) deutlich unterschiedliche Resonanzfrequenzen aufweisen, so das bei der Anregung nur eines der beiden Piezoaktoren (18) der andere nichtangeregte Piezoaktor (18) als feste Einspannung des Brückenstegs (28) agiert.

22. Verfahren zum Betreiben einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass pro Bewegungsrichtung (13, 15) nur einer der beiden Piezoaktoren (18) – insbesondere ausschließlich in Längsrichtung (19) – angeregt wird, und sich im Brückensteg (28) eine Biegewelle ausbildet, wobei die Biegebewegung nicht resonant abgestimmt werden braucht.

23. Verfahren zum Betreiben einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass zwei Piezoaktoren (18) eines Piezomotors (12) mittels eines biegesteifen Brückenstegs (28) miteinander verbunden sind und die beiden Piezoaktoren (18) voneinander abweichende Resonanzfrequenzen aufweisen, so dass bei der Anregung nur eines der beiden Piezoaktoren (18) der Brückenstegs (28) mit dem Friktionselement (30) näherungsweise eine Ellipsenbewegung ausführt.

24. Verfahren zum Betreiben einer piezoelektrischen Antriebsvorrichtung (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die näherungsweise identischen Resonanzfrequenzen leicht gegeneinander verstimmt werden, so dass die Stoßbewegung eine zusätzliche Bewegungskomponente in Querrichtung (24) aufweist.

