

Antriebselemente aus piezoelektrischen Materialien

Die treibende Kraft für hochgenaue Dosieranwendungen



Im Zuge der fortschreitenden Miniaturisierung in der Prozess- und Medizintechnik steigen die Anforderungen an die Komponenten ständig. Das trifft besonders dann zu, wenn kleine Volumina mit hoher Präzision dosiert werden, aber auch bei Aerosolanwendungen oder bei der Herstellung von Microarrays oder Biochips. Piezobasierte Antriebslösungen bieten hierfür gute Voraussetzungen.

Piezoantriebe erzeugen Linearbewegungen sehr präzise und direkt und haben sich bereits in vielen vergleichbaren Anwendungen bewährt. Zugleich lassen sie sich gut an die jeweilige Applikationsumgebung anpassen. Da sie bei kleinem Bauraum hohe Effizienz bieten, können auch Antriebe für mobile Geräte oder die Lab-on-a-Chip-Technik realisiert werden.

Im Folgenden werden beispielhaft verschiedene piezobasierte Antriebslösungen für Dosieranwendungen dargestellt:

- Mikromembranpumpen
- Mikrodosierventile
- Schlauchpumpen
- PipeJet Dispenser
- Aerosolzerzeugung
- Air-Bubble-Detektoren für die Flussüberwachung

Piezoaktoren: schnell, präzise und langlebig

Piezoaktoren haben kurzen Ansprechzeiten und bewegen sich dabei dynamisch mit Auflösungen im Sub-Nanometerbereich und Frequenzen bis zu mehreren tausend Hertz. Außerdem arbeiten Piezoaktoren wartungsfrei, da sie keine im klassischen Sinn bewegten Teile haben. Die Bewegung beruht auf kristallinen Festkörpereffekten, daher gibt es keine rotierende oder reibende Mechanik.

Weil sie statisch keine elektrische Leistung benötigen, können die Piezos auch im Hinblick auf den Energieverbrauch punkten. Ihr Einsatzbereich ist dadurch breit gefächert. So sind in Prozess- und Medizintechnik beispielsweise kurze Dosierzyklen realisierbar. Durch die variablen Hübe lassen sich Dosier- und Pumpvorgänge zudem fein justieren und präzise steuern.

Die Firma PI Ceramic in Lederhose, Thüringen, bietet eine umfangreiche Produktpalette piezoelektrischer Komponenten in verschiedenen, auch kundenspezifischen Formen sowie Piezoaktoren mit und ohne Vorspannung in unterschiedlichen Größen (Abb. 1). Die langlebigen und ausgesprochen robusten Aktoren haben sich bereits in zahlreichen Anwendungsbereichen bewährt, z. B. in Mikromembranpumpen.



Abb. 1 Da mit Piezoelementen sehr unterschiedliche Designs realisierbar sind, findet sich praktisch für jede Aufgabenstellung eine maßgeschneiderte Lösung

Mikromembranpumpen – hohe Förderraten auch bei Gegendruck

Mikromembranpumpen eignen sich für die präzise Dosierung sowohl von Gasen als auch von Flüssigkeiten. Eine Membran trennt dabei das zu fördernde Medium vom Antrieb. Beeinträchtigungen der gepumpten Medien durch den Antrieb und umgekehrt sind dadurch ausgeschlossen. Passive Ein- und Auslassventile steuern die Pumprichtung (Abb. 2).

