

# Klein sein bringt Vorteile

Positioniersysteme in miniaturisierter Bauweise bieten hohe Auflösung bei langen Stellwegen.

Steffen Arnold und Ellen-Christine Reiff

Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Markt & Produkte, Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Auf der Römerstr. 1, 76228 Karlsruhe, Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee

Immer kleinere, hochgenaue Positioniersysteme sind in der industriellen Mikromontage, Photonik sowie Laser- und optischen Messtechnik oder Forschungseinrichtungen mit Ultrahochvakuum-Bedingungen und starken Magnetfeldern essenziell. Ähnliche Anforderungen stellen mess- oder medizintechnische Anwendungen, vor allem beim mobilen Einsatz. Positioniersysteme, die auf Piezo-Trägheitsantrieben basieren, bieten in miniaturisierter Bauform eine hohe Auflösung bei theoretisch unbegrenzten Stellwegen, sind selbsthemmend und preisgünstig.

Piezokeramische Antriebskonzepte ermöglichen heute für praktisch jede Aufgabenstellung in der Präzisionspositionierung eine passende Lösung. Allen Konzepten gemeinsam sind die kompakten Abmessungen und die hohe Positioniergenauigkeit, die im Funktionsprinzip begründet ist. Piezoaktoren wandeln elektrische Energie direkt in mechanische Arbeit um und ermöglichen Bewegungen im Sub-Nanometerbereich – und das bei kurzen Ansprechzeiten und hoher Beschleunigung. Der Piezoeffekt basiert auf elektrischen Feldern, daher erzeugen Piezoaktoren weder Magnetfelder noch werden sie davon beeinflusst. Sie arbeiten praktisch verschleißfrei. Da die Aktoren zudem kein Schmiermittel benötigen, eignen sie sich gut für Vakuum-Anwendungen.

Abb. 2 Ein piezoelektrischer Aktor dehnt sich aus und nimmt einen bewegten Läufer mit (rote Pfeile). Im zweiten Teil des Bewegungszyklus kontrahiert der Aktor so schnell (grüner Pfeil), dass er am bewegten Teil entlang gleitet und dieser aufgrund seiner Trägheit die Bewegung nicht nachvollziehen kann und auf seiner Position verharrt.

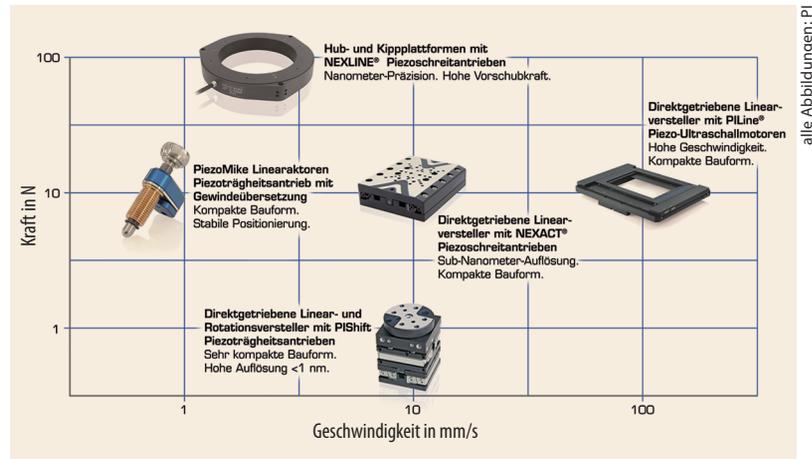
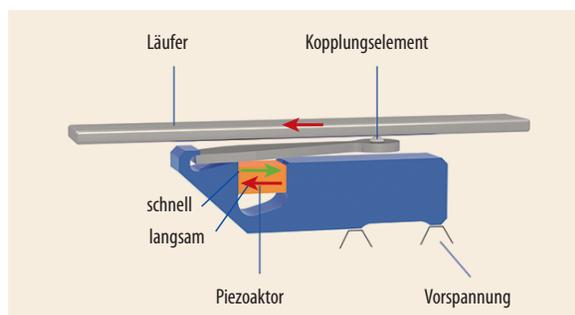


Abb. 1 Q-Motion-Positioniersysteme, die auf piezobasierten Trägheitsantrieben beruhen, schließen die Lücke zwischen Piezos und ihren Schreitrantrieben.

