



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 033 780.6**

(22) Anmeldetag: **17.07.2009**

(43) Offenlegungstag: **20.01.2011**

(51) Int Cl.⁸: **F16K 31/02** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Epainters GbR (vertretungsberechtigte
Gesellschafter Burkhard Büstgens, 79194
Gundelfingen und Suheel Roland Georges, 79102
Freiburg), 79110 Freiburg, DE**

(72) Erfinder:

**Büstgens, Burkhard, 79194 Gundelfingen, DE;
Georges, Suheel Roland, 79102 Freiburg, DE**

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

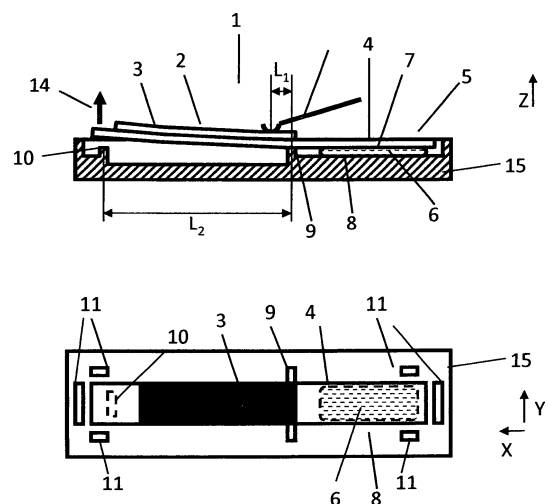
| | | |
|-----------|-------------------|-----------|
| DE | 295 14 495 | U1 |
| US | 65 81 638 | B2 |
| EP | 148 630 | B1 |
| EP | 538 236 | A1 |

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Arbeitsvorrichtung für Ventile und Stelleinrichtungen**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine miniaturisierbare, dabei gleichzeitig einfach und kostengünstig zu fertigende Arbeitsvorrichtung insbesondere zur Verwendung in einem Fluidventil vorgestellt, welche dazu geeignet ist, reproduzierbare Stellbewegungen schnell und präzise auszuführen, unbeeinflusst von Störeinflüssen infolge von Temperaturänderungen und mechanischen Verformungen im Gehäuse. Die erfindungsgemäße Arbeitsvorrichtung enthält ein Fluidlager 5 mit einer ersten Fläche 7, die dem Biegewandlerelement 2 zugeordnet ist, einer zweiten Fläche 8, die dem Gehäuse 15 zugeordnet ist und einem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial 6 zwischen den Flächen, zur Übertragung der aus der Stellbewegung 14 resultierenden Reaktionskräfte oder -momente vom Biegewandlerelement 2 auf das Gehäuse 15.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Miniatur-Piezo-Biegegliederelement, insbesondere ein Miniatur-Ventilsystem zur Steuerung von Fluiden mittels eines Piezo-Biegegliederelements mit kurzer Ansprechzeit.

[0002] Piezo-Biegeglieder sind Aktuatoren zur Erzeugung einer Stellbewegung in einem nicht-gelockerten Bereich und sind aus mehreren Materialschichten mit mindestens einer piezoelektrischen Schicht aufgebaut. Die Schichten weisen insbesondere in Monomorph-Konfiguration unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten auf. Bei Temperaturänderungen, aber auch bei betriebsbedingten Gehäuse-Verformungen oder Alterungsprozessen können Störauslenkungen sich der nutzbaren Stellbewegung in gleicher Größenordnung überlagern und somit die Funktion des Aktuators stark beeinträchtigen.

[0003] US 6,581,638 beschreibt ein Ventil mit einer zusammenhängenden piezoelektrischen Biegegliedereinheit, die aus zwei an einer Drehlagerung zusammenhängenden Biegeelementen mit gemeinsamer Trägerschicht besteht. Die Biegegliedereinheit weist im Vergleich zu einem einfachen Biegegliederelement einen vergrößerten Ventilhub auf. Als weiterer Vorteil dieser Konfiguration geht aus US 6,581,638 hervor, dass infolge der Drehlagerung und des gleichartigen Aufbaus der beiden Biegeelemente eine automatische selbsttätige Lagekorrektur bei temperaturbedingten Verformungen der Biegeelemente stattfindet. Im Vergleich zu konventionellen piezoelektrischen Biegeelementen nachteilig ist allerdings die doppelte Baubreite, was beispielsweise ungünstig für den Einsatz in Ventilarrays mit geringem Kanalabstand ist. Nachteilig ist auch die technisch aufwändige Herstellung der Biegegliedereinheit.

[0004] Um langsam auftretende Störbewegungen infolge von Temperaturänderungen, Alterung oder mechanischen Verspannungs- oder Kriechzustände auszugleichen, wird in EP 148630 die Einfügung einer Kraftübertragungseinrichtung in den Kraftübertragungsweg zwischen dem beweglichen Ende eines Aktuators und einem Arbeitselement vorgeschlagen, welche eine fast vollständige Übertragung der Aktorbewegung ermöglicht. Die Kraftübertragungseinrichtung enthält ein Kraftübertragungselement, welches dem Aktuator zugeordnet ist, ein Kraftaufnahmeelement, das dem Arbeitselement zugeordnet ist und eine viskose Flüssigkeit in einem Spalt zwischen Kraftübertragungselement und Kraftaufnahmeelement, welche sich bei schnellen Aktuations-Bewegungen hart verhält, langsam ablaufende Störbewegungen jedoch nicht auf das Arbeitselement überträgt.

[0005] In EP 148630 wird auch die grundsätzliche

Verwendbarkeit der beschriebenen Kraftübertragungseinrichtung in einem Ventil mit bimorphem Piezo-Biegegliederelement genannt. Nach EP 148630 wäre die vorgeschlagene Kraftübertragungseinrichtung zwischen dem aktivierenden Ende eines Piezo-Biegegliederelements und einem Arbeitselement, beispielsweise einem Ventil-Verschlußteil, angebracht. Übertragen auf ein Miniatur-Ventilsystem mit Antriebskräften unterhalb von 50 mN würde die gesamte Masse der Kraftübertragungseinrichtung mitbewegt werden, was die Schaltzeiten stark negativ beeinflussen würde. Auch müßten höchst diffizile Fertigungs- und Montageschritte vorgenommen werden.

[0006] Ausgehend von EP 148630 liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine miniaturisierbare, dabei gleichzeitig einfach und kostengünstig zu fertigende Arbeitsvorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 insbesondere zur Verwendung in einem Fluidventil vorzustellen, welche dazu geeignet ist, reproduzierbare Stellbewegungen schnell auszuführen, unbeeinflusst von den o. g. Störeinflüssen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 gelöst. Danach enthält die erfindungsgemäße Arbeitsvorrichtung ein Fluidlager **5** mit einer ersten Fläche **7**, die dem Biegegliederelement **2** zugeordnet ist, einer zweiten Fläche **8**, die dem Gehäuse **15** zugeordnet ist und einem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial **6** zwischen den Flächen, zur Übertragung der aus der Stellbewegung **14** resultierenden Reaktionskräfte oder -momente vom Biegegliederelement **2** auf das Gehäuse **15**.

[0007] Das Fluidlager ist durch die Fließfähigkeit des Kraftübertragungsmaterials geeignet, langsame Lage- und Geometrieänderungen von Biegegliederelement und Gehäuse auszugleichen, ohne dass dabei wesentliche Kräfte zwischen Gehäuse und Biegegliederelement übertragen werden. Das Fluidlager bewirkt somit ein Ausgleich von Verformungen oder Verspannungen des Piezo-Biegegliederelements oder sonstiger Teile infolge von Temperaturänderungen und Krafteinwirkungen, Stress, Alterung und Drift. Im Gegensatz zu herkömmlichen Biegegliederelementen, bei denen solche Verspannungen oder Störauslenkungen die Arbeitskennlinie des Aktors verändern, können sich diese durch Verwendung des Fluidlagers nicht mehr auf den Stellmechanismus selbst auswirken. Das erfindungsgemäße Fluidlager erspart weiterhin aufwändige Maßnahmen zur Temperaturkompensationen und die Notwendigkeit einer präzisen Montage. Durch die Fluidlagerung können auch größere Gehäuseverformungen zugelassen werden, die beispielsweise in Druck-beaufschlagten Fluidventilen auftreten können. Dies ermöglicht eine insgesamt Platz- und Material-sparende Bauweise, insbesondere auch eine Miniaturisierung.

