

# Design miniaturisierter Produkte mit piezoelektrischen Motoren

## Große Kräfte und hohe Geschwindigkeiten bei geringer Leistungsaufnahme

**P**iezoelektrische Motoren (Aktoren) sind neue Bauelemente für die Entwicklung miniaturisierter Produkte. Ein solches Bauelement ist der „Squiggle-Motor“, ein piezoelektrischer Linearantrieb von New Scale Technologies [1]. Der kleinste Motor in der neuen Baureihe misst lediglich  $1,55 \times 1,55 \times 6 \text{ mm}^3$ , nimmt eine Leistung von lediglich 400 mW auf und erzeugt eine Linearkraft von 0,2 N bei einer Vortriebsgeschwindigkeit von 5 mm/s (Bild 1). Der Motor benötigt im Stillstand keine Leistung, um eine erreichte Position zu halten; dies ist bei batteriebetriebenen Geräten von Vorteil.

Der patentierte Squiggle-Motor ist aufgebaut aus vier piezoelektrischen Biegeaktoren, die mit einer Röhre verbunden sind, in die ein Gewinde eingeschnitten wurde (Bild 2). Die Polarität der Biegeaktoren ist so gewählt, dass eine gemeinsam angelegte Treiberspannung an den einander gegenüberliegenden Plättchen eine entgegengesetzte mechanische Spannung verursacht. Die Scherspannung  $d_{31}$  ist parallel zu der Oberfläche des Biegeaktors gerichtet und verbiegt die Röhre (Bild 3). Die Frequenz der Biegespannung entspricht der ersten Resonanzfrequenz der Röhre. Bei dieser mechanischen Resonanzfrequenz wird eine kleine Änderung der Biegespannung des Piezoplättchens verstärkt mit dem Gütefaktor des Resonanzkreises der Röhre. Wegen der Symmetrie stimmt die Resonanzfrequenz auch mit der Anregungsfrequenz der orthogonalen Piezoplättchen überein. Der orbitale Schwingungsmodus, gewissermaßen ein „Hula Hoop“-Effekt, wird erzeugt, indem die beiden Spannungen für die orthogonal zueinander stehenden Biegeaktoren bei der Resonanzfrequenz eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  auf-

**Durch die Kombination von geringer Baugröße, niedriger Leistung und hoher Genauigkeit ist der Squiggle-Motor interessant für den Einsatz in Foto-Handys, elektronischen Schlössern und Riegeln, medizinischen Geräten – etwa in der Optik für Endoskope oder Medikamentenpumpen – sowie Mikrofluidik-Baugruppen, dazu zählen etwa Brennstoffzellen und „Lab on a Chip“-Elemente.**

Von Lisa Schaertl und Michael Dreher

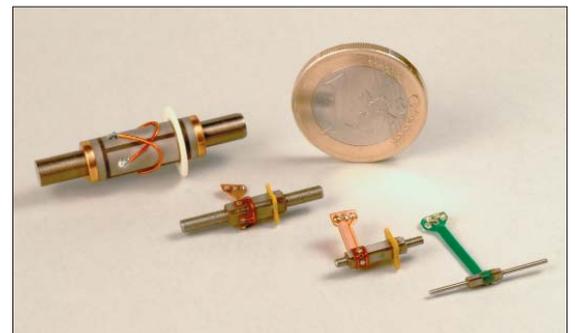
weisen. Die Anregung kann dabei mit sinusförmigen Signalen und mit Rechtecksignalen erfolgen.

Die Tangentialkomponente der Reibungskraft der vibrierenden Gewindemutter dreht die Spindel. Bei diesem Arbeitsprinzip „wickelt“ sich die Mutter mit dem Schwingungsmodus sozusagen um die Spindel herum und versetzt diese in eine Linearbewegung, ohne dass noch weitere mechanische Umwandlungen erforderlich sind. Die Gewindereibung ist hierbei nicht schädlich, sondern treibt die Spindel an. Die Gewindesteigung vervielfacht dabei die lineare Kraft und erhöht die Genauigkeit der Positionierung. Der beste Wirkungsgrad bei der mechanischen Kopplung zwischen der Röhre und der Spindel wird dann erreicht, wenn die Frequenz des Ultraschall-Steuersignals mit der ersten Biegesonanzfrequenz der Röhre übereinstimmt; diese liegt bei der SQL-Baureihe der Squiggle-Motoren zwischen 100 und 150 kHz.

