



Leichter als die Natur erlaubt: Leichtbauaktoren mit Formgedächtnislegierungen

Die Form denkt mit

Leichtbauaktoren für die Automobilindustrie mit intelligenten

Werkstoffen. Die steigenden Anforderungen an Energieeffizienz, geringes Gewicht und günstige Kosten können von Antriebssystemen heutzutage kaum noch erfüllt werden. Um dieses Problem zu lösen, bietet sich der Einsatz von neuen Technologien im Bereich der Aktoren an. Die Formgedächtnistechnik stellt eine dieser neuen Querschnittstechnologien dar und steht kurz vor dem Durchbruch.

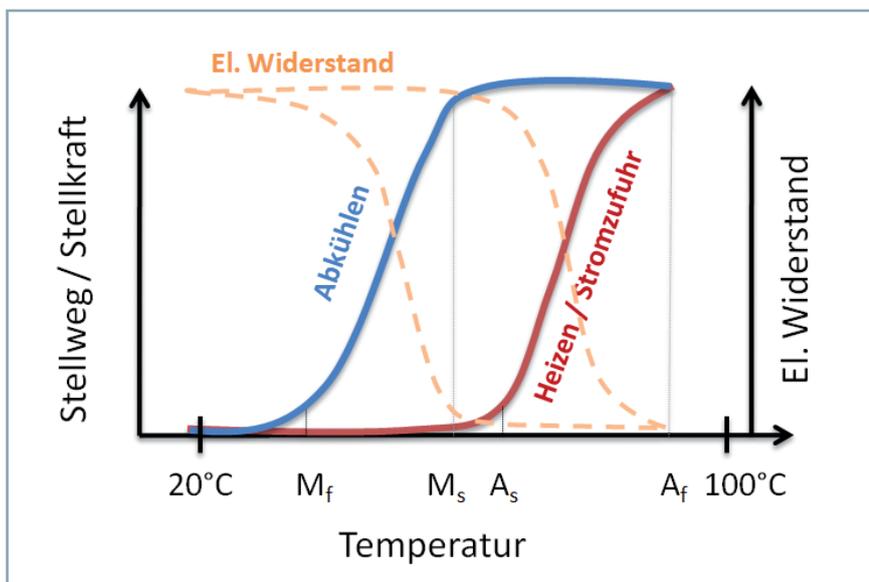


Bild 1: Umwandlungscharakteristik von FGL

Dr.-Ing. Sven Langbein, Alexander Czechowicz

■ Doch was bedeutet „Formgedächtnis“ überhaupt? Wenn ein Stück Draht einen erwachsenen Menschen anhebt, ist keine Magie im Spiel. Hier werden die Fähigkeiten von Formgedächtnislegierungen (FGL) genutzt. Eine Formgedächtnislegierung ist ein Werkstoff, der die Fähigkeit besitzt, sich nach einer starken Verformung an eine ihm zuvor eingeprägte Ursprungsform zu erinnern. Die Gestaltänderung einer FGL beruht auf einer Gitterumwandlung zweier verschiedener Kristallstrukturen der Legierung. Die Triebkraft für die Rückverformung kann je nach Effekt thermischer oder mechanischer Natur sein. Grundlage für die Entwicklung von Aktoren bildet der

thermische Effekt. Dieser Formgedächtniseffekt wird durch die Zufuhr von Wärmeenergie ausgelöst, indem es im Material zu einer Phasenumwandlung von Martensit (Tieftemperaturphase) in Austenit (Hochtemperaturphase) kommt. Bild 1 zeigt die Umwandlungscharakteristik von Formgedächtnislegierungen. Die Stellkraft beziehungsweise der Stellweg nehmen annähernd linear zu, sobald die Starttemperatur (A_s) für die Austenit-Umwandlung überschritten wurde. Die Rückumwandlung beginnt bei der Martensit-Starttemperatur (M_s) und setzt hysteresebehaftet ein.