[0008] Zweckmäßige Ausführungsformen der erfin-

dungsgemäßen Arbeitsvorrichtung mit vorteilhaften Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind in den weiteren Ansprüchen angegeben. Dabei wird von einem flächigen, bevorzugt länglichen Biegewandlerelement ausgegangen mit mehreren übereinander angeordneten Materialschichten, von denen mindestens eine Schicht piezoelektrische Eigenschaften aufweist.

[0009] Zur besseren Verständlichkeit der Beschreibung der Erfindung soll im Folgenden angenommen werden, dass das Biegewandlerelement in horizontaler X-Y Ebene liegt und Stellbewegungen senkrecht aus der Ebene heraus in Z-Richtung erfolgen.

[0010] Gemäß einer zweckmäßigen Ausführungsform werden Reaktionskräfte oder -momente von einer Fläche des Biegewandlerelements über das fließfähige Kraftübertragungsmaterial auf eine Fläche des Gehäuses übertragen. In einer besonders bevorzugten Variante ist die Fläche des Biegewandlerelementes eine Fläche einer Trägerschicht des Biegewandlerelementes. Durch die Nutzung der Flächen des Biegewandlerelementes und des Gehäuses unmittelbar für das Fluidlager kann die Arbeitsvorrichtung sehr einfach und kostengünstig hergestellt werden. Eine besonders wirkungsvolle Kraftübertragung ergibt sich in einer weiteren zweckmäßigen Ausführungsform, in der sich das fließfähige Kraftübertragungsmaterial in einem Spalt zwischen der Fläche des Biegewandlerelements und der Fläche des Gehäuses befindet. Schließlich wird noch eine weitere Ausführungsform vorgeschlagen, bei der die Fläche des Gehäuses eine Innenfläche einer offenen oder geschlossenen Kavität ist.

[0011] Es wird eine weitere zweckmäßige Ausführungsform vorgeschlagen, bei der das Biegewandlerelement schwimmend in der X-Y Ebene gelagert ist. Die laterale Beweglichkeit des Biegewandlerelements wird dabei durch seitliche Anschläge **11** begrenzt, welche sich im Gehäuse der Arbeitsvorrichtung befinden. Das nach dem Oberbegriff vorhandene Drehlager für das Piezoelement ist in diesem Fall zweckmäßig als einfaches Auflager **9** ausgeführt.

[0012] Zweckmäßige Ausführungsformen enthalten zur Festlegung einer ersten und/oder zweiten stabilen Referenzposition der Stellbewegung des Biegewandlerelementes einen ersten und/oder zweiten Referenz-Anschlag Z_{ref} im Gehäuse. Diese können sich sowohl auf einen nicht angesteuerten, den sogenannten stromlosen Fall als auch auf einen angesteuerten Fall beziehen. Die Anschläge befinden sich in einem Bereich im Gehäuse, in dem das Biegewandlerelement seine Stellbewegung ausführt. In einer ersten bevorzugten Ausführungsform befindet sich genau ein in Aktuationsrichtung wirkender Referenzanschlag in Form eines Anschlages für das Biegewandlerelement im Gehäuse oder in einer Struk-

tur, die gegenüber dem Gehäuse unbeweglich ist.

[0013] Das Biegewandlerelement wird in einer bevorzugten Ausführungsform durch eine geeignete Kraft in einer Referenzposition gehalten. Die Kraft kann beispielsweise eine mechanische Kraft, eine Druckkraft oder eine Kraft sein, die aus der Oberflächenspannung eines fluiden Kraftübertragungsmaterials in Wechselwirkung mit dem Gehäuse resultiert. Das erfindungsgemäße Fluidlager stellt dabei sicher, dass das Biegewandlerelement in dieser Referenzposition unabhängig von Verformungen, inneren Verspannungen und Verschiebungen sich in einem reproduzierbaren Ausgangszustand befindet.

[0014] Die Arbeitsvorrichtung ist bevorzugt geeignet für die Verwendung in einem Ventil, besonders bevorzugt in einem Mikroventil. Dieses weist ein Verschlußteil, das dem Biegewandlerelement zugeordnet ist, ein Ventilsitz, der dem Gehäuse zugeordnet ist und einen Fluiddurchgang, der dem Gehäuse zugeordnet ist, auf. In einer günstig zu fertigenden Variante wird das Verschlußteil durch eine Schicht, insbesondere durch die Trägerschicht des Biegewandlerelementes selbst gebildet.

[0015] In einer Ausführung als stromlos-geschlossenes Ventil bildet der Ventilsitz selbst den Referenz-Anschlag, welcher die Referenzlage Z_{ref} für das Biegewandlerelement definiert. Die Kraft zum Schließen des Ventils kann beispielsweise aus (a) einer Druckkraft, welche das Fluid auf das geschlossene Schließelement ausübt, (b) aus einer mechanischen Andrück-Kraft einer Andrück-Feder, die auf das Biegewandlerelement wirkt oder (c) aus einer Oberflächenspannungskraft des fließfähigen Kraftübertragungsmaterials zusammengesetzt sein.

[0016] In einer stromlos offenen Variante sind in Stellrichtung des Biegewandlerelements zwei gegenüberliegende Anschläge in ein oder zwei Gehäuseteilen integriert, die mit dem Stellbereich des Biegewandlerelements funktionstüchtig korrespondieren, wobei ein erster Anschlag den Referenzanschlag bildet, mit dem das Piezo im stromlosen Zustand in Kontakt ist und der zweite Anschlag durch den Ventilsitz gebildet wird. Bei Ansteuerung des Mikroventils hebt das Piezo-Biegewandlerelement vom ersten Anschlag ab und verschließt am Ventilsitz, der den zweiten Anschlag darstellt, den Fluiddurchgang.

[0017] In einer bistabilen Variante sind in Stellrichtung des Biegewandlerelements zwei gegenüberliegende Anschläge in ein oder zwei Gehäuseteilen integriert, die mit dem Biegewandlerelement zugeordneten Verschlußteilen funktionstüchtig korrespondieren, wobei ein erster Anschlag durch einen ersten Ventilsitz, der einem ersten Fluiddurchgang zugeordnet ist und ein zweiter Anschlag durch einen zweiten Ventilsitz, der einem zweiten Fluiddurchgang zuge-

ordnet ist, gebildet wird. In einer bevorzugten Variante basieren die jeweiligen Kräfte zum Verschließen der Fluiddurchgänge überwiegend oder ausschließlich auf Druckkräfte, die das zu schaltende Fluid auf das jeweilige Ventil-Verschlußteil ausübt. In einer weiter bevorzugten Variante sind die Verschlußteile Teile des Biegewandlerelementes, insbesondere der passiven Lage des Biegewandlerelementes selbst.

[0018] Zur Erläuterung der Erfindung sind folgende Zeichnungen beigefügt:

[0019] [Fig. 1](#) zeigt in einer seitlichen Schnittansicht und in einer Ansicht von oben eine erfindungsgemäße Arbeitsvorrichtung im aktuierten Zustand.

[0020] [Fig. 2](#) zeigt eine zweckmäßige Konfiguration des Kraftübertragungsmaterials im Spalt eines Fluidlagers.

[0021] [Fig. 3](#) zeigt eine weitere zweckmäßige Konfiguration des Kraftübertragungsmaterials im Spalt eines Fluidlagers.

[0022] [Fig. 4](#) zeigt eine bzgl. [Fig. 1](#) alternative zweckmäßige Konfiguration für die Lagerung einer erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung.

[0023] [Fig. 5](#) zeigt eine zweckmäßige Konfiguration einer erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung mit mittig angeordnetem Stell-Bereich.

[0024] [Fig. 6](#) zeigt eine zweckmäßige Ausführungsform für ein stromlos geschlossenes Fluidventil, insbesondere geeignet als Pneumatik-Pulsventil, basierend auf einer erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung.

[0025] [Fig. 7](#) zeigt eine zweckmäßige Ausführungsform für ein stromlos offenes Pneumatikventil, basierend auf einer erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung.