FIG. 1

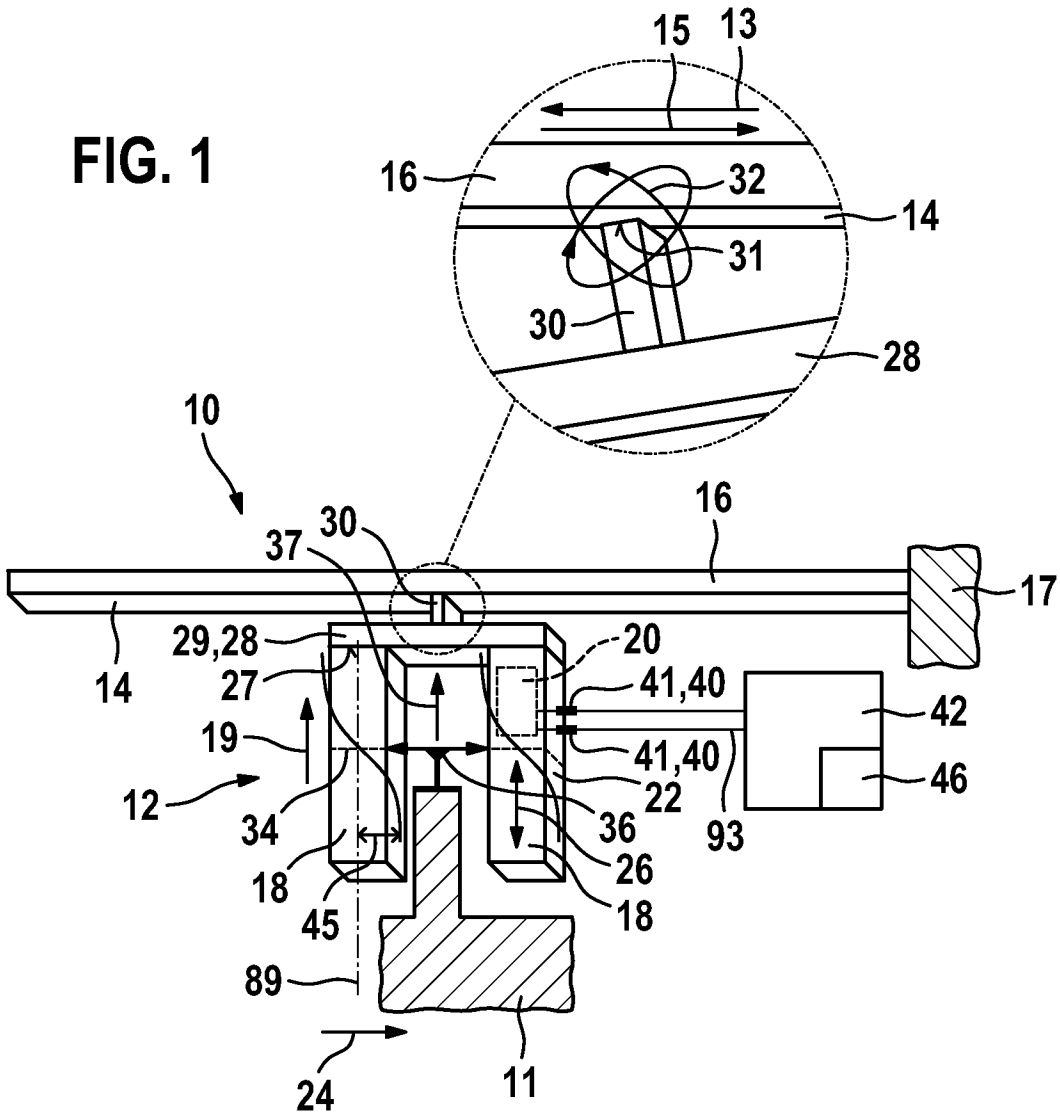


FIG. 2

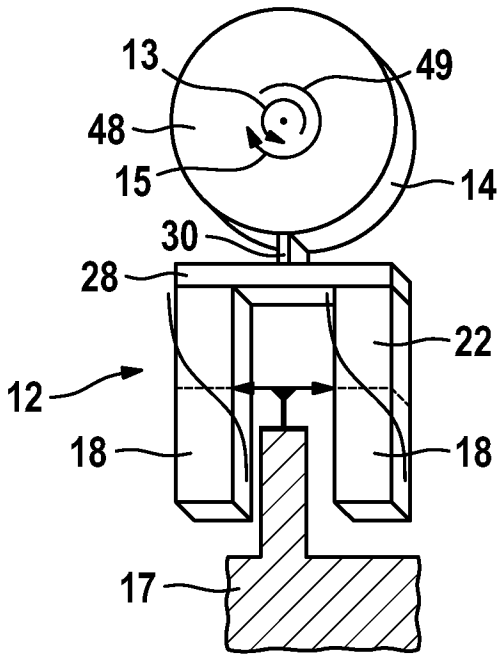


FIG. 3

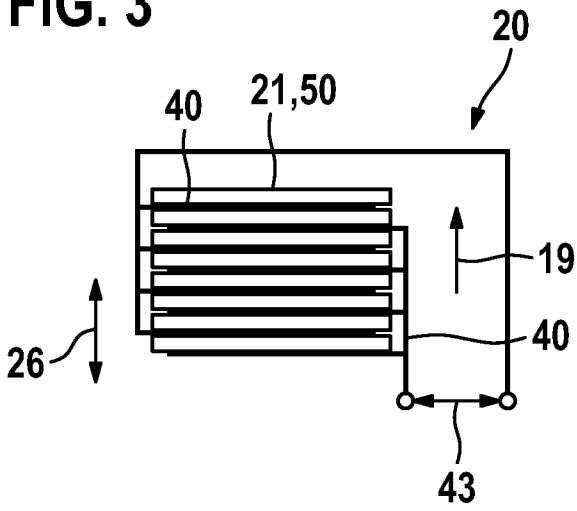


FIG. 4

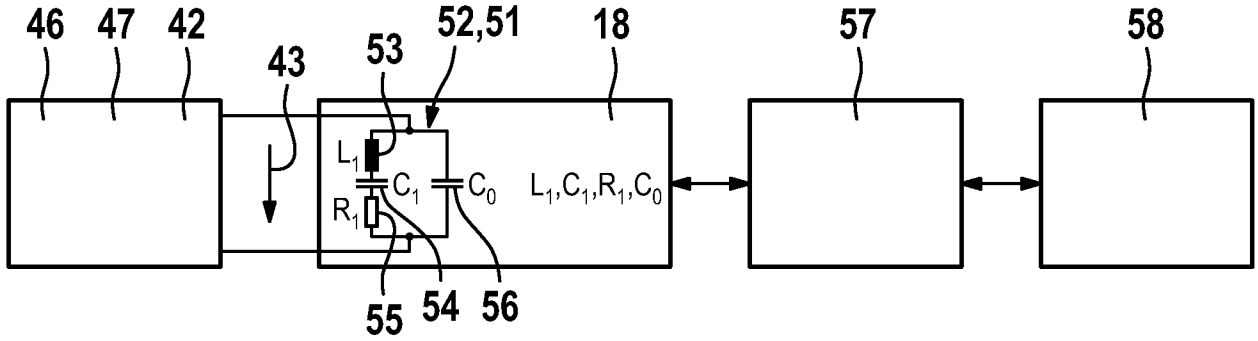


FIG. 5

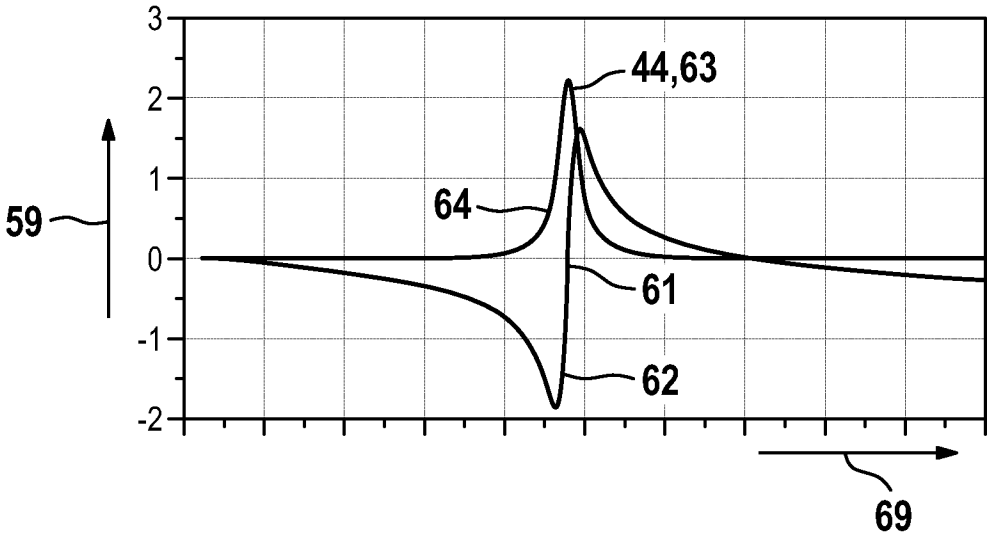


FIG. 6

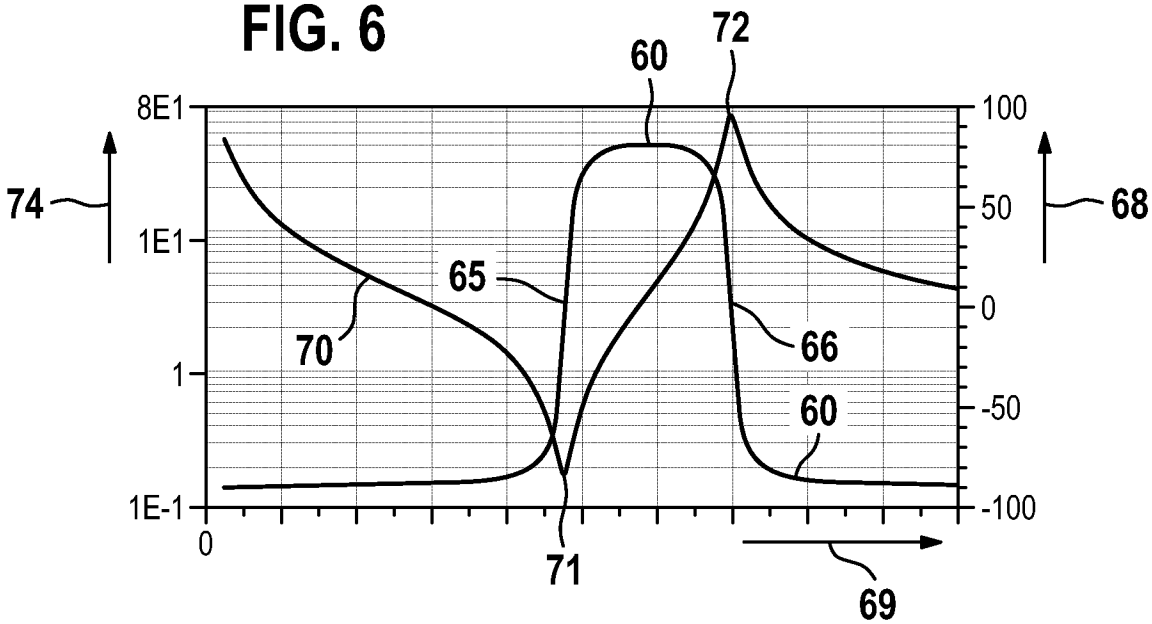


FIG. 7

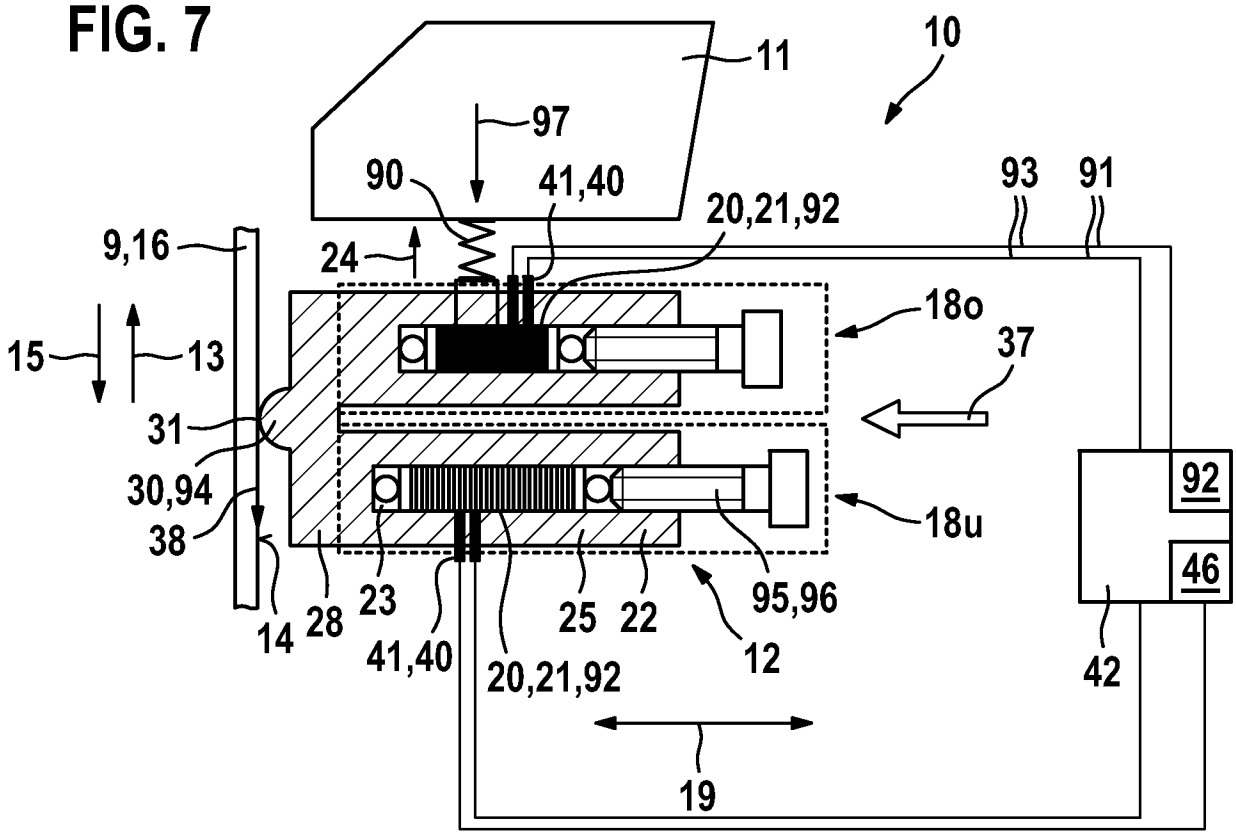


FIG. 8A

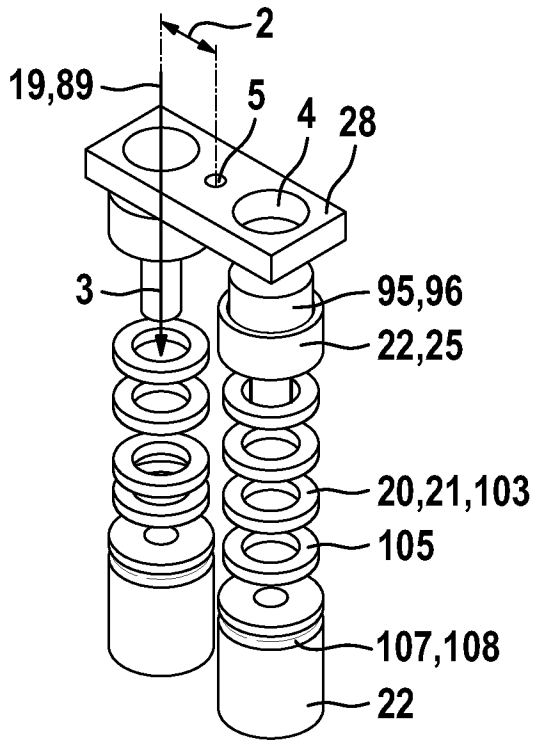


FIG. 8B

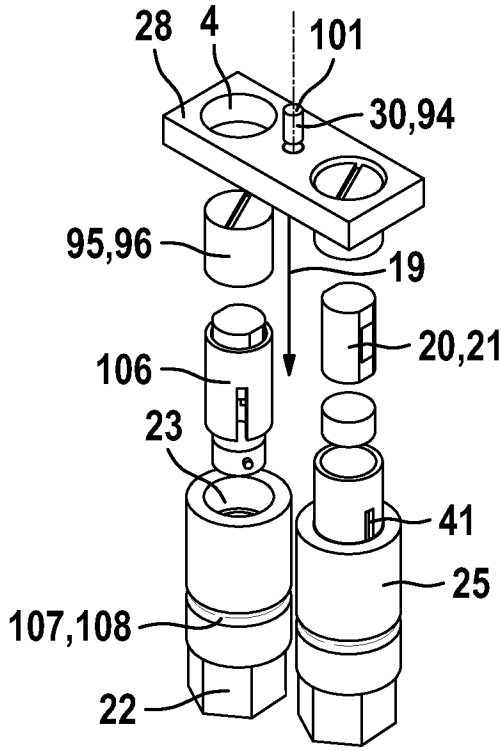


