

Bild 3: Links das Funktionsprinzip des Schrittantriebskonzeptes, rechts der Prototyp des 4-Takt-Schrittantriebes inklusive der Ansteuerungsbox

## Stets die gute Form wahren

**Schrittantriebe mit Formgedächtnisdrahtaktoren.** Funktionswerkstoffe sind Materialien mit inhärenten physikalischen Eigenschaften, die als Grundlage für die Energiewandlung unter anderem zur Ausübung einer Aktorfunktion genutzt werden können. An der Jade Hochschule in Wilhelmshaven sind im Lehr- und Forschungsgebiet für mechatronische Konstruktionen diverse dieser Bewegungskinematiken mit Formgedächtnisdrahtaktoren in der Entwicklung.

Dr.-Ing. Lars Oelschläger, Detlef Mandel

■ Ein durch fortschreitende Miniaturisierung vergrößertes Oberflächen-Volumenverhältnis zur Steigerung der Abkühlrate und damit der maximalen Aktorfrequenz sowie die konkurrenzlos hohe Energiedichte machen Formgedächtnislegierungen (FGL) für feinwerk- wie mikroaktorische Anwendungen außerordentlich interessant. Im Vergleich zum menschlichen Muskel bestehend aus vielen gebündelten Muskelfasern erbringt ein FG-Aktor in Form eines gestreckten Drahtes (muscle-wire) eine um den Faktor 600 größere mechanische Spannung und verfügt über eine zwölfmal höhere Energiedichte im Vergleich zu seinem natürlichen Pendant [1]. Außer der hohen Energiedichte und den großen erzielbaren

Stellwegen sind die im Vergleich zu konventionellen Antrieben einfachen Aktorbauformen (Drähte, Federn, Biegebalken, und so weiter) zentrale Alleinstellungsmerkmale von FG-Werkstoffen. Dennoch findet die Überführung der Formgedächtnistechnik in die praktische Anwendung nur zögerlich statt, was unter anderem durch das komplexe, analytisch bislang nur unzureichend beschreibbare FG-Werkstoffverhalten begründet ist. Insbesondere das dynamische Verhalten eines FG-Aktors, charakterisiert durch die Geschwindigkeit der Heiz- und Kühlvorgänge, ist nur schwer zu quantifizieren. Dessen Kenntnis ist jedoch, wie bei konventionellen Stellgliedern auch, wesentliche Voraussetzung für die zielgerichtete Entwicklung von Bewegungskinematiken.

### Reversible Gestalt

Formgedächtnislegierungen zeigen beim Einwirken von mechanischen Spannungen und dem anschließenden thermischen Zyklieren eine reversible Gestaltänderung. Das

### KONTAKT

Jade Hochschule  
Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth  
Friedrich-Paffrath-Str. 101  
26389 Wilhelmshaven  
Tel.: 04421 985-0  
Fax: 04421 985-2304

Material, insbesondere die für technische Anwendungen etablierte intermetallische Nickel-Titan Legierung (NiTi), „erinnert“ sich bei Erwärmung an die in einer Wärmebehandlung zuvor eingeprägte Form. Diese Gestaltänderung beruht auf einer in einem definierten Temperaturintervall stattfindenden diffusionslosen Phasenumwandlung zwischen der leicht verformbaren Martensitphase, die bei niedrigen Temperaturen stabil ist, hin zur harten Hochtemperaturphase Austenit. Bei Erwärmung des sich in martensitischer Phase befindlichen Aktors beginnt ab der Austenit-Start-Temperatur (As) die Umwandlung in die Hochtemperaturphase, die mit Erreichen der Austenit-Finish-Temperatur (Af) abgeschlossen ist. Der FG-Aktor liegt dann vollständig austenitisch vor. Während des Abkühlvorgangs findet zwischen der Martensit-Start- (Ms) und der Martensit-Finish-Temperatur (Mf) analog die Rückumwandlung statt. Dieser Transformationsvorgang ist hysteresebehaftet, wobei Breite und Lage der Hysterese stark legierungsabhängig sind.