[0026] [Fig. 8](#) zeigt eine zweckmäßige Ausführungsform für ein bistabiles Fluidventil, insbesondere geeignet als Pneumatikventil, basierend auf einer erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung Anhand der Figuren:

[0027] In [Fig. 1](#) ist das Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Arbeitsvorrichtung **1**, welche ein Biegewandlerelement **2** in einem ein- oder mehrteiligen Gehäuse **15** enthält, schematisch in einer seitlichen Schnitt-Darstellung und in einer Ansicht von oben skizziert. Unter einem Biegewandlerelement soll im Rahmen dieser Erfindung das zusammenhängende Bauteil verstanden werden, welches den piezoelektrischen Biegewandler enthält. Der prinzipielle

Aufbau und die Funktion eines piezoelektrischen Biegewandlers werden hier als bekannt vorausgesetzt. Im Rahmen der Erfindung bevorzugt eingesetzte monomorph-Biegewandler enthalten neben der aktiven, piezoelektrischen Schicht **3** eine passive Träger-Schicht **4** aus einem ausreichend festen, nicht-piezoelektrischen Material. Die aktive, piezoelektrische Schicht **3** bedeckt in mehreren bevorzugten Ausführungsformen die Trägerschicht **4** nur abschnittsweise, die Trägerschicht als Teil des Biegewandlerelementes **2** kann beispielsweise das Verschluß-Element eines Ventils, Montagestrukturen, Anbauteile oder Strukturen, die ein verrutschen verhindern, enthalten. In [Fig. 1](#) ist eine solche bevorzugte Ausführungsform eines Biegewandler-Elements dargestellt. Im linken Bereich ist das Biegewandlerelement als Biegewandler, bestehend aus einer piezoelektrischen Schicht und einer vorzugsweise metallischen Trägerschicht aufgebaut und ist beweglich bezüglich der Stellbewegung, weshalb der linke Bereich als beweglicher Bereich bezeichnet werden kann. Am Beispiel von [Fig. 1](#) wird links am verlängerten Ende der Trägerschicht die Stellarbeit geleistet. Die Hälfte des Biegewandlerelementes rechts des Auflagers **9** dient der Lagerung desselben durch das erfindungsgemäße Fluidlager, dieser Bereich kann als Lager- oder Einspannbereich bezeichnet werden. Das Biegewandlerelement kann ganz oder teilweise als piezoelektrischer Biegewandler, bestehend aus mindestens einer piezoelektrischen Schicht, aufgebaut sein. Im einfachsten Fall ist das Biegewandlerelement vom linken bis zum rechten Ende als monomorph oder bimorph-Biegewandler aufgebaut. Bevorzugt ist das Biegewandlerelement im beweglichen Bereich als monomorph oder bimorph-Biegewandler ausgeführt. Im Bereich des Fluidlagers besteht das Biegewandlerelement bevorzugt aus nur einer Schicht des Biegewandlerelementes, beispielsweise der Trägerschicht, welche nicht mit einer piezoelektrischen Schicht belegt ist.

[0028] Typische Dicken der Schichten des Biegeaktuators liegen zwischen 0,1 mm und 0,5 mm, in besonderen Fällen bis 1 mm. Der Materialauswahl für die Träger-Schicht sind prinzipiell keine Grenzen gesetzt, bevorzugt geeignet sind beispielsweise Metalle wie Edelstahl, Messing oder Beryllium-Kupfer, Glas, Keramik, einige Kunststoffe, halbleitende Materialien oder (Karbon-) faserverstärkte Materialien.

[0029] Das Biegewandlerelement **2** befindet sich an mindestens einer Stelle, dem Drehlager **9**, in mechanischem Kontakt mit dem Gehäuse **15** oder mit Strukturen, die dem Gehäuse gegenüber unbeweglich sind. Am Drehlager **9** ist das Biegewandlerelement **2** um die Y-Achse drehbar gelagert. In der Konfiguration in [Fig. 1](#) befindet sich das Drehlager **9** etwa in der Mitte des Biegewandlerelementes **2**. Als Drehlager **9** wird eine Aufspannung verstanden, die keine Drehmomente um die Y-Achse überträgt. Eine bevorzugte

Ausführungsform eines Drehlagers ist ein Auflager, welches hauptsächlich Kräfte in positive Z-Richtung überträgt. In der Ausführung als Auflager kann das Biegewandlerelement durch einen eigenen Andruckmechanismus auf das gehäuseseitige Auflager angebracht werden, welcher beispielsweise aus einer Metallfeder besteht, die auf das Biegewandlerelement an der Stelle des Auflagers drückt. Die drehbare Lagerung des Biegewandlerelementes erfordert weitere Maßnahmen, damit dessen Lage statisch bestimmt ist: Ein in Z-Richtung wirkender Referenz-Anschlag **10** ist im Gehäuse dort angebracht, wo das Biegewandlerelement seine nutzbare Stellbewegung **14** ausführt. Der Referenzanschlag definiert für einen definierten Ansteuerzustand eine Referenz-Drehlage des Biegewandlerelementes um die Drehachse **9** und gleichzeitig eine Referenz-Stellposition Z_{ref} für die Stell-Tätigkeit **14**. Im Falle eines stromlos geschlossenen Ventils ist es beispielsweise vorteilhaft, wenn ein Ventilsitz **22** selbst einen solchen Referenz-Anschlag **10** bildet.

[0030] Eine Arbeitsvorrichtung, die im Wesentlichen zwei definierte Stellzustände einnimmt, enthält vorzugsweise zwei Referenz-Anschläge, beispielsweise einen oberen in negative Z-Richtung wirkenden und einen unteren in positive Z-Richtung wirkenden, welche mit einem stromlosen und einen bestromten Ansteuerzustand korrespondieren.

[0031] In der Ansicht von oben in [Fig. 1](#) wird beispielhaft die Ausführung einer schwimmenden Lagerung des Biegewandlerelementes **2** verdeutlicht. Seitlich wirkende Anschläge **11** begrenzen die seitliche Beweglichkeit des Biegewandlerelementes mit ihren senkrechten Flächen. Statt einer Anordnung der Anschläge seitlich außerhalb des Biegewandlerelementes **2** können seitlich wirkende Anschläge auch in Öffnungen im Biegewandlerelement mit definiertem Spiel hineinragen und auf diese Weise eine lockere geometrische Fixierung in lateraler Richtung sicherstellen.

[0032] Um das Biegewandlerelement im Kontakt mit dem Referenz-Anschlag **10** zu halten, muß durch einen geeigneten Wirkmechanismus eine Kraft oder ein Moment auf das Biegewandlerelement ausgeübt werden. Am Beispiel der [Fig. 1](#) wird die Kraft durch eine mechanische Andrückvorrichtung unter Einbeziehung eines Federelementes **12** aufgebracht, das auf eine Schicht des Biegewandlerelementes drückt. Der Berührungspunkt befindet sich bevorzugt nahe dem Drehlager, besonders bevorzugt mit einem Abstand L_1 vom Drehlager entfernt, wobei das Verhältnis von L_1 zum Abstand L_2 zwischen Referenz-Kontaktpunkt und Drehlager besonders bevorzugt im Bereich zwischen 0,02 und 0,3 liegt. Bezogen auf das Biegewandlerelement befindet sich entweder der Berührungspunkt des Federelementes **12** rückseitig zwischen dem Referenz-Anschlag **10** und dem Drehla-

ger **9** oder das Drehlager **9** rückseitig zwischen Referenzanschlag **10** und Berührungspunkt des Federelementes **12** (nicht dargestellt in [Fig. 1](#)).

[0033] In einer vorteilhaften Variante dient das Federelement zusätzlich zur elektrischen Kontaktierung einer ersten Schicht des Biegewandlerelementes, insbesondere der piezoelektrischen Schicht. Vorteilhaft kann hier der Kontaktpunkt zwischen erster Schicht und Federelement zur Herstellung des elektrischen Kontaktes genutzt werden. Zur Herstellung des für den Betrieb erforderlichen zweiten elektrischen Kontaktes, insbesondere eines Massekontaktes an der Unterseite der piezoelektrischen Schicht ist es vorteilhaft, wenn die Trägerschicht aus elektrisch leitendem Material, insbesondere aus Metall ist. In einer vorteilhaften Variante wird eine zweite Schicht des Biegewandlerelementes, insbesondere die Trägerschicht, am Kontaktpunkt mit dem Auflager **9** mit dem Gehäuse elektrisch kontaktiert. Vorteilhafterweise handelt sich hierbei um den Massekontakt. Das Federelement **12** liefert in dieser Konfiguration die Anpresskraft zur Herstellung eines zuverlässigen elektrischen Kontaktes.