Der elektrische Widerstand von Formgedächtnismetallen ändert sich in Abhängigkeit der geleisteten mechanischen Arbeit und der Temperatur. Dies kann man als

integrierte Sensorfunktion verwenden, um den Zustand des Stellantriebes zu überwachen und zu regeln. Technisch wird die Erwärmung häufig auf der Grundlage der Joule'schen Wärme durch elektrischen Strom realisiert. Bei hohen Lasten und damit verbunden hohen Materialquerschnitten kommen aber auch externe Heizelemente zum Einsatz. Die Leistungsfähigkeit von Formgedächtniselementen ist enorm. Ein Formgedächtnisdraht von 2 mm Durchmesser kann beispielsweise eine Last von über 100 kg anheben. Bei einem Drahtgewicht von 25 g ist dies das 4000-fache des eigenen Gewichtes. Neben diesem einzigartigen Leistungsgewicht zeichnen sich Formgedächtnisaktoren noch durch weitere Merkmale aus:

- geräuschloses Arbeitsverhalten
- einfaches Prinzip ohne anfällige Mechanik
- geringer Bauraumbedarf
- unempfindlich gegenüber magnetischen Feldern
- unempfindlich gegenüber Umwelteinflüssen (ausgenommen Temperatur)
- kostengünstig

KONTAKT

FG-INNOVATION UG
(haftungsbeschränkt)
Gropiusweg 21
44801 Bochum
Tel. +49 234 604707-1
Fax. +49 180 35518636-86
Email: info@fg-innovation.de

Demgegenüber stehen nur ein paar Nachteile wie zum Beispiel das schlechtere dynamische Verhalten. Der größte Vorteil jedoch, das geringe Gewicht im Gegensatz zu herkömmlichen Aktoren soll durch einen Vergleich mit Elektromagneten verdeutlicht werden. Bild 2 zeigt diesbezüglich auf der linken Seite einen Größenvergleich von einem FG-Aktor und einem Elektromagneten gleicher Leistungsklasse und auf der rechten Seite den Vergleich des gewichtsspezifischen Arbeitsvermögens. Damit wird das Thema Leichtbau aus einer neuen Perspektive betrachtet. Wird das Thema Leichtbau heutzutage vor allem von den Strukturwerkstoffen bestimmt, so verfolgt man mit dem Einsatz von FG-Antrieben das Ziel, das Gewicht von mechatronischen Systemen zu reduzieren. Vor allem die steigende Anzahl an mechatronischen Systemen ist für die Gewichtszunahme von Kraftfahrzeugen verantwortlich, neue Strukturkomponenten werden nur selten in Automobilsysteme hinzugefügt. Allein in einem Türschloss eines PKWs können sich heutzutage je nach Ausstattung bis zu fünf Elektromotoren befinden. Insgesamt können in einem Automobil mehr als 100 elektrodynamische Kleinstantriebe eingebaut sein. Jedes dieser Elemente wird zwar unter Betrachtung des Eigengewichtes ausgewählt. Gewichtsreduktionen sind allerdings oft mit

Schon die ersten Versuche an Prototypen haben gezeigt, dass Formgedächtnis-Aktoren einen Technologiesprung im Bereich der Antriebstechnik bewirken können. Denn die Gewichtersparnis resultiert nicht nur im Arbeitsvermögen des FG-Materials sondern auch aus dessen Fähigkeit sensorische Funktionen zu übernehmen. Die Re-

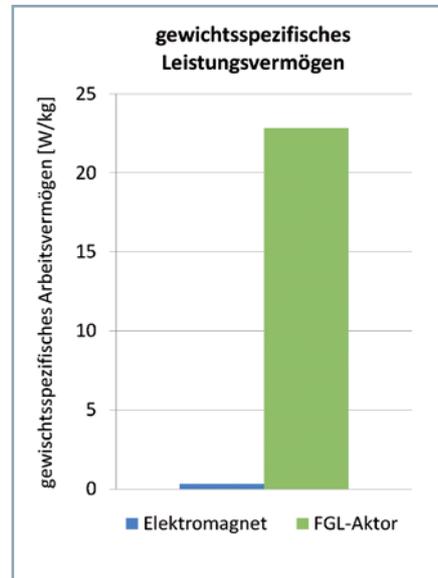


Bild 2: Größen- und Leistungsvergleich von einem FG-Aktor und einem Elektromagnet gleicher Leistungsklasse