Abhängig von der Zielsetzung der jeweiligen Anwendung kann der Formgedächtniseffekt unterschiedlich ausgeprägt sein. Zur Erzeugung von Stellbewegungen in technischen Systemen wird primär der so genannte Einwegeffekt genutzt: Wird eine FGL im martensitischen Zustand pseudoplastisch verformt, so kehrt das Bauteil bei nachfolgender Erwärmung bis oberhalb der Austenit-Finish-Temperatur durch thermisches Formgedächtnis in seine Ursprungsform zurück. Während dieser Transformation leistet der Werkstoff nutzbare mechanische Arbeit im Sinne des Produktes aus Kraft und Weg und kann daher als Aktor verwendet werden. Die anschließende Abkühlung geht nicht mit einer äußeren Gestaltänderung einher, man spricht daher vom Einwegeffekt. Wird der FG-Aktor erneut verformt und erwärmt, so wiederholt sich der Vorgang. Zur Realisierung zyklischer Stellbewegungen ist während des Abkühlens eine von außen wirkende Vorspannkraft, idealer Weise durch zum Beispiel eine Gegenfeder erzeugt, zu applizieren. Dieser Zweiwegereffekt-im-System hat sich aufgrund der maximal erzielbaren Dehnung des FG-Bauteils sowie der Effektivität für aktorische Anwendungen von Formgedächtnislegierungen etabliert.

### Fügeverfahren

Ein gestreckter FG-Draht als reines Zugkraftelement ohne Zusatzelemente wie ein Getriebe oder eine Hebelübersetzung stellt die einfachste Ausführung eines FG-Aktor-

systems dar. Gestreckte Formgedächtnisdrähte, die als Meterware in unterschiedlichen Durchmessern von etwa 0,025 mm bis 0,5 mm und mit unterschiedlichen Phasenumwandlungstemperaturen kommerziell verfügbar sind und keiner zusätzlichen Wärmebehandlung zur Formeinprägung bedürfen, sind daher das am häufigsten eingesetzte aktorische FG-Halbzeug. Drähte aus einer Formgedächtnislegierung eignen sich besonders, bedingt durch ihren hohen Ohmschen Widerstand, für eine Aktivierung durch elektrischen Strom. Der FG-Aktor ist dafür elektrisch isoliert zu kontaktieren, zudem ist er mechanisch in die Baugruppe zu integrieren. Fehlende geeignete stoffschlüssige Fügeverfahren zur Fixierung der Drahtaktoren an ihren Kraftangriffspunkten erschweren jedoch deren Anwendung. In den meisten Fällen werden die Aktoren mechanisch durch Klemmung (Crimpen) kraftschlüssig gefügt. Die zentrale Aufgabe der Schnittstelle zwischen FG-Aktor und Umgebung ist zum einen die Sicherstellung der Kraftübertragung, zum anderen die Möglichkeit der elektrischen Kontaktierung. Um Verlustleistungen gering zu halten, ist eine niederohmige Kontaktierung wichtig. Die Isolation zu anderen, elektrisch leitfähigen Bauteilen des Systems ist ebenfalls funktionsrelevant. Mit dem Ziel einer einfachen Handhabung und Montage sind an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven Klemmeinheiten aus Stahlblech zur kraftschlüssigen Verbindung von FG-Drahtaktoren entwickelt worden: Aus S235-Stahlplatten (1 mm) wird mit einem NdYag-Laser die äußere Kontur der Klemmeinheit gefertigt. Diese besteht aus zwei Platten, die über Stege miteinander verbunden sind. Während der Montage werden die Klemmplatten umgebogen, die erforderliche Kraft zum Klemmen des FG-

Drahtaktors wird über die Verschraubung aufgebracht. Über die Bohrung kann zudem die elektrische Kontaktierung des FG-Aktors erfolgen. Zusätzlich können bei Bedarf weitere Durchgangsbohrungen eingebracht werden, um die mechanische Verbindung mit einer benachbarten Baugruppe zu realisieren. Dieses Prinzip hat sich zur sicheren Kontaktierung der FG-Drahtaktoren auch bei hohen Kräften etabliert. Die Anpassung an den vorhandenen Bauraum ist über die freie Gestaltung der Plattenform möglich (Bild 1).