[0034] Erfindungsgemäß überträgt ein Fluidlager **5** die aus der Stellbewegung **14** des Biegewandlerelementes resultierenden Reaktionskräfte oder -momente über ein fließfähiges Kraftübertragungsmaterial **6** auf das Gehäuse **15**. In dem Ausführungsbeispiel in [Fig. 1](#) befindet sich das Fluidlager in einem Bereich des Biegewandlerelementes rechts des Drehlagers **9** und enthält als Wirkkomponenten einen Spalt zwischen einer Fläche **7**, die dem Biegewandler zugeordnet ist und einer Fläche **8**, die dem Gehäuse **15** zugeordnet ist, in dem sich zumindest abschnittsweise ein Kraftübertragungsmaterial **6** befindet. Die Flächen **6** und **7** mit dazwischenliegendem Spalt sind im Ausführungsbeispiel in [Fig. 1](#) parallel zur XY-Ebene ausgerichtet. Das Kraftübertragungsmaterial **6** ist so beschaffen, dass es unter Einwirkung langsamer Verschiebungen oder Verformungen fließfähig ist, d. h. diesen keinen nennenswerten Widerstand entgegengesetzt. Das Kraftübertragungsmaterial verhält sich zumindest im Bereich mittlerer und hoher Scherspannungen mittel- bis hochviskos. Wird beispielsweise eine Kraft auf die Trägerschicht **4** an der Stelle des Fluidlagers ausgeübt, so findet prinzipiell eine Verdrängung des Kraftübertragungsmaterials aus dem Spalt statt. Die hohe Viskosität des Kraftübertragungsmaterials hindert dieses jedoch daran, schnell auszutreten. Bei schnellen Bewegungen verhält sich das Kraftübertragungsmaterial daher weitestgehend steif, sodass das Fluidlager imstande ist, Kräfte in senkrechter Richtung zum Spalt zu übertragen. Die Kräfte entsprechen erfindungsgemäß den Reaktions- bzw. Lagerkräften des Biegewandlerelementes bei schnellen Stellbewegungen. Es sei angemerkt, dass das Ausführungsbeispiel in [Fig. 1](#) nur eine der vielen Ausführungsmöglichkeiten für die Realisierung eines

Fluidlagers für die Lagerung eines Biegewandlerelements darstellt. In weiteren zweckmäßigen Ausführungsformen kann beispielsweise der Spalt parallel zu einer Ebene entlang der Z-Achse verlaufen. In diesem Fall bildet sich bei Lagerreaktionen eine Couette-Strömung im Spalt aus und es wird eine Lagerreaktion parallel zum Spalt übertragen. In weiteren zweckmäßigen Ausführungsformen kann anstelle eines Spalts eine offene oder geschlossene Kavität im Gehäuse enthalten sein, die zumindest einen Teil des Biegewandlerelements umgibt und zumindest teilweise mit Kraftübertragungsmaterial gefüllt ist, siehe auch [Fig. 3](#) oder [Fig. 4](#). Vorzugsweise geeignet als Kraftübertragungsmaterial sind Fluide mittlerer und höherer Viskosität, wie beispielsweise einige Harze oder Öle, insbesondere Silikonöle, aber auch feste Materialien, die eine hohe Relaxationsfähigkeit und Kriechneigung besitzen.

[0035] Im Hinblick auf eine einfache Fertigung ist die Ausführung des Fluidlagers als offener Spalt zwischen einer Fläche des Biegewandlerelements und einer Fläche des Gehäuses vorteilhaft. Zumindest in Bereichen des Spaltes befindet sich erfindungsgemäß das fließfähige Kraftübertragungsmaterial. Die Wechselwirkungen zwischen dem Kraftübertragungsmaterial und den benetzten Oberflächen bestimmen die Lage und das Verhalten des Fluidlagers im Spalt. In der Konfiguration nach [Fig. 2A](#) bildet das Kraftübertragungsmaterial und beide angrenzenden Flächen einen Kontaktwinkel α von $> 90^\circ$, d. h. das Kraftübertragungsmaterial ist bestrebt, sich zusammenzuziehen. Der Innendruck in der Flüssigkeit übersteigt dadurch den Außendruck und das Kraftübertragungsmaterial übt eine resultierende Kraft nach oben auf das Biegewandlerelement aus. Wird das Biegewandlerelement beispielsweise durch die Kraft eines ausreichend steifen Federelements **12** auf das Auflager **9** gedrückt, so resultiert eine Andrückkraft des Biegewandlerelements auf den Anschlag **10** infolge einer Oberflächenspannungskraft des Kraftübertragungsmaterials. Ein Kontaktwinkel von $\alpha > 90^\circ$ kann beispielsweise nachträglich durch Hydrophobierung, z. B. durch Teflonbeschichtung oder durch Aufbringen von Nanoschichten eingestellt werden. Eine hydrophobe Auslegung insbesondere des Grenzflächenkontaktes des Gehäuses zum Kraftübertragungsmaterial verhindert weiterhin das Ausfließen des Kraftübertragungsmaterials aus dem Spalt oder das Zusammenfließen der Kraftübertragungsfluide benachbarter Kanäle im Fall einer Array-Anordnung erfindungsgemäßer Arbeitsvorrichtungen. Eine vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung enthält somit ein Fluidlager, welches Reaktionskräfte oder -momente von einer Fläche des Biegewandlerelements über das fließfähige Kraftübertragungsmaterial auf eine Fläche des Gehäuses überträgt, wobei zumindest abschnittsweise der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $\alpha > 90^\circ$ beträgt. Eine weitere

vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung enthält strukturierte Bereiche im Gehäuse, bei denen der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $> 90^\circ$ beträgt und dazu benachbarte Bereiche, bei denen der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $\alpha < 90^\circ$. Eine dritte vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung enthält Bereiche im Bereich des Fluidlagers, bei denen der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $> 90^\circ$ beträgt und der Benetzungswinkel α zwischen einer an das Kraftübertragungsmaterial angrenzenden Fläche des Biegewandlerelements und Kraftübertragungsmaterial $< 90^\circ$ beträgt. Eine vierte vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung enthält Bereiche des Biegewandlerelements im Bereich des Fluidlagers, bei denen der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $\alpha < 90^\circ$ beträgt, und Bereiche des Biegewandlerelements in Richtung des Bereichs der Stellbewegung, die einen Benetzungswinkel von $> 90^\circ$ mit dem Kraftübertragungsmaterial ausbilden, so, dass das Kraftübertragungsmaterial an der Grenze zwischen den Bereichen unterschiedlicher Benetzungswinkel daran gehindert wird, vom Bereich des Fluidlagers zum Bereich des Biegewandlerelements, der die Stellbewegung ausführt, zu gelangen. Eine fünfte vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung enthält Bereiche des Gehäuses im Bereich des Fluidlagers, in denen der Benetzungswinkel zwischen Gehäuse und Kraftübertragungsmaterial $\alpha < 90^\circ$ beträgt, und in Richtung des Bereichs des Biegewandlerelements, der die Stellbewegung ausführt Bereiche im Gehäuse, die einen Benetzungswinkel von $\alpha > 90^\circ$ mit dem Kraftübertragungsmaterial ausbilden, so, dass Kraftübertragungsmaterial an der Grenze zwischen den Bereichen unterschiedlicher Benetzungswinkel daran gehindert wird, vom Bereich des Fluidlagers im Gehäuse zum Bereich der Stellbewegung des Biegewandlerelements im Gehäuse zu gelangen. In eine sechsten vorteilhaften Variante ist das Biegewandlerelement so beschaffen oder so behandelt, dass der Benetzungswinkel zwischen Kraftübertragungsmaterial und Biegewandlerelement im Wesentlichen $> 90^\circ$ beträgt. In eine siebten vorteilhaften Variante ist die Trägerschicht des Biegewandlerelements so beschaffen oder so behandelt, dass der Benetzungswinkel zwischen Kraftübertragungsmaterial und der Trägerschicht des Biegewandlerelements im Wesentlichen $\alpha > 90^\circ$ beträgt.

[0036] In [Fig. 2](#) ist eine vorteilhafte Variante dargestellt, in der der Benetzungswinkel zwischen Kraftübertragungsmaterial und der Trägerschicht des Biegewandlerelements und zwischen Kraftübertragungsmaterial und Gehäuse $\alpha > 90^\circ$ beträgt. In dieser Konfiguration produziert das Fluidlager eine nach oben gerichtete Kraft.

[0037] In [Fig. 3](#) ist eine vorteilhafte Variante dargestellt, in der der Benetzungswinkel zwischen Kraftübertragungsmaterial und der Trägerschicht des Biegewandlerelementes $\alpha < 90^\circ$ beträgt und zwischen Kraftübertragungsmaterial und Gehäuse $\alpha > 90^\circ$ beträgt. Diese Konfiguration sichert eine definierte Lage und Verteilung des Kraftübertragungsmaterials bezüglich des Biegewandlerelementes und verhindert gleichzeitig laterales Fließen des Kraftübertragungsmaterials im Gehäuse. In einer Abwandlung der Variante nach [Fig. 3](#) befindet sich im Bereich des Fluidlagers unterhalb des Biegewandlerelementes ein begrenzter Bereich im Gehäuse, bei dem der Benetzungswinkel zwischen Kraftübertragungsmaterial und der Trägerschicht des Biegewandlerelementes $\alpha < 90^\circ$ beträgt.