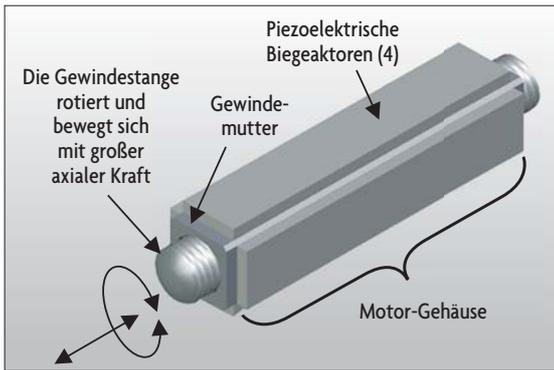
### Systemintegration

Squiggle-Motoren weisen eine ausgezeichnete Auflösung hinsichtlich des Stellweges auf; die kleinsten Vertreter der SQL-Baureihe kommen auf Auflösungen von 500 nm, die größeren SQ-

100-Motoren erreichen 20 nm. Allerdings ist die Vorschubgeschwindigkeit des Motors abhängig von der Last und der Reibung. Daher ist für Anwendungen, in denen es auf das Anfahren eines absoluten Positionswertes bzw. auf eine hohe Wiederholgenauigkeit und auch auf das Einhalten einer vorgegebenen Stellgeschwindigkeit ankommt, ein geschlossener Lageregelkreis erforderlich. In einem Lageregelkreis ermittelt ein Sensor die Ist-Position und meldet diese an die Motorsteuerung. Die Motorsteuerung vergleicht die Ist-Position mit der Soll-Position und bewegt den Motor so lange, bis die Abweichung verschwindet. Auf diese Weise kann der Motor eine



**Bild 1.** Die Abmessungen des kleinsten Squiggle-Motors betragen  $1,55 \text{ mm} \times 1,55 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ ; die Leistungsaufnahme beträgt weniger als 400 mW, der Motor erzeugt eine Kraft von 0,2 N bei einer Stellgeschwindigkeit von 5 mm/s.



**Bild 2.** Der Squiggle-Motor ist eine einfache Konstruktion aus wenigen Bauteilen: piezoelektrische Biegeaktoren, Gewindehülse und Gewindestange; Zahnräder werden nicht verwendet.

vorgegebene Position genau anfahren. Ebenso lässt sich das Verstellen des Motors mit einer vorgegebenen Geschwindigkeit realisieren; dabei bestimmt die Verstärkung des Treibers, mit welchem „Schleppfehler“ der Motor einer Sollwert-Vorgabe der Position folgt.

Die Wahl des Weggebers reicht vom einfachen Grenzwertschalter bis zum miniaturisierten optischen Encoder. Dabei wird die Wegauflösung im Wesentlichen von drei Faktoren bestimmt:

- ▶ Auflösung des Weggebers,
- ▶ Auflösung des Motors,
- ▶ Auflösung des A/D-Umsetzers in der Motorsteuerung.

Wenn etwa eine Positioniergenauigkeit von  $10\ \mu\text{m}$  gefordert ist, sollte der Weggeber mindestens eine Auflösung von  $5\ \mu\text{m}$  erreichen, der Motor eine Auflösung von  $2,5\ \mu\text{m}$ , und der A/D-Umsetzer muss in der Lage sein, das Signal des Weggebers in so kleine Inkremente zu wandeln, dass der Motor entsprechend seiner höchsten Positioniergenauigkeit angesteuert werden kann. Als Beispiel wird hier ein System betrachtet, mit dem eine Auflösung von  $10\ \mu\text{m}$  über einen Stellweg von 2 mm erreicht werden soll. Hierfür kann u.U. ein Hall-Sensor mit einem 4 mm langen magnetisierten Streifen eingesetzt werden. Abgetastet werden hiervon, wegen der besseren Linearität, nur 2 mm in der Mitte, jeweils 1 mm am Rand bleibt ungenutzt. Mit einem 10-bit-A/D-Wandler lässt sich eine Auflösung von 0,001 erreichen, über die 4 mm gerechnet sind dies  $4\ \mu\text{m}$ . Die Auflösung eines Squiggle-

Motors der SQL-Serie beträgt  $0,5\ \mu\text{m}$ , der Engpass bei der Auflösung liegt also beim A/D-Umsetzer. Selbst unter der Annahme eines bestimmten Hintergrundrauschens wird die Auflösung des Wegsensors ausreichen, um eine Wiederholgenauigkeit der Positionierung von  $10\ \mu\text{m}$  zu erreichen. Mit einer höheren Auflösung des A/D-Umsetzers wäre die Positioniergenauigkeit allerdings besser.