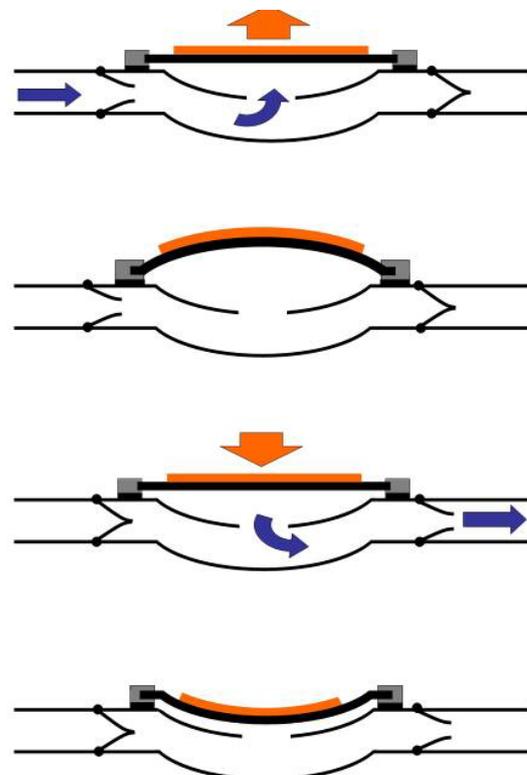


Abb. 2 Funktionsprinzip einer Mikromembranpumpe

Als Antriebssystem bieten sich bei den miniaturisierten Varianten dieses Pumpentyps hochdynamische Piezoelemente in Scheibenform an, die direkt auf eine Metallscheibe angebracht werden (Abb. 3). Auch bei Gegendruck lassen sich so hohe Förderraten realisieren, indem die Schaltfrequenzen oder die Amplitude der Piezoauslenkung über eine entsprechende Regelung variiert werden.



Abb. 3 Mikromembranpumpen mit Piezoelementen in Scheibenform: Der Platzbedarf dieser Antriebslösung ist äußerst gering (Bild: thinXXS Microtechnology AG)

Typische Spezifikationen für solche Mikromembranpumpen sind beim Dosieren von Flüssigkeiten z. B. eine Flussrate bis ca. 80 ml/min bei Schaltfrequenzen zwischen 25 und 120 Hz und einem potentiellen Gegendruck von 200 bis 500 mbar. Bei der Dosierung von Gasen liegen die Werte bei 0,1 bis 250 ml/min, 100 bis 500 Hz und 100 mbar.

Damit sind die Anwendungsmöglichkeiten breit gestreut. Sie reichen von Labor- und Medizintechnik über Chemie und Pharmazie bis hin zum Maschinenbau. Piezogetriebene Membranpumpen können hier beispielsweise die benötigten Schmier- und Kühlmittel sehr genau dosieren. Wegen ihrer kompakten Abmessungen lassen sich diese Dosier Vorrichtungen direkt „vor Ort“ anbringen und reduzieren so meist den Verbrauch.

Mikrodosierventile: hohe Flussraten bei hochgenauer Dosierung

Mikrodosierventile funktionieren ähnlich wie Pumpen. Die erforderlichen Kräfte sind hier allerdings höher, da gegen eine Schließmechanik gearbeitet werden muss. Die dabei üblichen Dosierfrequenzen im Kilohertzbereich sind praktisch nur mit Piezoaktorik realisierbar.

Mikrodosierventile erreichen Flussraten bis zu einigen 10 Litern pro Minute bei hochgenauen Einzel- und Mengendosierungen im Mikro- und Nanoliterbereich. Dabei kommen natürlich auch die geringen Schaltzeiten der Piezoaktorik zum Tragen, die im Milli- bis Mikrosekundenbereich liegen.

Je nach Baugröße arbeiten in den Mikrodosierventilen unterschiedliche Piezokomponenten. So werden kleine Piezoröhrchen für Drop-on-Demand-Verfahren wie in Tintenstrahl Druckern eingesetzt. Miniaturisierte Ventile für Dosieraufgaben im Nanoliter-Bereich werden z.B. mit Piezoscheiben realisiert. Ist der Bauraum nebensächlich, können Piezostapelaktoren oder hebelübersetzte Piezoantriebe eingesetzt werden. Diese erzeugen größere Kräfte und eignen sich für längere Stellwege und damit auch für Applikationen, bei denen – abhängig von den Materialeigenschaften – bestimmte Tropfengrößen erreicht werden müssen.

Mikrodosierventile werden auch zur Medikamentendosierung eingesetzt (Abb. 4). Ähnliche Anwendungen finden sich auch im industriellen Bereich bei der Feindosierung von Lötmitteln, Ölen, Fetten, Klebstoffen etc. Dabei eignen sich Mikroventile sowohl für Gase als auch für Flüssigkeiten.