[0038] In einer vorteilhaften Variante wird die Fläche, die dem Gehäuse zugeordnet ist, zumindest abschnittsweise derart modifiziert, dass der Benetzungswinkel zwischen der Fläche **8**, die dem Gehäuse zugeordnet ist und dem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial $> 90^\circ$ beträgt. Die Modifikation kann dabei durch die Diffusion eines Stoffes in das Material des Gehäuses, durch eine auf der Oberfläche aufgetragene Beschichtung oder eine gezielte Änderung der Oberflächenstruktur mit definierten Rauheitsprofilen erfolgen. Als Beschichtung kommen beispielsweise Fluor-Polymer-Schichten wie PTFE-, PFA-, FEP- oder PVDF-Schichten in Betracht. In Verbindung mit beispielsweise einer PTFE Beschichtung kann beispielsweise auch das sonst sehr gut benetzende Silikonöl als Kraftübertragungsmaterial verwendet werden.

[0039] In einer weiteren vorteilhaften Variante ist die Fläche **8** des Fluidlagers, die dem Gehäuse zugeordnet ist trägt, lateral scharfkantig begrenzt derart, dass ein Übertreten von Kraftübertragungsmaterial über die Kante unterbunden wird. Eine derartige Kante kann beispielsweise durch eine ausreichend breite Rechteck-Nut im Gehäuse um den Bereich des Fluidlagers **5** herum ausgeführt werden. Da in diesem Beispiel die Innenkante einen Winkel von 270° aufweist, wird ein Übertreten von Kraftübertragungsmaterial auch dann verhindert, wenn der Benetzungswinkel zwischen diesem und der dem Gehäuse zugeordneten Fläche **8** kleiner als 90° beträgt.

[0040] Treten langsame Störbewegungen auf, so ändert sich der Spaltabstand und das Kraftübertragungsmaterial wird innerhalb des Spaltes verdrängt. Bei einer Ausgleichsbewegung, die eine Verringerung des Spaltabstandes zur Folge hat, muß ein Auffang-Volumen zur Verfügung stehen, das das verdrängte Fluid puffern, also aufnehmen und wieder abgeben kann. Umgekehrt muß in einem Puffer zusätzliches Kraftübertragungsmaterial zur Verfügung stehen für den Fall, dass sich der Spalt vergrößert. In einer ersten Variante, in der das Kraftübertragungs-

material nur einen Teil des Spaltes füllt, kann das Volumen des verbleibenden Spaltes dazu dienen, verdrängtes Kraftübertragungsmaterial zu puffern. In einer weiteren Variante kann im Bereich des Fluidlagers im Biegewandlerelement und/oder im Gehäuse eine zumindest einseitig offene Kavität vorgesehen sein, welche der Pufferung des Kraftübertragungsmaterials dient. In einer dritten Variante ist der Spalt des Fluidlagers im Wesentlichen gefüllt mit Kraftübertragungsmaterial und die zum Gehäuse gehörige Fläche des Fluidlagers ist seitlich weiter ausgedehnt als die korrespondierende Fläche des Biegewandlerelementes. In dieser Variante kann sich überschüssiges Kraftübertragungsmaterial seitlich entlang des Randes der Fläche des Biegewandlerelementes sammeln und bei einer inversen Ausgleichsbewegung wieder in den Spalt zurück gelangen.

[0041] In [Fig. 1](#) wurde eine erfindungsgemäße Ausführungsform gezeigt, bei der sich das Auflager **9** zwischen dem Referenz-Anschlag **10** im Bereich der Stellbewegung und dem Fluidlager **5** befindet. Letzteres erzeugt als Lagerreaktion das Gegenmoment bei schnellen Aktorbewegungen zu den Stellkräften. Eine weitere Variante ist in [Fig. 4](#) dargestellt. In dieser Variante befindet sich das Fluidlager **5** zwischen einem Referenz-Anschlag **10** links im Bereich der Stellbewegung und einem Auflager **9** rechts. Das Fluidlager **5** befindet sich im rechten Bereich nahe des Auflagers **9**, sodass sich der rechte Bereich des Biegewandlerelementes für schnelle Stellbewegungen näherungsweise wie eine feste Einspannung verhält. Ein Feder-element **12** drückt nahe dem rechten Auflager **9** auf das Biegewandlerelement und stellt auf diese Weise den Kontakt mit dem Auflager **9** und den Anschlag **10** sicher. [Fig. 5](#) zeigt eine Ausführungsform, bei der das Biegewandlerelement in einem mittleren Bereich seine Stellbewegung **14** ausführt. In diesem Bereich findet sich auch ein Referenzanschlag **10**. Das Dreh- bzw. Auflager befindet sich am linken Ende des Biegewandlerelementes. Die Andruckkraft zur Herstellung der Ausgangslage wird wieder durch ein Feder-element **12** in der Nähe des Auflagers **9** auf das Biegewandlerelement ausgeübt. Das Fluidlager befindet sich im Bereich des rechten Endes des Biegewandlerelementes und bewirkt, dass sich dieses für dynamische Stellbewegungen des Biegewandlerelementes wie ein festes Lager verhält.

[0042] Aufgrund der Fähigkeit der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung, zum einen äußere Störeinflüsse zu kompensieren und zum anderen eine exakt definierte Referenzposition des Biegewandlerelementes ohne eine Feinjustage eines Aktuatorelementes sicherzustellen, ist die erfindungsgemäße Arbeitsvorrichtung bevorzugt für die Realisierung eines Mikroventils oder Mikroventil-Arrays, besonders bevorzugt für die Realisierung eines Mikro-Pneumatikventils oder Mikro-Pneumatik-Ventilarrays geeignet.

Diese sind beispielsweise anwendbar als Pilot- oder Steuerventil für pneumatisch getriebene Anwendungen wie beispielsweise pneumatische Aktuatoren oder Aktuator-Arrays, pneumatisch gesteuerte Hydraulik-Anwendungen, Array-Luft-Steuern, industrielle Sortiereinrichtungen und vieles mehr. Ein Mikroventil wird dadurch realisiert, dass das Biege wandlerelement **2** den Verschußteil **21** eines Ventils **20** trägt, welches hinsichtlich eines Ventilsitzes **22** funktionsfähig derart angeordnet ist, dass bei elektrischer Betätigung des Biege wandlerelements **2** ein Fluiddurchgang **23** verändert, insbesondere geöffnet und geschlossen wird. Das Verschußteil **21** kann ein separat gefertigtes Anbauteil sein, beispielsweise eine Dichtung, die im Bereich der Stellbewegung des Biege wandlerelements mit diesem verbunden ist oder es kann ein Teil einer Schicht des Biege wandlerelements selbst, bevorzugt der Trägerschicht sein. Erfindungsgemäße Pneumatikventile sind bevorzugt als Steuerventile oder Pilotventile oder Schaltventil- oder Pilotventil-Arrays mit sehr kurzen Schaltzeiten und hohen Schaltfrequenzen einsetzbar.

[0043] [Fig. 6](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Mikro-Pneumatikventil in stromlos geschlossener Ausführung, geeignet als Pulsventil. Das Biege wandlerelement **2** befindet sich in einer geschlossenen Kavität, welche über einen Fluideinlaß **24** mit einer Druckquelle verbunden ist. Im Bereich der Stellbewegung **14** des Biege wandlerelements **2** befindet sich ein Ventil **20** mit einem Fluiddurchgang **23**, der durch den Teil der Trägerschicht **4**, der das Verschußteil **21** bildet, im stromlosen Zustand verschlossen wird. Der Ventilsitz **22** dient gleichzeitig als Anschlag **10** und stellt auf diese Weise eine exakte Referenzposition Z_{ref} für das Biege wandlerelement her. Die Verschußkraft wird zum einen durch das Federelement **12** und zum anderen durch die Druckdifferenz über dem Ventil aufgebracht. Das Federelement, welches gleichzeitig zur elektrischen Kontaktierung der piezoelektrischen Schicht **3** dient, ist unter Verwendung einer isolierten Durchführung **25** im Gehäuse befestigt. Wird das Mikro-Pneumatikventil nach [Fig. 6](#) stationär angesteuert, so hebt das Biege wandlerelement nach dem Einschalten zuerst schnell vom Ventilsitz ab, da sich das Fluidlager **5** bei dynamischer Beanspruchung hart verhält. Im stationär angesteuerten Zustand tragen sodann die Federkraft des Federelements **12** als auch der Differenzdruck über das Ventil dazu bei, dass das ausgelenkte Biege wandlerelement sich insgesamt um das Auflager herum verkippt und schließlich den Ventildurchgang verschließt. Aus diesem Grunde ist das Ventil nach [Fig. 1](#) nur für kurze Öffnungszeiten, also im Pulsbetrieb verwendbar.