FIG. 9A

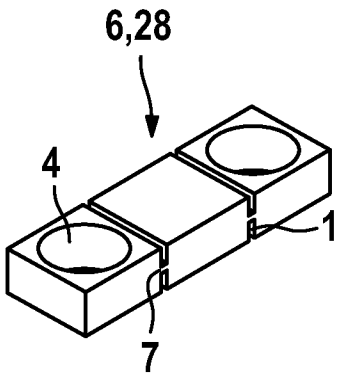


FIG. 9B

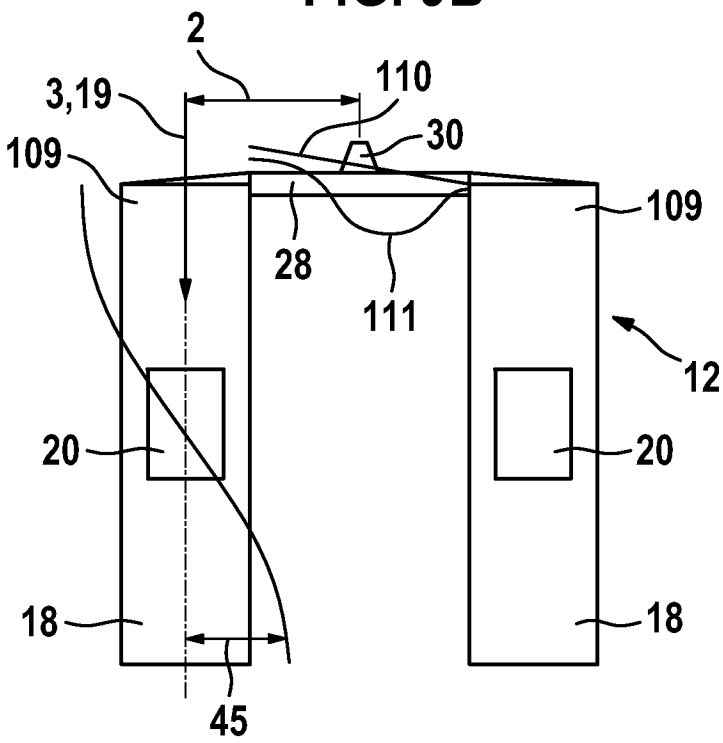


FIG. 10A

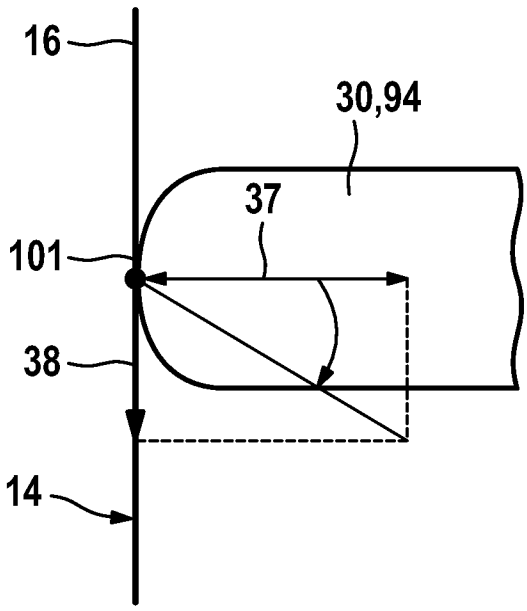
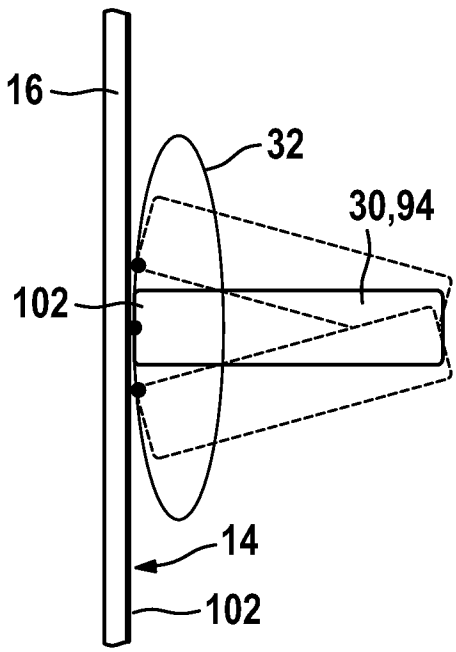


FIG. 10B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/055245

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L41/09 B60J1/17

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L B60J