Dass sich der Squiggle-Motor sinnvoll einsetzen lässt, wurde bereits in einer Reihe von Anwendungen gezeigt. Im Folgenden wird die Anwendung in einem Foto-Handy beschrieben, bei dem der Mechanismus für Autofokus und Zoom mit einem Lageregelkreis mit einer Auflösung von  $0,02\ \mu\text{m}$  realisiert werden konnte.

### ■ Ansteuerung des Squiggle-Motors

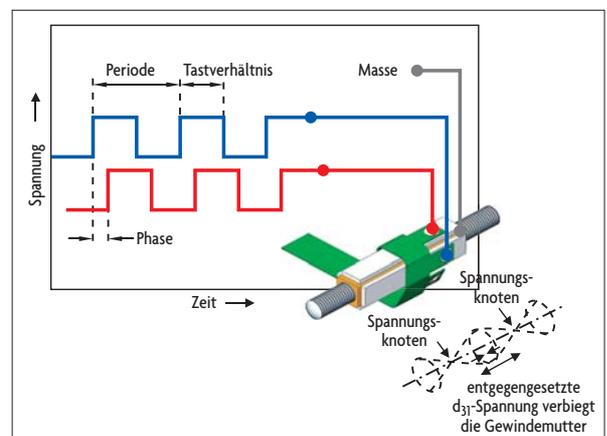
Eine Motorsteuerung für die Squiggle-Motoren liefert zur Ansteuerung ein zweiphasiges Signal im Ultraschall-Frequenzbereich. Der Weggeber liefert entweder ein analoges oder ein digitales Quadratur-Signal (RS 422) für die Positionsbestimmung. Mit Hilfe einer Software kann der Anwender den Stellbereich und die Auflösung angeben, diese Parameter werden bei der Aufbereitung der Positionier-Befehle genutzt. Die Elektronik realisiert einen PID-Regler, mit dem sich die Motorantwort auf das vom Wegsensor zurückgeführte Signal aktiv beeinflussen lässt. Dabei werden die Koeffizienten so eingestellt, dass der Motor stabil betrieben werden kann und nicht schwingt. Die Motorsteuerung kann zudem für den Betrieb ohne Rückführung genutzt werden (offene Regelschleife). Die zugehörige Software läuft unter den Windows-Betriebssystemen XP oder Vista. Darüber hinaus lässt sich eine Steuerung über

ActiveX-Komponenten realisieren, die sich in andere Anwendungen integrieren lässt, wenn diese in C++ oder Visual Basic geschrieben sind. Eine Dokumentation ist verfügbar, in der die ASCII-Steuerbefehle aufgelistet sind, über die ein Embedded-System oder ein Mikrocontroller mit dem Chip für die Motorsteuerung kommunizieren.

Der kleinste Squiggle-Motor wird über eine direkte lineare Ansteuerung mit Spannungen zwischen 20 und 40 V betrieben. Bei den größeren Motoren wird ein Resonanz-Verstärker nachgeschaltet, der die Ausgangsspannung des ICs auf Amplituden zwischen 100 und 200 V bringt. Mit einem solchen Verstärker kann auch der Wirkungsgrad des Motors verbessert werden, da er die nicht genutzte Leistung für den nächsten Zyklus in den Induktivitäten speichert. Die Induktivitäten sind auf die für jede Motorgröße spezifischen Kapazitäten abgestimmt. Das IC sollte schließlich in der Lage sein, Rechteck-Signale mit einer programmierbaren Phasenverschiebung zu erzeugen (s.a. die Tabelle). Sollte dies nicht der Fall sein, lässt sich das erforderliche phasenverschobene Signal mit drei Rechteck-Signalen erzeugen, von denen zwei über ein XOR miteinander verknüpft werden.