hochwertigeren Systemen und damit auch mit höheren Einkaufspreisen der Elemente verbunden und kommen nicht zum Tragen. So positionieren sich Formgedächtniselemente auf dem Markt der Aktorikanwendungen als Konkurrenten von Elektromotoren oder von Elektromagneten wenn sie für Linearbewegungen eingesetzt werden. Hinsichtlich Gewicht, Geräuschemission und benötigtem Bauraum besitzen FGL-basierte Systeme deutliche Vorteile. Durch die längeren Rückstellzeiten, bietet sich der Einsatz von FG-Aktoren aber vor allem in Bereichen an, die durch große Stellkräfte beziehungsweise Stellwege und durch niedrige Schaltfrequenzen gekennzeichnet sind.

INFO

Die Firma FG-Innovation mit Sitz in Bochum ist eine Ausgründung aus dem Sonderforschungsbereich 459 Formgedächtnistechnik der Ruhr-Universität Bochum. Das 2010 gegründete Unternehmen bietet Dienstleistungen und Produkte auf Basis der Formgedächtnistechnik an. FG-Innovation hat sich zum Ziel gesetzt neuartige Aktorsysteme zu entwickeln und diese Technologie auf dem deutschen Markt zu etablieren.

gelung der FG-Elemente erfolgt dabei über deren eigene elektrische Widerstandskurve, die sehr leicht ausgelesen werden kann. Externe Sensorsysteme werden nicht mehr benötigt, was zu einer zusätzlichen Abnahme von Gewicht und Systemkomplexität führt.

„Momentan erleben wir eine steigende Anzahl an Anfragen bezüglich FGL-basierter Antriebe, denn die Themen Leichtbau und Miniaturisierung haben praktisch alle in ihren Lastenheften stehen. Gerade in der Automobilbranche ist die Gewichtsreduktion ein aktuelles Thema.“ berichtet Dr.-Ing. Sven Langbein, Mitgründer des Unternehmens FG-Innovation. „Jedoch behindert immer noch eine gewisse Innovationsfeindlichkeit hierzulande, vor allem außerhalb der Automobilindustrie, eine flächendeckende Durchsetzung dieser neuen Technologie“.

Anwendungsbeispiel Tankklappe

Bild 3 zeigt den Einsatz eines FG-Aktors zum entriegeln einer Tankklappe. Besteht das aktuelle System noch aus einem Elektromotor und einem Metallgestänge, eine sehr aufwendige Konstruktion für die simple lineare Entriegelungsfunktion, so stellt das FGL-System eine sehr kompakte und leichte Alternative dar. Das neuartige Entriegelungssystem ist mit 9 Gramm um mehr als 90 Prozent leichter als das konventionelle Antriebssystem, mit einem Eigengewicht von 236 Gramm. Die Formgedächtnistechnik würde zudem die Möglichkeit bieten, durch Einspritzen des FG-Elementes in den Kunststoff, die Entriegelungsfunktion direkt in die Tankklappe zu integrieren. Damit würden neben Gewicht und Bauraum auch die Bauteilanzahl und der Montageaufwand deutlich verringert werden.

Fraglich ist, warum bei diesen schlagkräftigen Vorteilen diese Aktoren noch nicht den Weg in diese Anwendungen gefunden haben. Der Grund liegt vor allem in den Umwandlungstemperaturen. Erfolgt die Umwandlung in die Hochtemperaturphase bei heute kommerziell verfügbaren Legierungen bei maximal 100 °C, so tritt aufgrund von Hystereseeffekten die Rückumwandlung erst bei 70 °C ein. Aufgrund der im Automobilbau gestellten Anforderung der vollen Funktionsfähigkeit aller Systeme bei 85 °C konnten sich FG-Systeme noch nicht durchsetzen. Hier gilt es seitens der Automobilindustrie derartige Anforderung zu überdenken, um neuen Technologien und den damit verbundenen Vorteilen großflächig den Weg frei zu