[0044] [Fig. 7](#) zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes stromlos-offenes Mikro-Pneumatikventil. Im Bereich der Stellbewegung **14** des Biege wandlerelements **2** befindet sich im Grundzu-

stand durch die Wirkung des Federelements **12** das Biege wandlerelement **2** in Kontakt mit dem Anschlag **10** im oberen Gehäuseteil. An gegenüberliegender Stelle, im unteren Gehäuseteil, sind die Komponenten eines Ventils **20** in der Ausführung wie in [Fig. 6](#) angeordnet. Der Anschlag **10** ist derart im Gehäuse angeordnet, dass sich in der stromlosen Ausgangsposition Z_{ref} ein definierter Ventilschlitz zwischen Verschußfläche **21** des Biege wandlerelements und Ventilsitz **22** befindet. Die Ansteuerung des Ventils bewirkt, dass der Fluiddurchgang **23** des Ventils **20** durch die Trägerschicht des Biege wandlerelements verschlossen wird. Hierfür ist der Verschußteil der Trägerschicht geometrisch so im Hinblick auf den Ventilsitz **22** gestaltet, dass das Ventil schließt. Die Schließkraft für das Ventil nach [Fig. 3](#) wird im dynamischen Fall durch die Aktorkraft des Biege wandlerelements im ausgelenkten Zustand, abstützt durch das Fluidlager, geliefert. Im stationären Fall ist ein stationär geschlossener Zustand nur dann möglich, wenn die Schließkraft infolge des Differenzdrucks über dem geschlossenen Ventil größer ist als die Kraft, die das Federelement in umgekehrter Richtung am Ventilsitz generiert. In einer bevorzugten Ausführung entspricht zusätzlich die Höhe des Ventilschlitzes dem stationären Wert des Arbeitshubs des Biege wandlerelements. Dadurch wird gewährleistet, dass sowohl im Pulsbetrieb als auch im stationären Betrieb keine Ausgleichsbewegung des Biege wandlerelements in Relation zum Drehlager **9** zwischen dem offenen und geschlossenen Zustand des Ventils stattfindet.

[0045] Das in [Fig. 8](#) gezeigte Ausführungsbeispiel betrifft ein Pneumatikventil, das einen Fluideingang **24** besitzt, der sich alternativ auf zwei Fluidausgänge **23a** und **23b** durchschalten läßt. Das Pneumatikventil enthält je Fluidausgang je ein Ventil **20a** und **20b**, die durch das Biege wandlerelement betätigt werden. Dieses besitzt hierfür auf den beiden den Ventilsitzen zugewandten Seiten Verschußteile **21**, welche im Beispiel von [Fig. 8](#) lediglich durch die obere und untere Fläche der Trägerschicht in einem vorstehenden Teil repräsentiert sind. Anhand von [Fig. 8](#) soll beispielhaft gezeigt werden, dass das Fluidlager **5** auch als gekapseltes Lager ausgeführt werden kann: Ein Gehäuseteil aus zwei Gehäusenhälften **25** umgibt an der Stelle des Fluidlagers den dem Biege wandlerelement zugeordneten Teil des Fluidlagers. An der Stelle des Drehlagers **9** dichtet eine elastische Dichtung **26** das im Fluidlager **5** enthaltene Kraftübertragungsmaterial hermetisch ab. Die Ventilsitze **22a** und **22b** definieren die zwei Referenz-Positionen für die Stellbewegung des Biege wandlerelements. In diesen Positionen wird das Biege wandlerelement hauptsächlich durch die Wirkung der Druckkräfte des Druckmediums auf die jeweiligen Ventilsitze gepresst. Ein Federelement **12**, das gleichzeitig der Kontaktierung der Piezoschicht dient, ist so ausgelegt, dass es gerade eine ausreichend große Kraft auf das Biege-

wandlerelement ausübt, um das Biegewandlerelement in eine vordefinierte Anfangsposition zu halten: In einem nicht stromlosen Anfangs-Zustand befindet sich das Biegewandlerelement **2** in Kontakt mit Ventilsitz **22a**. Hauptsächlich der Fluiddruck verschließt dabei das Ventil **20a**. Durch Ansteuerung des Piezoelementes verbiegt sich der linke, freie Teil des Biegewandlerelementes in Richtung des Ventilsitzes **22b** und verschließt so den Fluiddurchgang **23b** des Ventils **20b** mit Unterstützung des Fluiddrucks. Damit das Biegewandlerelement zwischen den beiden Stell-Positionen schalten kann, muß die Stellkraft des Biegewandlerelementes die Schliesskraft durch das Fluid übersteigen. Ist das Biegewandlerelement weiterhin so ausgelegt, dass seine unbelastete Vollausslenkung Z_{max} näherungsweise dem Spaltabstand eines geöffneten Ventils entspricht, dann ändert sich auch im angesteuerten Zustand die Lage des im Fluidlager befindlichen Teils des Biegewandlerelementes nicht in einer Weise, dass zeitliche Veränderungen des Ventilverhaltens infolge einer beliebigen Ansteuer-Sequenz auftreten können. Gleiches trifft ebenfalls zu für das Ausführungsbeispiel nach [Fig. 7](#).

[0046] Als Beispiel für die breite Anwendbarkeit der erfindungsgemäßen Arbeitsvorrichtung, insbesondere des erfindungsgemäßen Mikroventils, ist in [Fig. 9](#) ein Pneumatikventil skizziert, welches ein erfindungsgemäßes Mikroventil als Pilotventil enthält. Das erfindungsgemäße Mikroventil dient hier zum Steuern eines pneumatisch gesteuerten Haupt-Membranventils **30**, welches einen vergleichsweise sehr viel höheren Durchsatz als das Pilotventil aufweist. Das Membranventil **30** enthält einen Einlaß **37** und einen Ringkanal **33** im Zulauf und wird durch das Zusammenwirken einer durch das Pilotventil pneumatisch aktuierten Membrane **31** und eines Ventilsitzes **34**, der eine Auslassöffnung verschließt, betrieben. Die Pilotventileinheit wird aus dem Pneumatik-Zulauf durch einen Kanal **37** gespeist. Im stromlosen Zustand strömt Luft über den Verbindungskanal **36** durch das geöffnete erfindungsgemäße Pilotventil und baut schließlich vor der Drossel **32** einen Steuerdruck auf, der auf die Membrane **31** wirkt und diese auf den Ventilsitz **34** presst, sodass das Haupt-Ventil geschlossen ist. In diesem Zustand stellt sich ein geringer Luftverbrauch über die Drossel **32** ein, die auslasseitig auch mit dem Haupt-Auslass **35** verbunden sein kann. Zum Öffnen des Ventils wird das Biegewandlerelement **3** ausgelenkt. Dieses verschließt das Pilotventil und der Steuerdruck entspannt sich über die Drossel **32**, sodass der Vordruck das Membranventil öffnet.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 6581638 [[0003](#), [0003](#)]
- EP 148630 [[0004](#), [0005](#), [0005](#), [0006](#)]

Patentansprüche

1. Arbeitsvorrichtung mit einem ein- oder mehrteiligen Gehäuse, einem zumindest abschnittsweise mehrlagigen Piezo-Biegewandlerelement **2** zur Durchführung einer Stellbewegung **14** und mit einem Drehlager **9** zwischen Piezo-Biegewandlerelement **9** und Gehäuse **15**, gekennzeichnet durch ein Fluidlager **5** mit einer ersten Fläche **7**, die dem Biegewandlerelement **2** zugeordnet ist, einer zweiten Fläche **8**, die dem Gehäuse **15** zugeordnet ist und einem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial **6** zwischen den Flächen, zur Übertragung der aus der Stellbewegung **14** resultierenden Reaktionskräfte oder -momente vom Biegewandlerelement **2** auf das Gehäuse **15**.

2. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Fläche **7**, die dem Biegewandlerelement **2** zugeordnet ist, eine Fläche der Trägerschicht **4** des Biegewandlerelements **2** ist.

3. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich das fließfähige Kraftübertragungsmaterial **6** in einem Spalt zwischen der ersten und zweiten Fläche befindet.

4. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche **8**, die dem Gehäuse zugeordnet ist, eine Innenfläche einer offenen oder geschlossenen Kavität ist.

5. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest abschnittsweise der Benetzungswinkel zwischen der Fläche **8**, die dem Gehäuse zugeordnet ist und dem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial $> 90^\circ$ beträgt.

6. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche, die dem Gehäuse zugeordnet ist, zumindest abschnittsweise derart modifiziert wird, dass der Benetzungswinkel zwischen der Fläche **8**, die dem Gehäuse zugeordnet ist und dem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial $> 90^\circ$ beträgt.

7. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Silikonöl als fließfähiges Kraftübertragungsmaterial verwendet wird.

8. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche, die dem Gehäuse zugeordnet ist, zumindest abschnittsweise mit einer Fluor-Polymer-Schicht beschichtet ist.

9. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fläche **8** des Fluidlagers, die dem Gehäuse zugeordnet ist, lateral durch eine Kante derart begrenzt ist, dass ein Übertreten von Kraftübertragungsmaterial über die Kante unterbunden wird.

10. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Biegewandlerelement **2** in einer Ebene senkrecht zur Stellbewegung insgesamt schwimmend gelagert ist, wobei das Drehlager **9** als Auflager ausgeführt ist und Anschläge **11** im Gehäuse die laterale Bewegung des Biegewandlerelements begrenzen.

11. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen ersten Referenz-Anschlag **10** im Gehäuse **15** zur Definition einer Referenzposition Z_{ref} für die Stellbewegung **14**.

12. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet im Bereich der Stellbewegung **14** durch einen ersten Referenz-Anschlag **10** im Gehäuse, der in positive Z-Richtung wirkt und einen zweiten Referenzanschlag **10** im Gehäuse, der in negativer Z-Richtung wirkt, zur Definition zweier Referenzpositionen der Stellbewegung.

13. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Mittel zur Erzeugung einer Andrückkraft zwischen Biegewandlerelement **2** und Referenz-Anschlag **10**.

14. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung einer Andrückkraft zwischen Biegewandlerelement **2** und Referenz-Anschlag **10** eine mechanische Andrückvorrichtung unter Einbeziehung eines federnden Elementes **12** enthalten, die auf eine Schicht des Biegewandlerelementes **2** drückt.

15. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung einer Andrückkraft zwischen Biegewandlerelement **2** und Referenz-Anschlag **10** eine mechanische Andrückvorrichtung unter Einbeziehung eines federnden Elementes **12** enthalten, die auf eine piezoelektrische Schicht des Biegewandlerelementes **2** drückt.

16. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Auflager **9** mit einer Schicht des Biegewandlerelementes **9** in mechanischem Kontakt ist und diese gleichzeitig elektrisch kontaktiert.

17. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet dass die Mittel zur Erzeugung einer Andrückkraft zwischen Biegewandlerelement **2** und Referenz-Anschlag **10** ein Druckmedium einschließen und der Andrückkraft eine Druckkraft zugrunde liegt.

18. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Erzeugung einer Andrückkraft zwischen Biegewandlerelement **2** und Referenz-Anschlag **10** das fließfähige Kraftübertragungsmaterial **6** einschließen und der Andrück-

kraft eine dem fließfähigen Kraftübertragungsmaterial **6** zugeordnete Oberflächenspannungskraft zugrunde liegt.

19. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Biegewandlerelement **2** das Verschlussstück **21** eines Ventils **20** trägt, welches hinsichtlich eines Ventilsitzes **22** funktionsfähig derart angeordnet ist, dass bei elektrischer Betätigung des Biegewandlerelements **2** ein Fluiddurchgang **23** verschlossen oder freigegeben wird.

20. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschlussstück **21** Teil der Trägerschicht **4** des Biegeelementes **2** selbst ist.

21. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil **20** als stromlos geschlossenes Ventil arbeitet, indem der Ventilsitz **22** als Anschlag **10** dient.

22. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil **20** als stromlos offenes Ventil arbeitet und der Anschlag **10** derart angeordnet ist, dass sich in der Ausgangsposition ein definierter Ventilspalt zwischen Verschlussstück **21** und Ventilsitz **22** befindet, dessen Breite dem Ventilhub des Verschlussstücks **21** entspricht.

23. Arbeitsvorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil zwei geschaltete Auslässe **23a** und **23b** enthält, wobei das Biegewandlerelement **2** die Verschlussstücke **21a** und **21b** für beide Ventile **20a** und **20b** trägt, welche hinsichtlich je eines korrespondierenden Ventilsitzes **22a** und **22b** funktional derart angeordnet sind, dass eines der beiden Ventile **20a** oder **20b** geschlossen und das verbleibende geöffnet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