Für die Bewertung der technischen Nutzbarkeit von FG-Legierungen als Aktoren sind die Kennwerte der nutzbaren Aktorkraft beziehungsweise mechanischen Spannung sowie des nutzbaren Aktorhubes von besonderem Interesse. Je größer die Aktorquerschnittsfläche, desto größer ist die nutzbare Aktorkraft, je größer die Länge des Aktors, desto größer der nutzbare Aktorhub. In Abhängigkeit von der erforderlichen Zykluszahl des FG-Aktors, die bezogen auf einen FG-Drahtaktor die Anzahl möglicher Kontraktionsbewegungen beschreibt, legen die Hersteller von FG-Aktoren die empfohlene mechanische Aktorspannung sowie die empfohlene Dehnung fest: ein Anstieg der geforderten mechanischen Spannung führt zu einem Absinken der maximalen Dehnung des FG-Aktors und umgekehrt. Beide Parameter werden durch Maximalwerte je nach geforderter Zykluszahl nach oben begrenzt, andernfalls tritt frühzeitige Ermüdung des Aktors ein [2].

### Wirkungsweise der FGLs

Der Formgedächtniseffekt wird durch thermische Energie aktiviert, wobei das Aktivierungsverhalten der FG-Legierungen, definiert als lastabhängiges Weg-Zeit-Verhalten



Bild 1: Klemmplatten zur sicheren Kontaktierung der FG-Drahtaktoren auch bei hohen Kräften

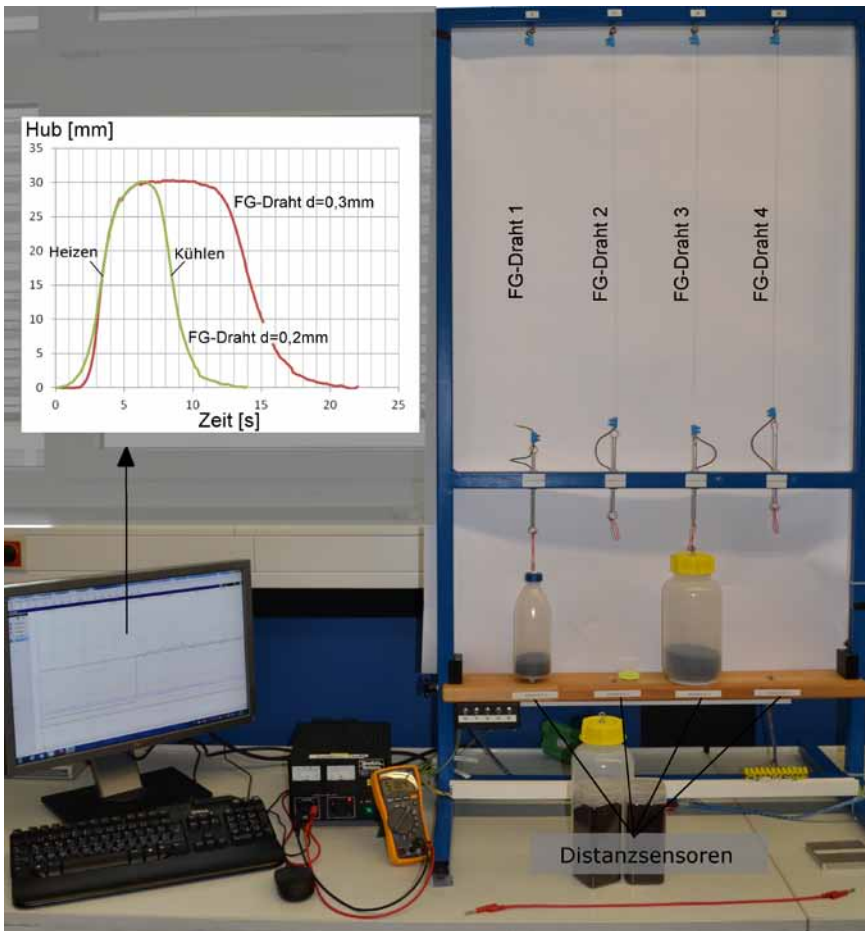


Bild 2: Die Kontraktion der Aktoren wird mit Hilfe eines optischen Distanzsensors über der Zeit in Form eines analogen Spannungssignals gemessen, in den tatsächlichen Aktorhub umgerechnet und grafisch dargestellt