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2004/251782 A1 (JOHANSSON STEFAN [SE] ET AL) 16 December 2004 (2004-12-16) paragraph [0025] - paragraph [0058]; figures 1-11	1-10, 12-24 11
X Y	DE 44 45 642 A1 (MARCO SYSTEMANALYSE ENTW [DE]) 27 June 1996 (1996-06-27) column 3, line 18 - column 7, line 68; figures 1-10	1-10,14, 15,17-19 11
Y	DE 199 06 468 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31 August 2000 (2000-08-31) column 1, line 17 - line 41 column 2, line 42 - column 4, line 6	11
Y	US 3 360 665 A (BOSWELL VANCE F) 26 December 1967 (1967-12-26) column 1, line 32 - line 51	11

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
4 August 2008	13/08/2008

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Gröger, Andreas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/055245

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005/073219 A1 (JOHANSSON STEFAN [SE]) 7 April 2005 (2005-04-07) paragraph [0025] - paragraph [0057]; figures 1-10	1,4-6, 12-22,24
X Y	EP 1 152 522 A (SIEMENS AG [DE]) 7 November 2001 (2001-11-07) paragraph [0035] - paragraph [0063]; figures 1-10	1-6,8, 10,14-19 11
A	WO 98/21760 A (MERITOR LIGHT VEHICLE SYS LTD [US]) 22 May 1998 (1998-05-22) the whole document	1-24
X,P	EP 1 806 793 A (SONY CORP [JP]) 11 July 2007 (2007-07-11) the whole document	1-24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/055245