Bild 3: Einsatz eines FG-Aktors zum entriegeln einer Tankklappe

machen. Neben der Tankklappenentriegelung bietet sich der Einsatz von FGL-basierten Entriegelungssystemen auch im Innenraum von Kraftfahrzeugen an. Zu nennen ist hier die elektrische Entriegelung des Handschuhfachs. Auch hier benutzt man heute aufwendige elektromechanische Systeme. Der Einsatz von FGL würde hier klare Vorteile bringen, wird aber durch die 85-°C-Anforderung behindert. Da ja nur die Rückumwandlungstemperaturen bei FGL so niedrig liegen, würde das Handschuhfach bei 85 °C nicht aufgehen, sondern man könnte es lediglich kein zweites Mal betätigen. Aber wer öffnet schon bei 85 °C im Innenraum sein Handschuhfach? Dies zeigt, dass die 85-°C-Anforderung für bestimmte Anwendungsbereiche wie beispielsweise bei Komfortfunktionen, durchaus aufweichbar ist.

Um das Temperaturproblem zu lösen, erforscht man seitens der Materialhersteller intensiv an Legierungen mit höheren Umwandlungstemperaturen. Derartige Legierungen existieren auch schon in den Laboren diverser Wissenschaftler, eine Markteinführung wird jedoch noch einige Zeit auf sich warten lassen. Eine weitere Möglichkeit die Umwandlungstemperaturen zu erhöhen besteht in der Erhöhung der mechanischen Vorspannung auf das FG-Element, was jedoch mit einer Verringerung der Lebensdauer verbunden ist. FG-Innovation stellte in diesem Zusammenhang eine neue Erfindung vor, die die Vorspannung adaptiv an die Umgebungsbedingungen anpasst. Das sehr einfache System gleicht automatisch die Vorspannung an die Umgebungstemperatur an. Damit ist es den Entwicklern gelungen die Anforderungen der Automobilbauer

in puncto Umgebungstemperatur und Lebensdauer zu erfüllen und somit ein erstes Licht am Ende des Tunnels anzuzünden.

Im linken Teil des Bildes ist das heutzutage verbaute Aktorsystem einer Tankklappe zu sehen. Ein Elektromotor betätigt über ein Gestänge den Entriegelungsbolzen, um die Aussparung an der Klappe freizugeben. Im rechten Teil des Bildes ist das neue System dargestellt. Der FG-Aktor sitzt direkt am Tankklappengehäuse.

Standardisierung

Formgedächtniselemente werden heutzutage auf dem Markt in verschiedenen Bauformen angeboten. So werden zum einen Drähte aus Formgedächtnislegierungen gezogen und Streifen hergestellt oder Federn aus Formgedächtnisdrähten gewickelt. Zudem bestimmen Individualentwicklungen heute die Landschaft der FG-Aktorik. Aber vor allem der hohe Entwicklungsaufwand und das Risiko derartiger Individualentwicklungen sind eine weitere Barriere für die Industrialisierung dieser Technologie. Das Angebot von standardisierten FG-Aktoren stellt deshalb einen wichtigen Baustein zum Erfolg dieser Technologie dar. Ab 2011 bringt das Unternehmen FG-Innovation deshalb sein erstes Antriebssystem unter dem Namen FGA Basic auf den Markt. FGA Basic ist ein standardisierter Formgedächtnisaktor und stellt eine Alternative zu herkömmlichen Lösungen, wie Elektromagnete oder Elektromotoren dar. Neben dem kompakten Aufbau zeichnet sich der Aktor durch seine geräuschlose Arbeitsweise und wiederum durch ein einzigartiges Leistungsgewicht aus. Bei einem

Eigengewicht von 7 Gramm kann der Aktor Lasten von bis zu 700 Gramm anheben. Die Gewichtsreduktion im Vergleich zu Elektromagneten kann mit mehr als 90 Prozent beziffert werden. Bild 4 zeigt den FGA-Basic-Antrieb, der in verschiedenen Bauformen verfügbar ist.