### Betriebsart Amplitudensteuerung

Wird die Motoransteuerung so ausgelegt, dass ein großer Amplitudenhub zur Verfügung steht, dann lässt sich die Motorgeschwindigkeit durch Ver-



**Bild 3.** Entgegengesetzt gerichtete mechanische Spannungen erzeugen in der Röhre (Gewindemutter) eine orbitale Bewegung, mit der die Gewindestange in eine ruckfreie Linearbewegung versetzt wird.

änderung der Spannungamplitude eines kontinuierlichen Signals steuern. Diese Spannungsansteuerung hat den Vorteil einer ruhigen Bewegung, ist aber nur dann angebracht, wenn ein Wegegeber und ein PID-Regler eingesetzt werden. Werden die Motoren im unregelmäßigen Betrieb gefahren (offene Regelschleife), bietet der so genannte Burst-Modus die besten Ergebnisse.

**Betriebsart Burst-Steuerung**

Bei Motoransteuerungen mit fester Ausgangsspannungamplitude oder mit einem eingeschränkten Ausgangsspannungsbereich kann die Motorgeschwindigkeit durch ein Folge von Ansteuerungspulsen (Burst) beeinflusst werden. Die Dauer der Pulse innerhalb eines jeden Intervalls bestimmt dann die Motorgeschwindigkeit. Bei einigen ICs lässt sich die Anzahl der Pulse programmieren, mit denen der Motor angesteuert wird. Bei der Verwendung von ICs, bei denen kein Pulszähler implementiert ist, müssen zwei

Parameter	Beschreibung	Wert für den Squiggle-Motor
Periode	Zeit zwischen dem Startpunkt zweier Ansteuerungszyklen, das Inverse der Ansteuer-Frequenz	Periode ist gleich bzw. nahezu gleich der Periode der mechanischen Resonanz der Röhre
Tast-Verhältnis	Die Zeit, während der das Treibersignal innerhalb eines jeden Zyklus auf „High“ liegt	Nie größer als 50 % der Periode
Phase	Der zeitliche Abstand zwischen dem Startpunkt einer Periode in jedem Ansteuersignal	25 % der Periode
Amplitude	Die maximale Spannung, die in jedem Zyklus erreicht wird	Bis zu 200 V

Die Eingangs-Parameter für die ICs, die die Rechteck-Signale für die Ansteuerung des Motors erzeugen

**Kalibrieren der Genauigkeit in der offenen Schleife**

Der Einsatz des geschlossenen Regelkreises wird dann empfohlen, wenn genaue Schrittweite, Wiederholgenauigkeit und/oder die Einhaltung einer vorgegebenen Geschwindigkeit gefordert sind. Für den gesteuerten Betrieb, also bei offener Regelschleife, besteht die Möglichkeit, für einen Motor in einer gegebenen Anwendung eine mittlere Schrittweite einzustellen. Diese Schrittweite kann etwa durch eine Anzahl von Pulsen bestimmt sein, die für eine Bewegung über 10 µm erforderlich sind. Es muss hier festgehalten werden, dass nur eine mittlere Schrittweite vorgegeben werden kann, der individuelle Schritt kann dabei unterschiedlich sein.

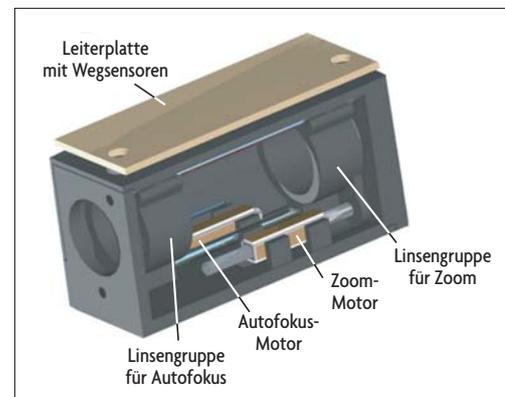
Eine Methode zur Kalibrierung der Schrittweite besteht in der Verwendung eines Kapazitätsmessgerätes. Dabei wird der Motor in jeder Richtung – zu und von der Last – zu einer Start-Position gefahren, dabei wird eine Grundkapazität aufgezeichnet. Der Motor wird daraufhin mit zahlreichen Pulszügen (Bursts) von 100, 200, 500 und 1000 Pulsen angesteuert. Nach jedem Pulszug wird die Kapazität gemessen. Unter Verwendung dieser Resultate lässt sich der mittlere Stellweg für 100, 200, 500 und 1000 Pulse bestimmen. Schließlich lässt sich mit diesen Werten ein Polynom bestimmen, aus dem wiederum die Anzahl der für einen bestimmten Stellweg erforderlichen Pulse berechnet werden kann.