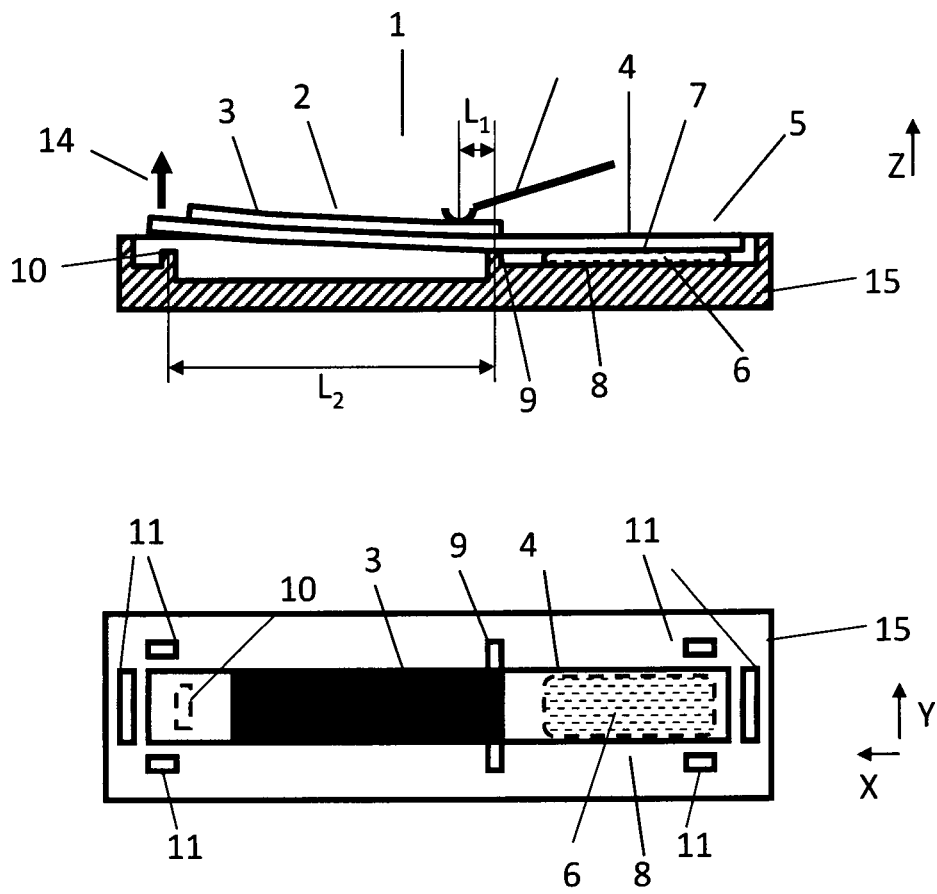


Fig. 1

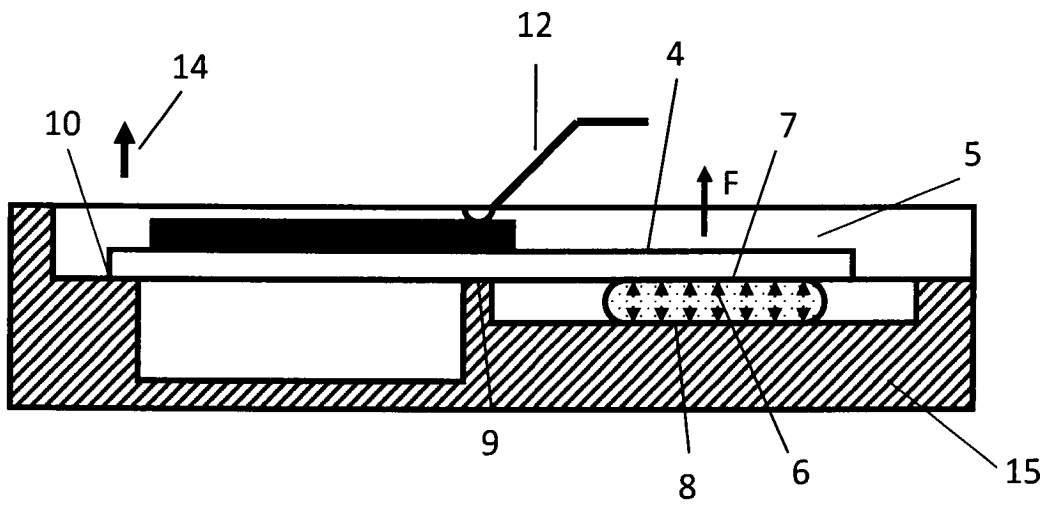


Fig. 2

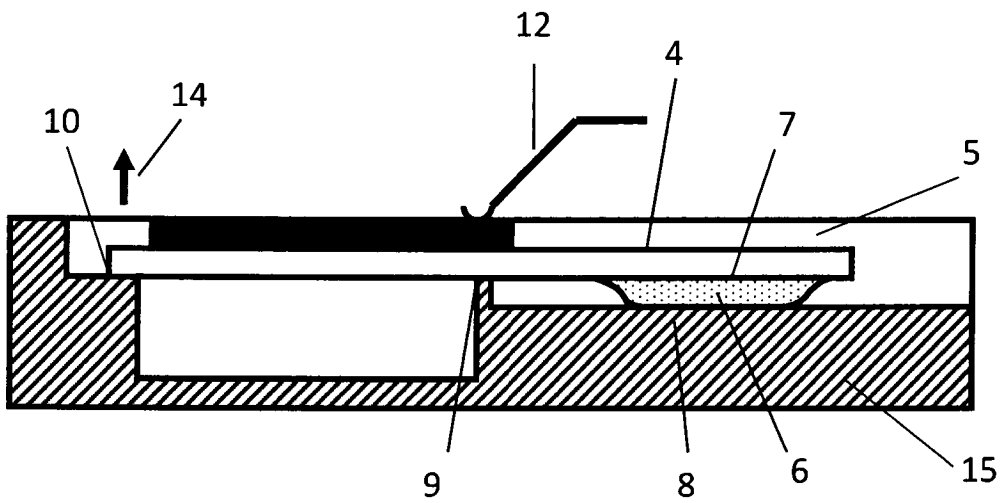


Fig. 3

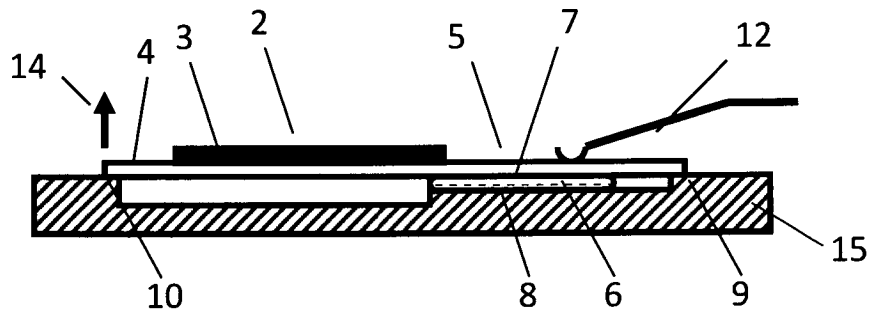


Fig. 4

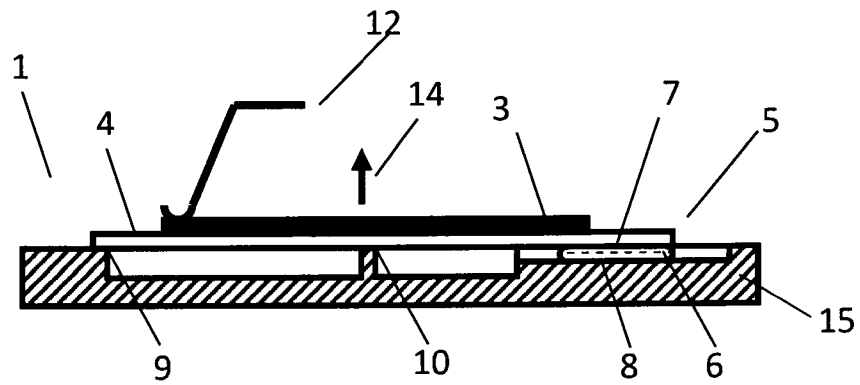


Fig. 5

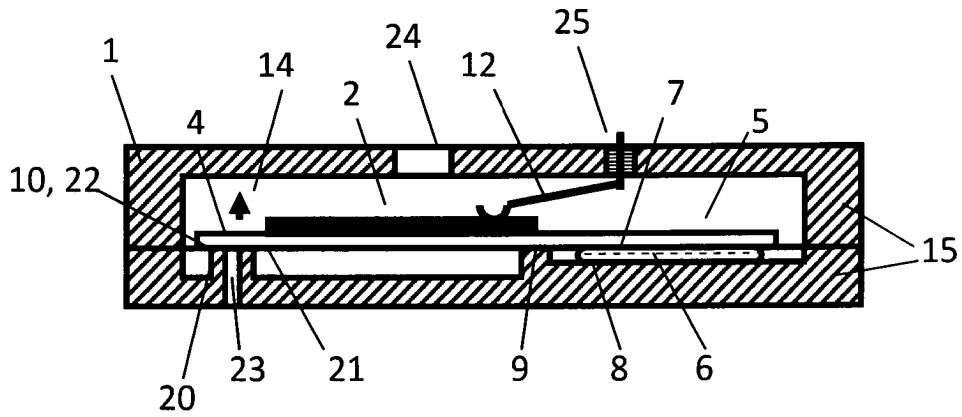


Fig. 6

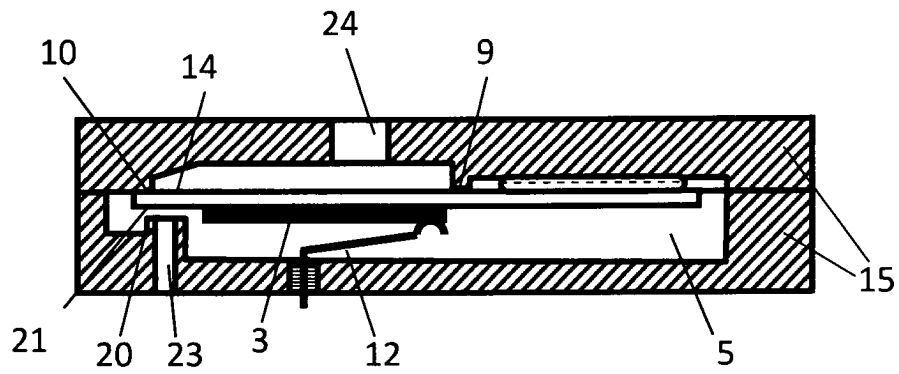


Fig. 7

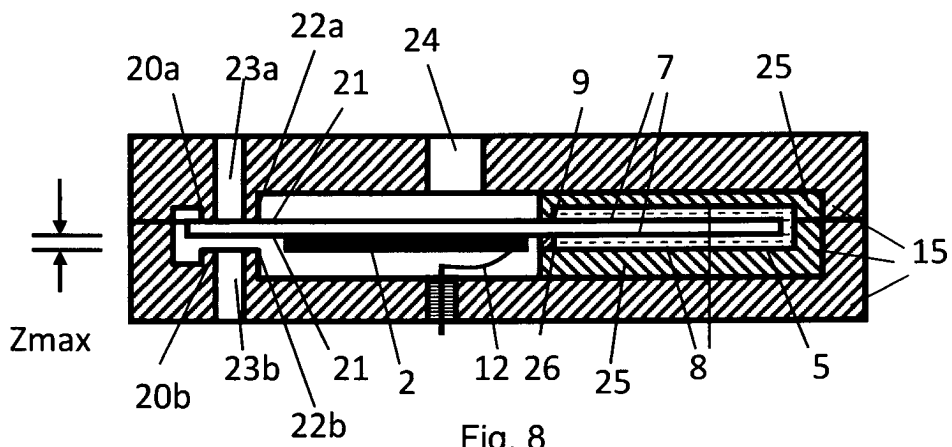


Fig. 8