des Aktors während der Aufheiz- und Abkühlphase, ausschließlich von den Phasenumwandlungstemperaturen, der Ist-Temperatur des Aktors und der Geschwindigkeit, mit der diese variiert werden kann, bestimmt wird. Elektrisch aktivierte Aktoren, die durch Stromfluss unter Nutzung des Ohmschen Widerstandes (Joulesche Wärme) erwärmt werden, eignen sich insbesondere bei geringen Profilquerschnitten für die technische Anwendung. Da die Ist-Temperatur sehr dünner Drähte weder taktil noch berührungsfrei sicher gemessen werden kann, ist der aktuelle Umwandlungsstatus während der Aktivierung eines FGL-Drahtes nicht aus der Temperatur heraus bestimm- und der Aktor damit nicht positionsregelbar. Wesentliche Einflussgrößen auf das dynamische Verhalten von FG-Aktoren sind neben der Erwärmungsart vor allem die Aktorlegierung und -geometrie, die Phasenumwandlungstemperaturen  $M_f$ ,  $M_s$ ,  $A_s$  und  $A_f$ , die während der Martensit-Austenit-Umwandlung aufzubringende und bei der Austenit-Martensit-Umwandlung frei werdende Umwandlungsenthalpie sowie die thermischen

Umgebungsbedingungen. Auch der mechanische Spannungszustand beeinflusst die Dynamik eines FG-Aktors: wird eine äußere Last auf das Bauteil aufgebracht, so erhöhen sich die Phasenumwandlungstemperaturen in Abhängigkeit der Gradienten der spannungsinduzierten Gefügeumwandlung. Verschieben sich  $M_f$ ,  $M_s$ ,  $A_s$  und  $A_f$  zu höheren Temperaturen, so steigt während der Aktivierung des Aktors auch die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zur Umgebungstemperatur (zum Beispiel Raumtemperatur). Diese Differenz erhöht den Wärmeübergang durch Konvektion, Strahlung und Leitung, so dass ein mechanisch belasteter FG-Aktor schneller kühlt als ein vergleichbarer Aktor unter freier Formänderung. Es kann festgehalten werden, dass das Weg-Zeit-Verhalten belasteter FG-Aktoren in Abhängigkeit von Belastung und Heizstrom nur schwer beschrieben werden kann, nicht zuletzt, da auch zentrale physikalische Eigenschaften des Aktors wie sein Elastizitätsmodul und der spezifische Ohmsche Widerstand eine Funktion des Martensit-/Austenitanteils und damit vom Grad der Phasenumwandlung abhängig sind [3].

## Dynamisches Verhalten messtechnisch erfassen

Um das dynamische Verhalten gestreckter FG-Drahtaktoren messtechnisch erfassen zu können ist an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven ein Laborprüfstand entwickelt worden, der die Qualifizierung der Aktoren hinsichtlich ihres Aktivierungsverhaltens ermöglicht. Dazu können Drahtaktoren unterschiedlicher Geometrie eingespannt, mit verschiedenen Massen belastet und durch einen variablen Heizstrom aktiviert werden (einzeln oder auch parallel). Die Kontraktion der Aktoren wird mit Hilfe eines optischen Distanzsensors über der Zeit in Form eines analogen Spannungssignals gemessen, in den tatsächlichen Aktorhub umgerechnet und grafisch dargestellt (Bild 2). Dadurch wird es möglich, das Zeitverhalten der FG-Aktoren vor ihrem Einsatz in ein technisches System zu ermitteln.