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2004251782 A1	16-12-2004	CN 1833351 A	13-09-2006
		EP 1636898 A1	22-03-2006
		JP 2006527581 T	30-11-2006
		KR 20060055465 A	23-05-2006
		WO 2004112232 A1	23-12-2004
DE 4445642 A1	27-06-1996	AT 177561 T	15-03-1999
		WO 9619836 A1	27-06-1996
		EP 0799502 A1	08-10-1997
		JP 10511503 T	04-11-1998
		US 5900691 A	04-05-1999
DE 19906468 A1	31-08-2000	WO 0049666 A1	24-08-2000
		EP 1076918 A1	21-02-2001
		JP 2002537531 T	05-11-2002
		US 6326717 B1	04-12-2001
US 3360665 A	26-12-1967	NONE	
US 2005073219 A1	07-04-2005	EP 1676326 A1	05-07-2006
		JP 2007507997 T	29-03-2007
		KR 20060097723 A	14-09-2006
		WO 2005031888 A1	07-04-2005
EP 1152522 A	07-11-2001	DE 10021863 A1	15-11-2001
WO 9821760 A	22-05-1998	EP 0947004 A1	06-10-1999
		JP 2001504319 T	27-03-2001
		US 5780956 A	14-07-1998
EP 1806793 A	11-07-2007	CN 101001056 A	18-07-2007
		JP 2007185056 A	19-07-2007
		KR 20070075307 A	18-07-2007
		US 2007182281 A1	09-08-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/055245

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H01L41/09 B60J1/17

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H01L B60J

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X Y	US 2004/251782 A1 (JOHANSSON STEFAN [SE] ET AL) 16. Dezember 2004 (2004-12-16) Absatz [0025] - Absatz [0058]; Abbildungen 1-11	1-10, 12-24 11
X Y	DE 44 45 642 A1 (MARCO SYSTEMANALYSE ENTW [DE]) 27. Juni 1996 (1996-06-27) Spalte 3, Zeile 18 - Spalte 7, Zeile 68; Abbildungen 1-10	1-10,14, 15,17-19 11
Y	DE 199 06 468 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31. August 2000 (2000-08-31) Spalte 1, Zeile 17 - Zeile 41 Spalte 2, Zeile 42 - Spalte 4, Zeile 6	11
Y	US 3 360 665 A (BOSWELL VANCE F) 26. Dezember 1967 (1967-12-26) Spalte 1, Zeile 32 - Zeile 51	11

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
4. August 2008	13/08/2008

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Gröger, Andreas

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/073219 A1 (JOHANSSON STEFAN [SE]) 7. April 2005 (2005-04-07) Absatz [0025] - Absatz [0057]; Abbildungen 1-10	1,4-6, 12-22,24
X Y	EP 1 152 522 A (SIEMENS AG [DE]) 7. November 2001 (2001-11-07) Absatz [0035] - Absatz [0063]; Abbildungen 1-10	1-6,8, 10,14-19 11
A	WO 98/21760 A (MERITOR LIGHT VEHICLE SYS LTD [US]) 22. Mai 1998 (1998-05-22) das ganze Dokument	1-24
X,P	EP 1 806 793 A (SONY CORP [JP]) 11. Juli 2007 (2007-07-11) das ganze Dokument	1-24

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/055245

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004251782 A1	16-12-2004	CN 1833351 A	13-09-2006
		EP 1636898 A1	22-03-2006
		JP 2006527581 T	30-11-2006
		KR 20060055465 A	23-05-2006
		WO 2004112232 A1	23-12-2004
DE 4445642 A1	27-06-1996	AT 177561 T	15-03-1999
		WO 9619836 A1	27-06-1996
		EP 0799502 A1	08-10-1997
		JP 10511503 T	04-11-1998
		US 5900691 A	04-05-1999
DE 19906468 A1	31-08-2000	WO 0049666 A1	24-08-2000
		EP 1076918 A1	21-02-2001
		JP 2002537531 T	05-11-2002
		US 6326717 B1	04-12-2001
US 3360665 A	26-12-1967	KEINE	
US 2005073219 A1	07-04-2005	EP 1676326 A1	05-07-2006
		JP 2007507997 T	29-03-2007
		KR 20060097723 A	14-09-2006
		WO 2005031888 A1	07-04-2005
EP 1152522 A	07-11-2001	DE 10021863 A1	15-11-2001
WO 9821760 A	22-05-1998	EP 0947004 A1	06-10-1999
		JP 2001504319 T	27-03-2001
		US 5780956 A	14-07-1998
EP 1806793 A	11-07-2007	CN 101001056 A	18-07-2007
		JP 2007185056 A	19-07-2007
		KR 20070075307 A	18-07-2007
		US 2007182281 A1	09-08-2007