**Anwendungen**

**Foto-Handys**

Die Handy-Hersteller sind derzeit bemüht, Kamera-Handys mit besserer Bildqualität herzustellen. Eine Vorgehensweise besteht darin, die festen

Optiken durch eine Baugruppe mit zueinander beweglichen Mikro-Linsen zu ersetzen, mit der sich Autofokus und optischer Zoom realisieren lassen. Linsenmodule mit Squiggle-Motoren können so klein ausgeführt werden, dass sie in Handys passen; die Schaltkreise zur Ansteuerung können zudem



**Bild 5. Kamera-Modul mit Autofokus und dreifachem optischen Zoom, das zwei Squiggle-Motoren verwendet. Die Höhe wird ausschließlich durch die Linsen-Konstruktion bestimmt.**

von der 3-V-Handy-Batterie aus betrieben werden. Die Motoren arbeiten leise und funktionieren in einem großen Betriebstemperaturbereich, widerstehen Schock-Belastungen und benötigen weder Fett noch andere Schmiermittel, mit denen etwa die Optik verschmutzt werden könnte.

Bislang wurden zwei Referenz-Designs mit Squiggle-Motoren für den Einsatz in Foto-Handys entwickelt. **Bild 4** zeigt ein Autofokus-Modul in einem SMIA85-Gehäuse, das einen Squiggle-Motor für die Bewegung einer Linse in einer flexiblen Führung verwendet. **Bild 5** zeigt eine Autofokus-Linse mit dreifachem optischen Zoom, in dem zwei Squiggle-Motoren zwei Linsen-Gruppen bewegen. Die Lin-



**Bild 4. Ein Autofokus-Kamera-Modul mit Squiggle-Motor in einem SMIA85-Gehäuse.**

Timer vorgesehen werden: Der eine schaltet die Motorspannung zu Beginn eines jeden Intervalls ein, der andere schaltet die Motorspannung aus, sobald die Dauer des Ansteuerpulses abgelaufen ist. Bei Anwendungen mit einer geschlossenen Regelschleife wirkt der PID-Regler als Intervall-Timer. In jedem Intervall überprüft die Firmware des PID-Reglers die Position des Motors und berechnet auf der Grundlage der Positionsabweichung und der PID-Koeffizienten die erforderliche Anzahl der Pulse bzw. die Dauer des Ansteuerungssignals.



**Bild 6.** Squiggle-Motor in einem motorisch betätigten Schließmechanismus; die Gewindestange drückt hier auf einen vorgespannten Stift.

sen-Gruppen sind für eine ruckfreie Bewegung auf Schienen montiert; ein integrierter Weggeber ermöglicht einen geregelten Betrieb.

### Elektronische Schlösser und Riegel

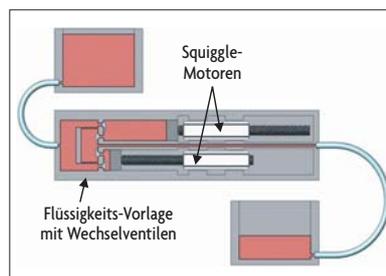
Elektronische Zugangssysteme wie Magnetkarten, Tastaturen und biometrische Sensoren ersetzen in vielen industriellen Fertigungsstätten mechanische Schließsysteme. Das Marktvolumen für elektronische Zugangskontrollsysteme soll bis zum Jahr 2010 bis auf 6,1 Mrd. Dollar anwachsen [6]. Der elektronisch gesteuerte Zugang verbessert die Sicherheit und ermöglicht eine bessere Überwachung bei höherer Flexibilität. Zudem sind elektronische Schlösser und Riegel von wachsendem Interesse für Anwendungen wie Medikamentenschränke und -wagen in Krankenhäusern, Sicherheitsverriegelungen im Automobil und Schutzeinrichtungen für IT-Hardware.