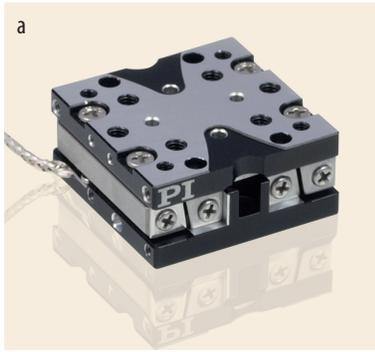
Allerdings beträgt die durch den Piezoeffekt hervorgerufene Auslenkung nur den Bruchteil eines Prozents der Bauteilgröße. Daher kann es aufwändig und teuer sein, größere Stellwege zu erreichen. Mit den Positioniersystemen der Q-Motion-Linie hat Physik Instrumente (PI) jetzt entsprechend reagiert und die Lücke geschlossen, welche bisherige Antriebstechnologien der PILine-Ultraschallmotoren und Piezo-Schreitrantriebe nicht abgedeckt haben (Abb. 1): Die Ultraschallantriebe erreichen hohe Geschwindigkeiten bei Auflösungen um die 50 nm, während Schreitrantriebe extreme Auflösungen von bis zu 0,1 nm ermöglichen und dabei große Kräfte entwickeln. Die Q-Motion-Linie steht für hohe Auflösung im Nanometerbereich mit theoretisch unbegrenzten Stellwegen, miniaturi-

sierte Bauform und günstigen Preis. Dabei sind die piezoelektrischen Trägheitsantriebe keineswegs träge, wie der Name vermuten lässt. Je nach Ausführungsform werden sie mit einer Frequenz von 20 kHz betrieben, sind dadurch nicht hörbar und erreichen Geschwindigkeiten von bis zu 10 mm/s.

## Der Stick-Slip-Effekt bewegt

Das Funktionsprinzip der piezobasierten Trägheitsantriebe beruht auf dem Stick-Slip-Effekt für feine Schritte von wenigen Mikrometern Länge (Abb. 2). Dabei kontrahiert der Aktor so schnell, dass ein bewegter Läufer dieser Bewegung nicht folgen kann. Ähnlich wie bei Piezo-Schreitrantrieben sind so theoretisch unbegrenzte Stellwege möglich, allerdings kommt das Funktionsprinzip mit nur einem Aktor pro Achse aus, was den Aufbau vereinfacht und Kosten spart.

Die elektrische Ansteuerung der piezobasierten Trägheitsantriebe ist im Prinzip einfach; ihr Ausgangssignal erinnert an einen Sägezahn. Der Aktor wird zyklisch angesteuert – in die eine Richtung schnell, in die andere langsam. Eine gehörige



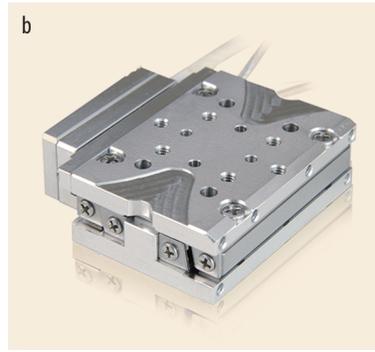
**Abb. 3** Im Zusammenspiel mit geeigneten mechanischen Komponenten entsteht ein Positioniersystem mit kleinsten Abmessungen: Der Linearversteller ist lediglich 22 Millimeter breit (a). Q-Moti-

on-Versteller können als Linear-, Rotations- oder 6-Achsen-Positionierer für den Betrieb bis ins Ultrahochvakuum ausgelegt werden (b).

Portion Know-how ist allerdings notwendig, um die Ansteuerung und die Mechanik so aufeinander abzustimmen, dass die langsame Bewegung zum Vorschub eines Läufers führt, die schnelle nicht. In der „Stick-Phase“ verhält sich der Aktor wie jeder andere Piezoaktor auch und kann in Verbindung mit einem entsprechenden Encoder eine Positionsauflösung von einem Nanometer und darunter erzielen. Im Ruhezustand sind die piezobasierten Trägheitsantriebe selbsthemmend, verbrauchen also keine Energie. Bei mess- oder medizintechnischen Geräten, die für den mobilen Einsatz bestimmt sind, schont dies die Akkus. Beispiele dafür liefern die Optikverstellung in optischen Messgeräten oder die Arzneimitteldosierung in Pumpen, die der Patient mit sich trägt.