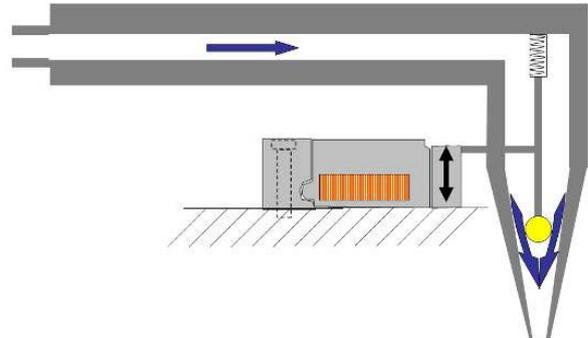


Abb. 4 In Mikroventilen, insbesondere wenn viskose Flüssigkeiten mit tendenziell höheren Druckkräften verarbeitet werden, können Translationsaktoren mit und ohne Vorspannung eingesetzt werden, wo größere Hübe des Ventilstößels benötigt werden, auch mit Hebelübersetzung

Schlauchpumpen: gleichmäßige und stoßfreie Dosierung

Wenn Flüssigkeiten oder Gase nicht nur präzise, sondern auch möglichst gleichmäßig und stoßfrei dosiert werden sollen, bieten sich häufig Schlauch- oder Peristaltikpumpen an.

Bei ihnen wird das zu fördernde Medium durch äußere mechanische Verformung eines Schlauches durch diesen hindurchgedrückt.

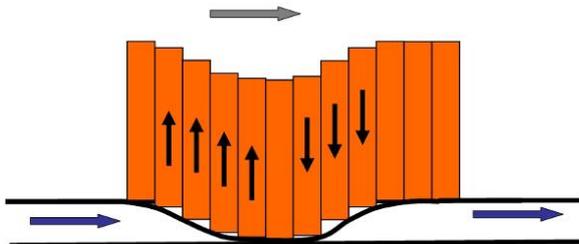


Abb. 5 Funktionsprinzip einer Schlauchpumpe

Die mechanische Verformung wird durch Piezoaktoren bewirkt (Abb. 5). Schlauchpumpen lassen sich sehr einfach sterilisieren, arbeiten kontaktlos und sind ohne Ventile in beide Richtungen zu betreiben. Die Pumprichtung wird durch die Ansteuerung der einzelnen Aktoren bestimmt.

Solche Schlauchpumpen findet man in der Labortechnik ebenso wie beim Dosieren von Industrieklebern oder Lötmitteln und auch die meisten Infusionspumpen arbeiten nach diesem Prinzip. Als Antriebselement sind hier je nach Anforderungen an Kraft und Bauraum flache Piezobiegeelemente, kompakte Piezochipaktoren oder Piezostapelaktoren eingesetzt.

Biegewandler eignen sich dabei hauptsächlich für Anwendungen mit niedrigem Gegendruck, z. B. für Flüssigkeiten mit niedriger Viskosität. Durch den geringen Bauraum, den sie beanspruchen, lassen sie sich sehr gut in die Pumpen integrieren. Höhere Gegendruckfähigkeit bieten die Piezoaktoren, mit denen auch Stoffe höherer Viskosität verarbeitet werden können.

PipeJet-Dispenser: das piezogetriebene Direktverdrängungsverfahren

Besonders interessant ist das piezogetriebene Direktverdrängerverfahren der PipeJet-Dispenser (Abb. 6), das sich in entscheidenden Punkten von den meisten üblichen Piezo-Dosierverfahren unterscheidet (Abb. 7).