In einem neuen Aktor für den Einsatz in elektronisch gesteuerten Schlössern bietet ein Squiggle-Motor geringe Baugröße und niedrige Leistungsaufnahme. Der Aktor integriert einen Squiggle-Motor und zwei optische Schalter in einem kompakten Polymer-Gehäuse. In einem typischen Schloss drückt die Spitze des Squiggle-Motors auf einen gefederten Stift, der die Verriegelung bewirkt (Bild 6). Dieser Aktor ist nur halb so groß wie Elektromagnete oder Schrittmotoren, die heute in elektronischen Schlössern eingesetzt werden, zudem ist seine Leistungsaufnahme erheblich niedriger. Der Squiggle-Motor bietet einen Hub von 4 mm mit großer Betäti-

gungskraft und hoher Geschwindigkeit, und er behält seine Position, ohne dass er Energie benötigt. Betätigt wird der Aktor mittels einer TTL-Treiberkarte, die von zwei Standard-AA-Batterien gespeist wird.

### Medizinische Geräte

Squiggle-Motoren lassen sich zur Fokussierung der Optik an einem Endoskop einsetzen, die Konstruktion ist so ähnlich wie die Linseneinstellung am Objektiv eines Foto-Handys. Durch die Fokussierungsmöglichkeit verbessern sich die Einsatzbedingungen für den Arzt, weil er das Bild eines interessierenden Bereiches scharfstellen kann, ohne dass er die Lage des Endoskops verändern muss. Der Squiggle-Motor erzeugt kein Magnetfeld und kann vollständig aus nicht-ferromagnetischen Materialien hergestellt werden: rostfreier Stahl, Bronze und Titan. Solche speziellen Squiggle-Motoren lassen sich innerhalb bzw. im Um-



**Bild 7.** Die gezeigte Mikropumpe arbeitet nach dem Verdrängerprinzip. Die beiden Squiggle-Motoren betätigen wechselweise die Kolben, Ein- und Auslass werden über Ventile gesteuert.

feld von Kernspintomografen (MRI – Magnetic Resonance Imaging) problemlos einsetzen. Eine MRI-kompatible Medikamenten-Pumpe wurde von den Wissenschaftlern am Roswell Park Cancer Institute vorgestellt [7]. Diese Injektionsspritze injiziert Medikamenten-Lösungen in Tiere, während diese einem Magnetfeld von 1,5 T ausgesetzt sind. Dabei musste eine 2-ml-Standard-Spritze mit einer Kraft für 5 N über einen Weg von rund 10 cm betätigt werden.

Wegen der geringen Baugröße und der hohen Positionsaufklärung erscheint der Squiggle-Motor gut geeignet für den Einsatz in tragbaren Geräten, etwa

zur Realisierung von Insulin-Pumpen. Bei einem Konzept für eine tragbare Medikamenten-Pumpe stellt die Antriebs spindle des Squiggle-Motors direkt den Kolben der Injektionsspritze dar. Der Motor bewegt die Antriebs spindle in kleinen Schritten mit Geschwindigkeiten von Mikrometern pro Minute bis zu Mikrometern pro Stunde. Ein optionaler magnetischer Drehgeber misst dabei jeden Schritt mit einer Genauigkeit im Sub-Mikrometer-Bereich; für die Erneuerung des Reservoirs und das Anfahren der Grundeinstellung kann der gleiche Motor die Spindel mit Millimetern pro Sekunde bewegen.

### Fluidik

Mikropumpen werden dafür entwickelt, Flüssigkeitsmengen im Bereich Mikro-Liter oder Nano-Liter sehr genau zu dosieren. Eine aktuelle Anwendung sind die „Labs on a Chip“, bei denen etwa für eine Blutanalyse oder den Nachweis von Verunreinigungen sehr kleine Flüssigkeitsmengen bewegt werden müssen. Andere Anwendungen sind etwa Mikro-Brennstoffzellen und Mikro-Schmiersysteme. Um den Verbrauch zu reduzieren und eine Verschmutzung zu verhindern, wird bei letzteren z.B. der Schmiermittelfluss durch einen feinen Sprühnebel ersetzt.