Die praktische Anwendung der Messergebnisse zur Aktivierung von gestreckten Formgedächtnisdrahtaktoren erfolgt an der Jade Hochschule zur Zeit an diversen Schrittantriebskonzepten, die zum Teil in enger Kooperation mit der Industrie aufgaben- und bedarfsgerecht entwickelt worden sind: wie konventionelle Schrittantriebe dem außen angelegten, rotierenden elektromagnetischen Feld folgen und so ohne Sensoren zur Positionsrückmeldung genau betrieben werden können, so arbeiten die Schrittantriebskonzepte mit FG-Aktorik nach dem gleichen Funktionsprinzip. Da die Aktivierung von FG-Aktoren von erwähnt zahlreichen Parametern abhängig und die Positionsbestimmung des Aktors während der Phasenumwandlung ohne externe Wegmesssysteme wenn überhaupt nur eingeschränkt möglich ist, so arbeiten FG-Aktoren im Idealfall als binäre Stellglieder: es gibt nur die beiden Positionen ‚nicht geschaltet‘, das heißt der FG-Aktor befindet sich im martensitischen Zustand und ‚geschaltet‘, das heißt der Aktor liegt in der austenitischen Phase vor. Diese beiden Zustände sind über die Temperatur des Aktors steuerbar. Da der Hub eines einzelnen FG-Drahtaktors nur begrenzt ist, die meisten technischen Anwendungen jedoch eine im Vergleich größere Stellbewegung (translatorisch) beziehungsweise einen größeren Drehwinkel (rotatorisch) erfordern, wird in den entwickelten Schrittantrieben der Hub eines einzelnen FG-Aktors sequentiell wiederholt durchgeführt, ohne dass die aktuelle Position des Stellgliedes dabei verloren geht bzw. beeinflusst wird.

## FGLs für rotatorischen Antrieb

Beispielhaft sind gestreckte FG-Drähte dazu in einem rotatorischen Schrittantrieb appliziert worden, der nach dem 4-Takt-Prinzip arbeitet: Bei diesem Bewegungskonzept greifen vier FG-Aktoren jeweils um  $90^\circ$  versetzt an einem gemeinsamen Exzenter an, wobei das jeweils andere Ende der Aktoren mechanisch fixiert ist. Durch zyklisches Aktivieren der FG-Aktoren im oder entgegen dem Uhrzeigersinn wird der Exzenter jeweils um  $90^\circ$  um seine Rotationsachse gedreht (4-Takt-Prinzip). Die Drehzahl des Antriebes ist durch das Aktivierungsverhalten der FG-Aktoren festgelegt, da ein FG-Aktor bei der Aktivierung des jeweils gegenüberliegenden Aktors wieder im martensitischen Zustand vorliegen muss, um erneut pseudoplastisch gedehnt zu werden. Gegenüberliegend angeordnete Aktoren arbeiten daher nach dem Agonist-Antagonist-Prinzip (Spieler-Gegenspieler), was bedeutet, dass die Aktoren nicht entgegen einem Federelement arbeiten, sondern die erforderliche Dehnung (Zweiwegeffekt im System) durch den jeweils gegenüberliegenden FG-Aktor erfolgt. Die erforderliche Kraft zur Dehnung des gegenüberliegenden Aktors mindert somit aber auch die nutzbare Kraft und damit das erzeugbare Drehmoment am Exzenter. Dieses Moment ist beim 4-Takt-Prinzip zum einen vom Radius des Kreises der Angriffspunkte der FG-Aktoren auf der Exzenter Scheibe abhängig, zum anderen vom Durchmesser der FG-Drahtaktoren, da dieser die zulässige Aktorkraft in Abhängigkeit von der zu erreichenden Zykluszahl definiert. Zudem ist das Drehmoment des Antriebes während der Ansteuerung der Aktoren nicht konstant, sondern sinkt abhängig vom Drehwinkel des Exzenters mit kleiner werdendem Hebelarm bis zum Ende der Aktorkontraktion. Die Geometrie des Exzenters definiert überdies die erforderliche Länge der FG-Drahtaktoren: Der Durchmesser des Kreises durch die Befestigungspunkte der FG-Aktoren auf dem Exzenter entspricht dem erforderlichen Stellweg der einzelnen FG-Drahtaktoren.