Die Auslöse- und Abkühlkennlinien der standardisierten Lösungen sind von den Einsatzbedingungen, wie der mechanischen Last oder der elektrischen Versorgung (z.B. Stromhöhe) abhängig. So zeigt Bild 5 auf der linken Seite das dynamische Verhalten des FGA-Basic-Antriebes bei verschiedenen Aktivierungsströmen bzw. Lasten und auf der rechten Seite das Lebensdauerverhalten. Erkennbar ist, dass Formgedächtnisaktoren bei Betrachtung der Auslösedynamik durchaus mit Elektromagneten vergleichbar sind, jedoch durch die Abkühlkennlinie die Schaltfrequenz deutlich verzögert wird. Jedoch sind auch vermeintliche Schwächen solcher Systeme als intelligente Funktionen nutzbar. So ist eine Ausschaltverzögerung nach Abschaltung der elektrischen Versorgung mit diesen Elementen möglich.

Weiterhin ist die Umsetzung eines Baukastensystems geplant, um die Anwendungsvielfalt dieses Aktorsystems weiter zu erhöhen. Der Baukasten soll dabei aus diversen Aktor-, Sensor-, Umformer- und Elektronikmodulen bestehen. Mit Hilfe der Anbaumodule kann daher neben der ursprünglichen linearen Stellbewegung eine gerasterte lineare, eine rotatorische oder gerasterte rotatorische Bewegung erzeugt werden. Zudem kann durch die Elektronikmodule eine Regelung und eine Positionssensorik auf einfachem Wege in das Aktorsystem integriert werden. Desweiteren ermöglicht dieses Baukastensystem einen schnellen und günstigen Austausch von defekten Komponenten.

Bild 4: Standardaktor FGA-Basic



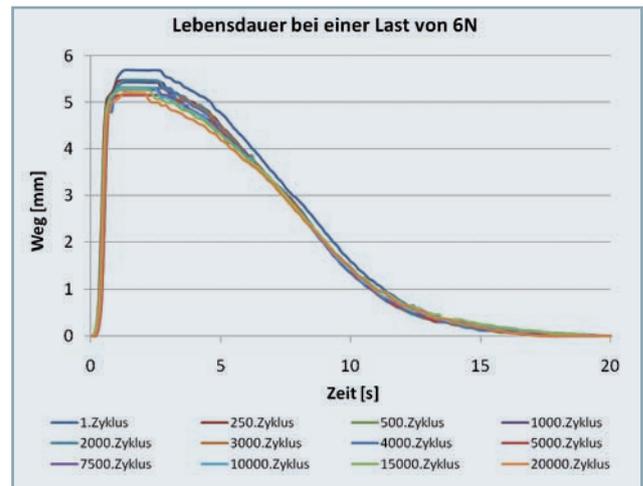
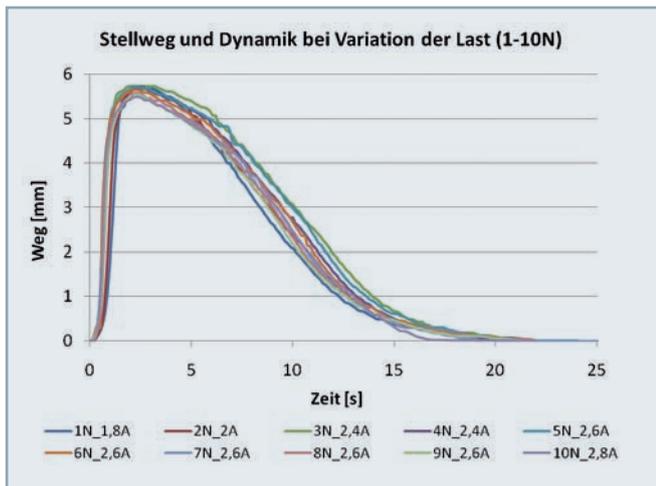