Die meisten Mikropumpen werden heute als Membranpumpen oder Schlauchpumpen ausgeführt; diese erzeugen einen nicht-kontinuierlichen, pulsartigen Druck. Die Konstruktion einer Mikropumpe [10] auf Basis des Squiggle-Motors weist diese Nachteile nicht auf; hier wird die genaue Linearbewegung genutzt, um den Kolben zu betätigen (Bild 7). Diese Verdrängerpumpe bietet höhere Genauigkeit, höheren Druck und einen besseren Fluss in einem Gehäuse, das nur ein Zehntel des Volumens einnimmt, das heutige Mikropumpen benötigen. Die Pumpe besteht aus zwei Linearmotoren mit zwei Kolben. Geschwindigkeit und Position der Kolben bestimmen unmittelbar den Durchfluss und das Volumen. Die beiden Motoren arbeiten in Gegenphase und erreichen damit einen kontinuierlichen Ausgangsfluss, während ein Kolben sich füllt, wird

der andere geleert. Bei der Bewegungs- umkehr der Motoren wird die Flussrichtung über Absperrventile gesteuert.

Im Gegensatz zu den Membranpumpen ist bei dieser Konstruktion das Volumen bei jedem Kolbenhub deutlich größer als die Verluste in den Absperrventilen. Daher wird die Funktion selbst durch eingeschlossene Luftblasen oder Partikel nicht beeinträchtigt. Die Konstruktion kann zudem sowohl bei hohen Drücken und Durchflussmengen eingesetzt werden als auch für eine genaue Dosierung im Nano-Liter-Bereich über mehrere Tage oder Wochen. Der Lage-Regelkreis sorgt dabei für eine genaue Steuerung des Durchflusses, unabhängig vom Gegendruck. Die Arbeitsfrequenz schließlich liegt unter 1 Hz, daher arbeitet die Pumpe nahezu geräuschlos, Druckimpulse werden weitgehend unterdrückt. Die Pumpe passt in ein Gehäuse von 28 mm × 6 mm × 3 mm.

## ■ Tiefkühltechnische Anwendungen

Für den Einsatz bei tiefen Temperaturen eignen sich speziell konstruierte Squiggle-Motoren, sie funktionieren im gesamten Temperaturbereich, von Flüssigstickstoff- bis Zimmertemperatur. Der Motor weist nur eine geringe Masse auf, so dass der Einfluss auf die Funktion des Kryostaten gering ist. Er bietet bei kleinster Baugröße einen großen Stellweg. Diese Eigenschaften sind besonders für tragbare, stickstoffgekühlte Geräte interessant, etwa für bildgebende Infrarot-Sensoren.

Bis heute gibt es nur wenige Möglichkeiten für die Einstellung einer gekühlten Optik in Tieftemperatur-Sensoren. Eine mechanische Durchführung in das gekühlte System hinein stellt eine thermische Last dar, die in der Regel nicht hingenommen werden kann. Nur wenige, elektrisch gesteuerte Aktoren, die bei Stickstoff-Temperatur arbeiten, bieten genügend Kraft und Stellweg, um optische Elemente bewegen zu können. Herkömmliche Motoren lassen sich ohnehin nicht verwenden: Die für den Betrieb der Zahnräder, Kupplungen und Lager erforderlichen Schmierstoffe verfestigen sich bei tiefen Temperaturen. Selbst wenn

die Konstruktion schmierfrei läuft, besteht noch die Herausforderung, die thermischen Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Bauteile aufeinander abzustimmen. Im Gegensatz dazu benötigt der Squiggle-Motor keine Schmierung und besteht aus nur wenigen Teilen, die zudem hinsichtlich des thermischen Ausdehnungskoeffizienten gewählt werden können. Bislang sind zwei Anwendungen eines Tieftemperatur-Squiggle-Motors bekannt; an der University of Sussex wurde ein SQ-100C in einem Kryostaten bei 6 K betrieben [11], und ein nach Kundenvorgaben modifizierter Motor der SQL-Baureihe wurde eingesetzt für die Einstellung der Optik eines tragbaren gekühlten Sensors für die Aufnahme so genannter Hyper-Spektren; räumlich aufgelöste Infrarot-Spektren.