Bild 3 zeigt links das Funktionsprinzip dieses Schrittantriebskonzeptes, rechts den Prototypen des 4-Takt-Schrittantriebes inklusive der Ansteuerungsbox. Für die Konstruktion dieses Prototypen wurde eine Aktorlänge von 667 mm gewählt, was bei einer maximalen Dehnung der FG-Drahtaktoren von 3 Prozent einem Hub von 20 mm entspricht. Daraus ergibt sich die Geometrie des Exzenters. Für eine kontinuierliche Drehbewegung müssen die eingesetzten

Bild 4: Im nächsten Entwicklungsschritt wird der rotatorische Schrittantrieb nach dem 4-Takt-Prinzip optimiert, zudem wird eine deutliche Reduzierung der Baugröße umgesetzt



FG-Aktoren eine geringe Abkühlzeit aufweisen, damit zwischen der Aktivierung jeweils gegenüberliegender FG-Aktoren keine Wartezeit in die Ansteuerungslogik integriert werden muss. Dieses ist für die gewählte Schrittantriebsgeometrie mit einem Aktor von  $0,1\text{ mm } \varnothing$  gegeben, für Aktoren mit größerem Durchmesser zur Erzeugung größerer Drehmomente muss nach jeder Aktivierung jedoch eine Wartezeit vorgesehen werden, damit die Aktoren in erforderlichem Maß ihre Wärme abführen können.

### Erster Prototyp funktioniert

Der erste Prototyp des 4-Takt-Schrittantriebes ist mit einem Exzenter und einer Aufnahme in einem Rapid-Prototyping-Verfahren aus ABS realisiert. Die Exzenter Scheibe dient den vier im  $90^\circ$  Winkel versetzten Aktoren als gemeinsamer elektrischer Massepunkt. Um ein Abfließen der Drähte zu verhindern, ist das andere Ende der FG-Aktoren in einer beweglichen Drahtaufnahme eingespannt, in der die Aktoren zusätzlich bestromt und auch gespannt werden können. Die FG-Aktoren sind in Messingrollen mit Führungsnut und Gleitlagerung je zweimal umgelenkt, um den Gesamtbauraum zu reduzieren. Für die Ansteuerung des Antriebes wird ein Mikrocontroller verwendet, über den die Heizleistung der FG-Aktoren mittels Pulsweitenmodulation erfolgt und die Drehrichtung des Schrittantriebes durch den Bediener vorgegeben werden kann. Erste Versuche mit dem 4-Takt-Schrittantrieb bei Verwendung von  $\varnothing 0,1\text{-mm-FG-Drahtaktoren}$  ergeben eine Drehzahl von etwa 0,7 Umdrehungen pro Sekunde bei einem Moment von etwa 10 Nmm. Insbesondere das gemessene Drehmoment liegt unterhalb des berechneten Wertes was unter anderem auf Reibungsverluste durch

die Umlenkungen der Drähte zurückzuführen ist. Die Funktionsweise des Konzeptes konnte somit nachgewiesen werden, Optimierungspotential besteht hinsichtlich der Lagerung des Exzenters, der Gestaltung der Umlenkungspunkte sowie die bewegliche Drahtaufnahme betreffend. Im nächsten Entwicklungsschritt wird der rotatorische Schrittantrieb nach dem 4-Takt-Prinzip hinsichtlich dieser Kriterien optimiert, zudem wird eine deutliche Reduzierung der Baugröße umgesetzt: aufbauend auf einem Rapid-Prototyping-Gehäuse werden die FG-Drahtaktoren auf mehreren Ebenen mit der metallischen Exzenter Scheibe mechanisch verbunden, um dadurch den erforderlichen Bauraum zu reduzieren (Bild 4).

### Schrittantrieb mit Freilauf

Einen weiteren Schrittantrieb mit Formgedächtnisdrahtaktoren stellt der Translations-Rotationswandler mit Freilauf dar: Auf einer Welle ist über einen einseitig sperrenden Freilauf ein Ring zur Aufnahme eines Formgedächtnisdrahtaktors drehbar gelagert. Das andere Ende des Aktors ist gehäusefest fixiert. Wird der FG-Aktor aktiviert, so kontrahiert er, setzt die Welle in Drehbewegung und kann dadurch zum Beispiel eine Masse anheben (Seilzug). Wird der FG-Aktor deaktiviert, so dehnt er sich durch eine ebenfalls am Ring befestigte Rückstellfeder wieder in seine Ausgangslänge, wobei diese Bewegung erst durch den Freilauf zwischen Aufnahme und Welle möglich wird (Bild 5, oben). Anschließend kann der Draht erneut aktiviert werden und die Schrittbewegung wiederholt sich. Ist auf der Welle eine zusätzliche Scheibe mit Nutkurve aufgebracht, so kann die Rotation der Scheibe wieder in eine Translation gewandelt werden: eine in der Nutkurve aufgehängte Masse wird bei Drehung der Scheibe an-