### Vom Linearversteller ...

Das Funktionsprinzip bietet zudem eine hohe Flexibilität bei der Auslegung der Positioniersysteme; es ermöglicht eine einfache Konfiguration der Aktoren und Ansteuerung. Das Herz der Bewegung, der piezobasierte Antrieb, wird als Modul eingesetzt. So lassen sich wahlweise lange Stellwege oder Drehbewegungen realisieren und einzelne Achsen gut miteinander kombinieren. Dadurch sind die Anschaffungskosten gering. Gleichzeitig sind sehr kleine Bauformen möglich. Der piezokeramische Aktor und seine Halterung sowie



der optionale Positionssensor sind klein. Im Zusammenspiel mit den passenden mechanischen Komponenten entstehen je nach Applikationsanforderungen hochauflösende Positioniersysteme mit geringen Abmessungen.

Der zurzeit kleinste Linearversteller ist lediglich 22 mm breit und 10 mm hoch (Abb. 3a). Er eignet sich für Stellwege von 6,5, 13 oder 26 mm und erreicht eine Geschwindigkeit von bis zu 10 mm/s. Dabei entwickelt er eine Vorschub- und Haltekraft von 1 N. Ausgestattet mit einem inkrementellen Encoder ermöglicht er eine Auflösung von bis zu 1 nm. Typische Einsatzbereiche für den kleinen Präzisionsversteller (Abb. 3b) gibt es viele, zumal er auch in Vakuumausführung erhältlich ist und sich bei Bedarf ohne zusätzliche Adapter mit weiteren Linearachsen oder Rotationstellern kombinieren lässt. Das Spektrum der Anwendungen reicht von Messtechnik, Mikroskopie und Mikro-



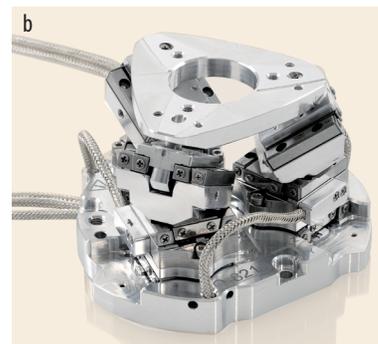
**Abb. 4** Der präzise Rotationsversteller hat einen Durchmesser von nur 14 mm (a). Handtellergröße, parallelkinematische SpaceFABs (b) haben sechs Bewe-

manipulation über Biotechnologie und Medizintechnik bis hin zur Automatisierung. Bei Bedarf sind auch nichtmagnetische Versionen verfügbar, z. B. für den Einsatz in Elektronenmikroskopen.

### ... zum Positioniersystem

Ähnlich vielseitig sind die Miniatur-Rotationsversteller (Abb. 4a). Die Mikrostelltische der Präzisionsklasse haben einen Durchmesser von lediglich 14 mm, erreichen Auflösungen von 1  $\mu$ rad; die Haltekraft der Linearversteller im stromfreien Zustand beträgt bis zu 8 N und die maximale Geschwindigkeit 10 mm/s, rotatorisch bis 70 %/s. Für Anwendungen, in denen Proben, Detektoren, optische Komponenten oder Werkzeuge im Raum zu bewegen oder zu drehen sind, gibt es sechsachsige, parallelkinematische Positioniersysteme. Diese SpaceFABs sind so klein, dass sie mühelos auf einem Handteller Platz finden (Abb. 4b). Das Design basiert auf kombinierten Linearverstellern und lässt sich schnell und unkompliziert an konkrete Anwendungen anpassen, zum Beispiel für den Einsatz im Hoch- und Ultrahochvakuum.

Den miniaturisierten Präzisionspositioniersystemen der Q-Motion-Linie dürften sich damit zahlreiche Anwendungsbereiche erschließen, bei denen Genauigkeit, kleine Bauform und günstige Anschaffungskosten gefragt sind.



gungsachsen und eignen sich für Anwendungen, in denen Proben, Detektoren oder Werkzeuge im Raum zu bewegen und zu drehen sind.