Bild 5: Dynamisches Verhalten des FGA-Basic

Bilder: FG-Innovation

Ausblick

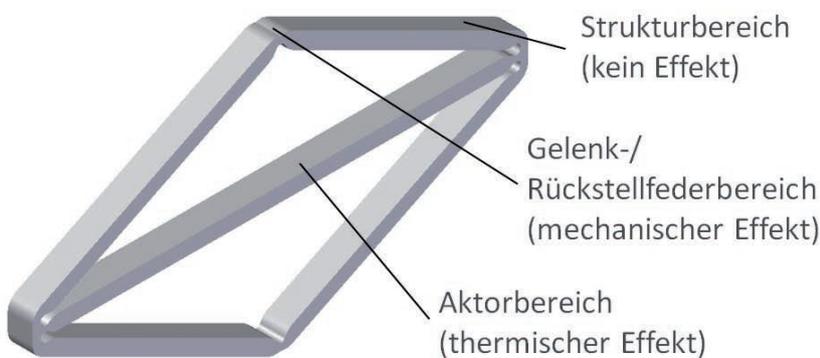
Die Nutzung standardisierter Komponenten stellt somit eine interessante Möglichkeit dar, das Entwicklungsrisiko und den Aufwand für einzelne Applikationen wirksam zu reduzieren. Ein Problem bei herkömmlichen Baukastensystemen stellt jedoch die steigende Systemkomplexität durch die notwendigen Zusatzfunktionen, wie die mechanische und elektronische Kopplung der Module, dar. Über die herkömmliche Form eines Baukastensystems hinaus besteht jedoch die Möglichkeit, ein variables FG-Aktorsystem allein durch die Konfiguration einer einzigen FG-Komponente zu erzeugen. Damit wird das bei FGL vorhandene und einzigartige Potential zur Funktionsintegration ausgeschöpft.

Ein Beispiel eines derartigen vollintegrierten Systems ist schematisch in Bild 6 dargestellt. Grundlage für dieses Potential ist die Besonderheit von FGL, gegenüber anderen Werkstoffen beziehungsweise Funktionswerkstoffen verschiedene Effektausprägungen in einem Bauteil einstellen zu können. Damit lassen sich in einem einzigen FG-Bauteil folgende Funktionen realisieren:

- Aktorfunktion,
- Feder- bzw. Rückstellfunktion,
- Gelenkfunktion,
- Dämpfungsfunktion,
- Strukturfunktion.

Somit eröffnet sich mit dieser Funktionskonfiguration eine neue Sichtweise, nämlich die der hochgradigen Integralbauweise, um ein multifunktionales

Aktorelement zu realisieren. Dieser sogenannte „One-Module“-Funktionsbaukasten, der nur aus einer einzigen Basis-FG-Komponente bestehen kann, kann speziell für den vorgesehenen Einsatzzweck programmiert werden. Diese Programmierung beruht dabei auf der lokalen Erzeugung verschiedener FG-Effekte und auch auf der Erzeugung gleicher Effekte mit verschiedenen Ausprägungen. Das heißt, eine FG-Komponente allein kann sowohl verschiedene passive (Gelenk-, Dämpfung- oder Strukturfunktionen) als auch verschiedene aktive Funktionsbereiche besitzen. Die so geschaffenen Bereiche können innerhalb der FG-Komponente wie Module eines Baukastens beliebig kombiniert werden. ■



Autoren:

Dr.-Ing. Sven Langbein promovierte an der Ruhr-Universität Bochum zum Thema „Lokale Konfiguration von Formgedächtnislegierungen“ und ist Leiter der Entwicklungsabteilung von FG-Innovation. Dipl.-Ing. Alexander Czechowicz ist Geschäftsführer der FG-Innovation.

www.mechatronik.info

Diesen Artikel finden Sie im Internet, wenn Sie im Feld »Suche« die Dokumentennummer ME2114903 eingeben.

Bild 6: Funktionsintegrierte monolithische FG-Aktorstruktur