gehoben. Dieses Funktionsprinzip hat den entscheidenden Vorteil, dass bei nur geringer Steigung der Nutkurve beziehungsweise bei zusätzlichen Positionen mit Nullsteigung die Last selber beziehungsweise von außen beidseitig einwirkende Kräfte kein rückwirkendes Moment auf die Welle erzeugen, da der resultierende Kraftvektor stets durch den Lagerungspunkt der Scheibe verläuft und damit die FG-Aktorik unbeeinflusst bleibt. Dadurch ist es möglich, größere Massen anzuheben und die Antriebseinheit gleichzeitig vor äußeren Kräften zu schützen. Der Drehwinkel der Nutkurvenscheibe hängt ab von der Länge des FG-Aktors sowie vom Durchmesser des Ringes, das erzeugte Moment vom Durchmesser des FG-Drahtaktors und ebenfalls dem Durchmesser des Ringes. Aus dem Hub je Drehwinkel, das heißt der Steigung der Nutkurvenscheibe, lässt sich in Abhängigkeit von der FG-Aktor-geometrie die maximale Last bestimmen, die angehoben werden kann. Im ersten Prototypen des Schrittantriebes wird ein 500 mm langer Drahtaktor mit  $\varnothing$  0,5 mm mit einer Silikonummantelung zur Erhöhung der Wärmeabfuhr verwendet. Dieser realisiert bei einem Hub von etwa 14 mm einen Drehwinkel von  $35^\circ$  je Schritt. Außer einer Nutkurvenscheibe kann auf der Welle alternativ eine Nockenscheibe fixiert sein. Diese hat den Vorteil, dass der maximale Drehwinkel nicht wie bei der Nutkurvenscheibe durch die Nut selber begrenzt ist, sondern die Nockenscheibe vollständig umlaufen kann. Durch die gewählte FG-Aktorlänge wird ein Schrittwinkel von etwa  $55^\circ$  erreicht. Diese Konstruktion ist zudem durch einen zweiten Freilauf ergänzt, der verhindert, dass die angehobene Last die Nockenscheibe wieder zurückdreht (Bild 5, unten).

### Fazit

Formgedächtnisaktoren besitzen technische Eigenschaften, die sie nicht unmittelbar für ihren Einsatz in einem technischen System qualifizieren, ihnen aber Alleinstellungsmerkmale gegenüber anderen Aktorbauformen verschaffen: Formgedächtnisaktoren haben eine hohe Energiedichte, der Aktormechanismus ist sehr einfach, die Bauform kann weitgehend frei gestaltet werden (Zug, Druck, Biegung, Torsion) und der Effekt ist bei Begrenzung von Hub und Spannung weitgehend stabil. Auf der anderen Seite sind die stoffschlüssigen Fügeigenschaften von FG-Aktoren begrenzt, die Aktorfrequenz ist relativ gering und das Aktivierungs-