jw

## Literatur

- [1] New Scale Technologies: Data Sheet SQL Series Piezo Motor. – [www.newscaletech.com](http://www.newscaletech.com)
- [2] Henderson, D.: Ultrasonic Lead Screw Motor. US Patent 6940209, September 2005.
- [3] Henderson, D.; Viggiano III, D.: Mechanism Comprised of Ultrasonic Lead Screw Motor. US Patent 7170214, Januar 2007.
- [4] Choosing Positioning Sensors for Squiggle Motors. Application Note, New Scale Technologies, 2007 – [www.newscaletech.com/app\\_notes/position\\_sensors.html](http://www.newscaletech.com/app_notes/position_sensors.html)
- [5] Tamron Announces an AF 3X Zoom Lens Module in a Remarkably Compact Package with Squiggle Piezo Ceramic Motors. Tamron Press Release, February 14th, 2007 – [www.tamron.co.jp/en/news/release\\_2007/0214.html](http://www.tamron.co.jp/en/news/release_2007/0214.html)
- [6] Reports Show Electronic Access Control, Biometric Sales to Grow. Security-Solutions.com, July 24, 2007 <http://securitysolutions.com/news/electronics-sales-growth/index.html>
- [7] Turowski, S.G.; Loecher, M.; Seshadri, M.; Mazurchuk, R.: Squiggle Motor Applications For Whole Body Small Animal MRI. Bioscience Technology, April 2007.
- [8] Laser, D.J.; Santiago, J.G.: A Review of Micropumps. Journal of Micromechanical Microengineering, 14 (2004), R35 – R64.
- [9] Nguyen, N.T.; Huang, X.Y.; Chuan, T.K.: MEMS-Micropumps: A Review. Transactions ASME, Journal of Fluids Engineering 2002, Vol. 124, S. 384 – 392.
- [10] Henderson, D.: Novel Piezo Motor Enables Positive Displacement Microfluidic Pump. Technical Proceedings of the 2007 Nanotechnology Conference and Trade Show, Vol. 1 – 4.
- [11] Varcoe, B.T.H.; Sanguinetti, B.: Use of a Piezoelectric Squiggle Motor for Positioning at 6 Kelvins in a Cryostat. The Journal of Cryogenics, Vol. 46, Issue 9, September 2006, pp. 694 – 696.
- [12] Use of Cryogenic Squiggle Motors for Active Alignment of Cooled Optics in Cryogenic Sensor Applications. Application Note, New Scale Technologies, March 2007 – [www.newscaletech.com/app\\_notes/hyperspectral.html](http://www.newscaletech.com/app_notes/hyperspectral.html)



**Lisa Schaertl**

ist die Inhaberin des Beratungsunternehmens Tech Savvy Marketing und arbeitet mit dem Unternehmen New Scale Technologies seit 2004 zusammen. Sie hat einen Bachelor of Science in Elektrotechnik und mittlerweile mehr als 20 Jahre Erfahrung in Marketing, Vertrieb und PR für international tätige „High Tech“-Unternehmen. Sie hat zahlreiche Artikel veröffentlicht, u.a. in EE Times, Integrated System Design, Desktop Engineering und Machine Design.

[lisa@techsavvymarketing.com](mailto:lisa@techsavvymarketing.com)



**Eur.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Michael Dreher**

studierte an der FH Konstanz Elektrische Nachrichtentechnik und an der Universität Jena Lasertechnik. Er arbeitete mehrere Jahre in den Entwicklungsabteilungen bei Dornier System GmbH in Friedrichshafen und Rohde & Schwarz GmbH in München. Anschließend wechselte er in den technischen Vertrieb für optische Messtechnik bei der SI Scientific Instruments GmbH; dort ist er heute Geschäftsführer.

[MDreher@SI-GmbH.de](mailto:MDreher@SI-GmbH.de)



**Elektronik**  
**Produkt des**  
**Jahres 2008**



**2. Platz - SQUIGGLE motor (New Scale Technologies)**

 **NEW SCALE**  
TECHNOLOGIES  
**Ingeniously Small Motion Systems**

121 Victor Heights Parkway  
Victor, New York 14564  
Phone +1 (585) 924-4450  
Email [sales@newscaletech.com](mailto:sales@newscaletech.com)  
[www.newscaletech.com](http://www.newscaletech.com)



Romerstr. 67  
D-82205 Gilching, GERMANY  
Phone: +49 8105 77940  
Email : [info@SI-GmbH.de](mailto:info@SI-GmbH.de)  
[www.si-gmbh.de](http://www.si-gmbh.de)