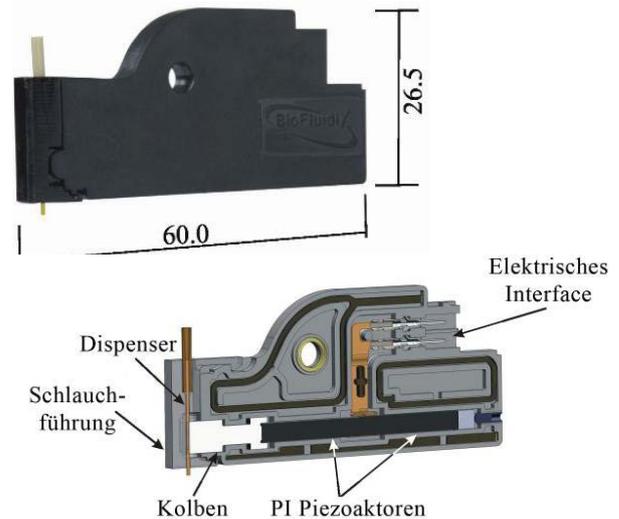


Abb. 6 Schnittbild durch einen PipeJet (Biofluidix)

Die Fluidleitung besteht aus einem elastischen Polymerschlauch mit definiertem Innendurchmesser. Der eingesetzte Aktor dehnt sich entlang seiner Längsachse aus und kann den Polymerschlauch über einen Kolben bis zu 100-mal stärker verengen als z. B. Ringaktoren.

Damit bringt er für die sichere Dosierung schwieriger Medien genügend Kraftreserven auf und auch partikelbehaftete Flüssigkeiten wie z. B. Farben, Bead- oder Zellsuspensionen können problemlos in exakter Tröpfchenform dosiert werden.

Ein Anwendungsbeispiel für solche Dispenser in der klinischen Diagnostik sind Lateral Flow Assays, also Teststreifen, die eine gezielte Dosierung von Flüssigkeiten erfordern.

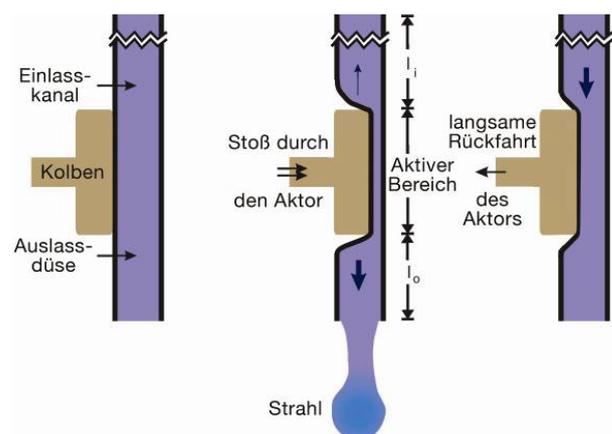


Abb. 7 Die PipeJet-Technologie setzt beim Dosieren auf eine piezogetriebene Direktverdrängung. (Biofluidix)

Effiziente Aerosolerzeugung mit Piezoelementen

In der Medizintechnik nutzt man Piezoaktoren oft in Therapiegeräten. Zur Behandlung von Atemwegserkrankungen werden die Medikamente häufig durch Vernebler direkt verabreicht. Üblicherweise zerstäubt dabei Druckluft die Inhalationslösung in feinste Tröpfchen.

Eine alternative Methode ist die Erzeugung feinsten Tröpfchen mit Hilfe der Piezotechnologie. Speziell geformte Piezoscheiben wirken hier als Ultraschallwandler und regen eine mit mehreren tausend Löchern versehene Edelstahlmembran zu Ultraschallschwingungen mit über 100 Kilohertz an (Abb. 8).



Abb. 8 Die Aerosolerzeugung im Verneblerkopf der eFlow® rapid Electronic Nebulizer Serie setzt Piezoaktoren zur Erzeugung von Ultraschallschwingungen ein. (Pari Pharma GmbH)

Dadurch werden besonders homogene Aerosole erzeugt. Dies bringt Vorteile für die präzise Dosierung – die hochwertigen Medikamente können gezielter verabreicht werden, was den Zugang zu neuen Therapiekonzepten ermöglicht und das Risiko von Nebenwirkungen reduziert. Selbst die speziellen Hygieneanforderungen, die der Einsatz in der Medizintechnik mit sich bringt, meistert die Piezokeramik; die Aerosolerzeuger sind für die professionelle Sterilisation in Autoklaven geeignet.