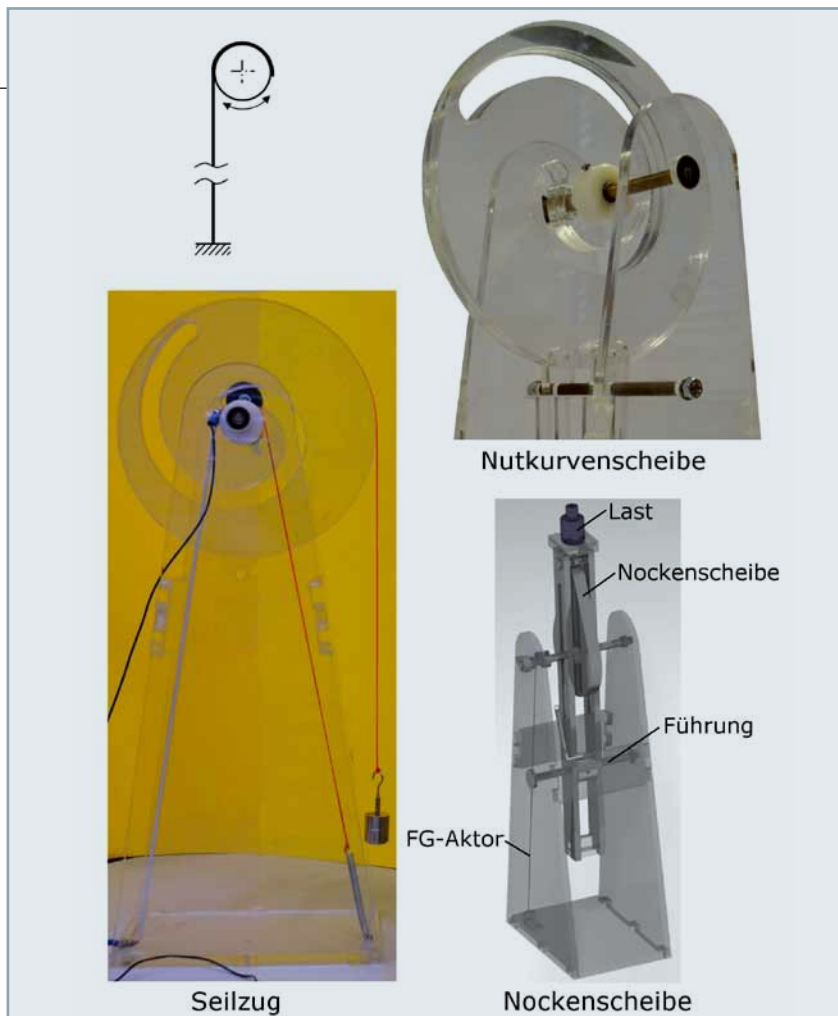


Bild 5: Translations-Rotationswandler mit Freilauf: Auf einer Welle ist über einen einseitig sperrenden Freilauf ein Ring zur Aufnahme eines Formgedächtnisdrahtaktors drehbar gelagert (oben). Durch einen zweiten Freilauf wird verhindert, dass die angehobene Last die Nockenscheibe wieder zurückdreht (unten)

verhalten rechnerisch nur eingeschränkt zu quantifizieren. Aus diesem Grund sind an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven die Versuchsumgebungen geschaffen worden, um gestreckte Formgedächtnisdrahtaktoren in Abhängigkeit von Belastung, Bestromung und Geometrie hinsichtlich ihres Heiz- und Kühlverhaltens zu bewerten. Die Anwendung der Ergebnisse erfolgt an verschiedenen Schrittantriebskonzepten. Gegenwärtig sind an der Jade Hochschule neben dem Schrittantrieb basierend auf dem 4-Takt-Prinzip und dem Translations-Rotationswandlungsprinzip weitere Schrittantriebe mit Formgedächtnisaktoren in der Entwicklung. Diese erweitern die bisherige Funktionalität dahingehend, dass das durch die FG-Aktoren bewegte Objekt (Scheibe, Schubstange, und so weiter) auch nach der Stellbewegung durch Kraftschluss in Position verbleibt. Dieses hat den Vorteil, dass der Abtrieb auch im nicht-bestromten Zustand eine eindeutige und sichere Position einnimmt. Zudem wirken äußere Kräfte, die auf das Bewegungssystem einwirken, nicht zurück auf die antreibende Formgedächtnisaktorik. (wvp) ■

### Autoren

Dr.-Ing. Lars Oelschläger ist Professor an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven, Dipl.-Ing. Detlef Mandel arbeitet im Lehr- und Forschungsgebiet für mechatronische Konstruktionen, ebenfalls an der Jade Hochschule

### Literatur

- [1] Hunter, I. W.; Lafontaine, S.: A comparison of muscle with artificial actuators. IEEE Solid State Sensor and Actuator Workshop 1992, Head Island (USA) 1992, ISSN 0-7803-0456-X
- [2] Oelschläger, L.: Numerische Modellierung des Aktivierungsverhaltens von Formgedächtnisaktoren am Beispiel eines Schrittantriebes, 2004, ISBN 3-8322-2671-0
- [3] Meier, H.; Oelschläger, L.: Time Response of Shape-Memory-Alloy-Wires and Application in a Drive System, Proceeding of the Int. Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies (SMST), USA, 2004, ISBN 0-9660508-3-5