Ultraschall ist für den Menschen geräuschlos, und der geringe Energiebedarf der Piezokomponente ermöglicht auch den Batteriebetrieb. Außerdem verringert die Piezotechnologie die benötigte Zeit für die Verneblung von Medikamenten um bis zu 50 % verglichen mit konventionellen Systemen. Gerade für Patienten mit chronischen Atemwegserkrankungen bedeutet dies einen Zugewinn an Lebensqualität.

Air-Bubble-Detektoren für die Flussüberwachung

Im medizinischen Bereich ist es häufig nötig, einen ungestörten Fluss ohne Luft- oder Gaseinschlüsse sicherzustellen, z. B. in der Dialyse, bei Transfusions-pumpen. Dies gelingt mit Hilfe der Ultraschalltechnik in sogenannten Air-Bubble-Detektoren (ABD), auch Blasendetektoren genannt (Abb. 9).

In diesen Sensoren dienen Piezoelemente zur Erzeugung und zum Empfang von Ultraschallwellen. Die Sensoren werden außen an flexiblen Schläuchen angebracht und arbeiten ohne Kontakt zum transportierten Medium; sie beeinträchtigen daher weder die Durchflussmenge noch ist die Gefahr einer Kontamination gegeben. Durch die nichtmagnetische Piezotechnologie ist – bei geeigneter Abschirmung der Elektronik – daher sogar ein Betrieb in extremer Umgebung möglich, wie im Bereich von Magnetresonanztomografen.

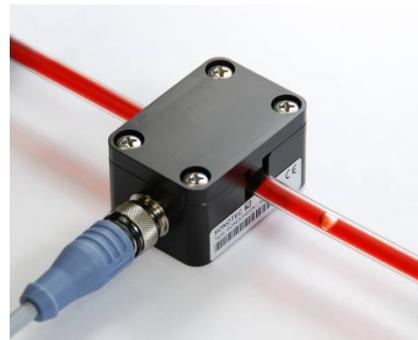


Abb. 9 Auf Ultraschall basierende Blasendetektoren überwachen den Fluss kontaktfrei (Sonotec Ultraschallsensorik Halle GmbH)

Fazit

Piezoaktoren haben sich als Antriebselemente für Pump- und Dosieranwendungen in der Prozess- und Medizintechnik bewährt. Sie sind wartungsfrei, arbeiten mit kurzen Ansprechzeiten und bewegen sich dabei mit Auflösungen im Sub-Nanometerbereich bei hoher Dynamik und Frequenzen bis zu mehreren Tausend Hertz.

Piezoelektrische Antriebslösungen können bei einer Vielzahl unterschiedlicher Systeme eingesetzt werden und teilweise sogar neue Lösungsansätze ermöglichen. Auch die entsprechenden Ansteuererelektroniken lassen sich perfekt auf die jeweilige Applikation anpassen und bieten die erforderliche Dynamik für die kurzen Schaltzeiten. Die in Karlsruhe ansässige Firma Physik Instrumente (PI), die Muttergesellschaft der Piezokeramik-Spezialisten in Lederhose, hat für nahezu jede Aufgabenstellung die passende Lösung parat.

Über PI Ceramic

PI Ceramic gilt als weltweit führendes Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte. Große Erfahrung im komplexen Entwicklungs- und Herstellungsprozess funktionskeramischer Bauelemente verbunden mit modernster Produktionsausstattung gewährleisten hohe Qualität, Flexibilität und Liefertreue.

Prototypen und Kleinserien kundenspezifischer Piezobaugruppen stehen bereits nach kurzen Bearbeitungszeiten zur Verfügung. PI Ceramic besitzt darüber hinaus die Kapazitäten für die Herstellung mittlerer und großer Serien in automatisierten Linien. PI Ceramic ist ein Tochterunternehmen der Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG und hat seinen Sitz in Lederhose, Thüringen.

Autoren



Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Leiter „Markt und Produkte“ bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee