

Das Potenzial des Spritzgießens reicht für adaptronische Systeme

Das Spritzgießen ermöglicht die Herstellung adaptronischer Systeme in Serie. Dazu wird die komplette Baugruppe aus aktiven und passiven Bauelementen mit Kunststoff umspritzt. Weniger Montageaufwand, mehr Robustheit und niedrigere Ausschussraten zeigen die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

LUTZ SEFFNER UND ANDERE

Der Funktionsnachweis von Konzepten für aktive Systeme der Adaptronik wurde in vielen Forschungslaboratorien von Unternehmen und Instituten erbracht. Bei der industriellen Umsetzung solcher Konzepte gibt es allerdings erhebliche Defizite. Die Gründe dafür sind fehlende serienfähige Montagetechniken für die Einzelteile. Aktive und passive, mechanische und elektrische Komponenten sind oftmals mit Mikrometernauigkeit im Kraftpfad der

Struktur zu positionieren. Die Herstellung aktiver Systeme als Verbundbauteile bietet deshalb technische Vorteile bei der Systemmontage und funktionelle Vorteile im Einsatz. Das Kunststoff-Spritzgießen kann dabei als Serienfertigungsverfahren sehr nützlich sein. Es ermöglicht, aktive und passive Komponenten (Multilayeraktoren, Vorspannelemente, elektrische und mechanische Anschlüsse) in einem robusten Verbundbauteil zu integrieren.

Das Kunststoff-Spritzgießen zur Herstellung von aktiven Verbundbauteilen ist nur in wenigen Fällen beschrieben [1 und 2]. Dies ist dadurch begründet, dass beim Umspritzen der einzelnen Komponenten diese sehr hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt werden. Anhand zweier Prototypen wird deshalb gezeigt, unter welchen Bedingungen mechanisch empfindliche Multilayeraktoren schädigungsfrei gemeinsam mit passiven Bauteilen in einem Verbundbauteil vereint werden können.

Kritische Aspekte des Projekts sind Temperatur- und Druckeinfluss

Bei den Untersuchungen und der Fertigung der Prototypen kamen Multilayeraktoren der PI Ceramic GmbH, Lederhose (Thüringen), zur Anwendung. Folgende Aspekte wurden von den Projektteilnehmern zu Beginn der Arbeiten als kritisch und risikobehaftet eingeschätzt: der Einfluss der Prozessbedingungen (thermische Last, Druck und Temperaturwechsel) auf die Funktionalität der zu integrierenden Einzelkomponenten, die zulässigen Toleranzen bei der Fertigung der Einzelteile und bei der Positionierung als Einlegeeile in der Spritzgießform, die

Dr. Lutz Seffner, Dr. Tassilo Moritz und Dr. Andreas Schönecker sind Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für keramische Technologien und Systeme (IKTS) in Dresden. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Roscher ist Wissenschaftler am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) in Chemnitz. Dipl.-Ing. Christian Anselmet und Dipl.-Ing. Daniel Just sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für chemische Technologien (ICT) in Pfinztal. Weitere Informationen: Dr. Lutz Seffner, 01277 Dresden, Tel. (03 51) 25 53-5 01, Fax (03 51) 25 53-1 13, lutz.seffner@ikts.fraunhofer.de

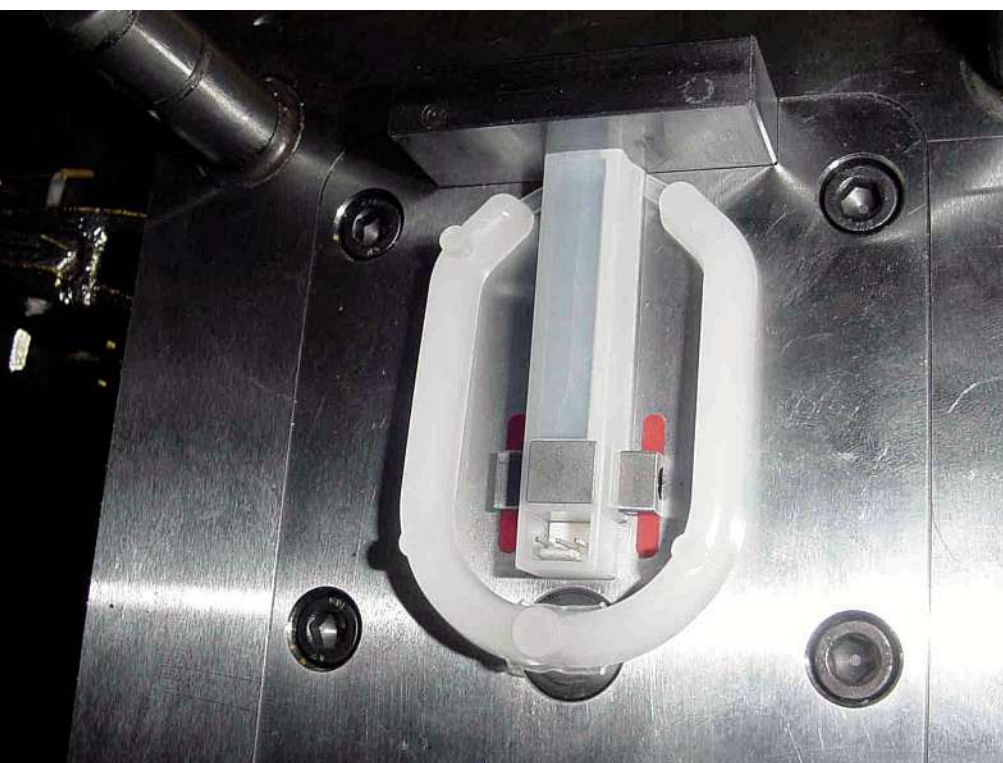


Bild: Fraunhofer IKTS

Das Umspritzen mit Kunststoff ermöglicht, robuste piezoelektrische Aktuatoren in Großserien herzustellen. Es wurden bereits Prototypen erfolgreich mit dem Thermoplast ABS umspritzt.

Haftung des Kunststoffes auf der Oberfläche der einzelnen aktiven Komponenten, die Gestaltung der elektrischen Kontakte im Bauteilinneren sowie die Ausführung der elektrischen und mechanischen Schnittstellen.

Um die Fertigungsrisiken beim Spritzgießen zu minimieren, wurden folgende Schritte ausgeführt:

► Es wurden Kunststoffe ausgewählt, deren Haftung auf den Oberflächen der adaptiven Einzelkomponenten geprüft und die geeigneten Prozessbedingungen ermittelt.

► Das Design der Prototypen einschließlich aller Einzelteile und Verbindungselemente wurde festgelegt. Anschließend fand die Konstruktion der Komponenten und Einsätze der Spritzgießform statt.

► Schließlich wurden die Form und die Einlege­teile hergestellt, bevor man mit der Herstellung und Charakterisierung der Prototypen begann.

Formschluss oder Hinterschneidung sorgt für die Haftfestigkeit

Zur Prüfung der Haftfestigkeit kamen folgende thermoplastische Kunststoffe zur Anwendung: ABS (Toyolac 250-X10, Hersteller Toray Group, Tokio/Japan), PBT (Pocan B 1600, Lanxess AG, Leverkusen), POM (Hosform C 13021, Ticona GmbH, Kelsterbach) und Polycarbonat (Makrolon 2800, Bayer Materialscience AG, Leverkusen). Es wurde festgestellt, dass diese weder auf den Oberflächen der Multilayeraktoren noch auf den Metalleinlegern haften. Für eine stabile Polymerbeschichtung sind deshalb im Design der Einlege­teile Formschlusselemente oder Hinterschneidungen vorzusehen. Die Auswahl der Kunststoffe erfolgte schließlich auf der Grundlage der Verarbeitungsbedingungen. Für alle weiteren Untersuchungen und die Fertigung des Demonstrators wurde der Thermoplast ABS ausgewählt. Dieser Kunststoff hat eine mittlere Schmelztemperatur von etwa 240 °C und rund 0,5% Formschwund.

Übliche Elektroniklote können unter der Wärmeeinwirkung der Kunststoffschmelze beim Einspritzen in die Kavität erweichen oder schmelzen. So war zu testen, ob sich Lotverbindungen zur Gestaltung der inneren und äußeren elektrischen Kontakte anwen-

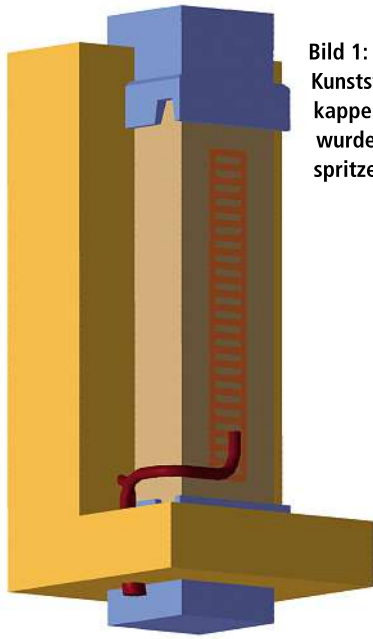


Bild 1: Prototyp aus Aktor, Kunststoffmantel und Metallendkappen (CAD-Modell). Daran wurde die Tauglichkeit des Umspritzens geprüft.

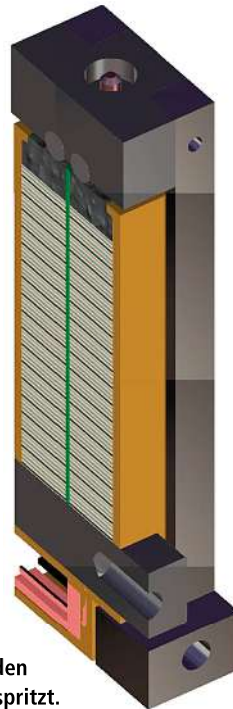


Bild 2: Prototyp als aktives, komplex aufgebautes Verbundbauteil. Befestigungselemente, Aktorköpfe, Aktuatoren, Trennlage, Grundplatte und elektrische Anschlüsse wurden mit Kunststoff umspritzt.

Schmelzpunkten zur Anwendung: ein bleifreies Lot (Sn95.5Ag3.8Cu0.7, T_s 217 °C) und ein bleihaltiges Lot (Sn85Pb13.5Ag1.5, T_s 301 °C). Nach dem Umspritzen wurde durch eine Kapazitäts- oder Widerstandsmessung die Funktionalität der Lotkontakte auf einfache Weise überprüft. Keiner der sechs Aktoren ging defekt. Das heißt: Beide Lotsorten halten den für den Kunststoff ABS relevanten Prozessbedingungen stand. Für die Prototypen wurde schließlich das bleihaltige Lot Sn85Pb13.5Ag1.5 eingesetzt.

Mehrere Herausforderungen an einem Prototyp demonstriert

Die Möglichkeiten des Kunststoff-Spritzgießens wurden anhand zweier unterschiedlicher Prototypen demonstriert. Der erste Prototyp besteht aus einem Aktor mit Polymerumhüllung und integrierten Metallendkappen (Bild 1). Beim zweiten Musterteil handelt es sich um ein Stellglied mit inhärenter Wegübersetzung, bestehend aus einer Differentialanordnung von zwei Aktoren (Bild 2). Ziel dieses komplex aufgebauten Verbundbauteils ist die gleichzeitige Demonstration mehrerer technischer Herausforderungen: der Zusammenführung einer Vielzahl von Einzelkomponenten zu einem Verbundelement, der elektrischen Verdrahtung aktiver Komponenten sowie deren elektrische und mechanische Isolation und der Integration eines Steckverbinders als Schnittstelle für die elektrische Ansteuerung. ►

den lassen. Für diese Tests wurden bei sechs Aktoren an jeder Elektrode jeweils zwei Drähte (AWG 28) angelötet. Dabei kamen zwei verschiedene Lote mit verschiedenen

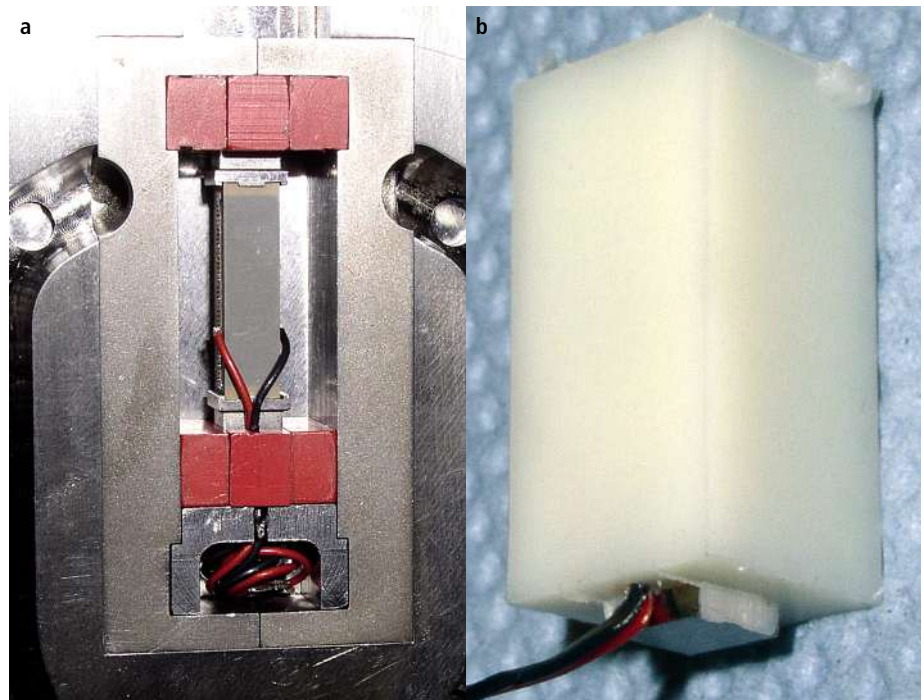


Bild 3: Zum Umspritzen wurde die komplette Baugruppe eines Prototyps in der Spritzgießform montiert (a). Nach dem Entformen ist das Aktorsystem anschlussfertig (b).

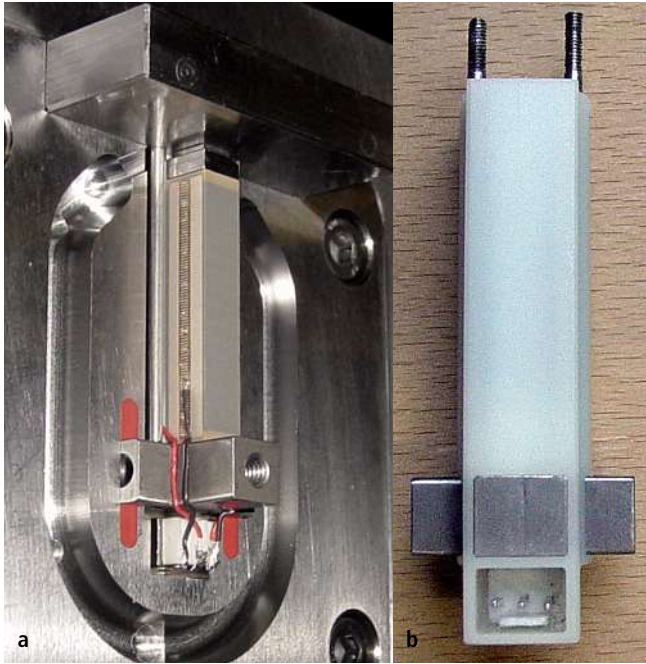


Bild 4: Die Baugruppe dieses Prototyps wurde vor dem Einlegen in die Spritzgießform vormontiert (a). Nach dem Entformen erhielt das Aktorsystem einen Hebel für die Wegübersetzung (b).

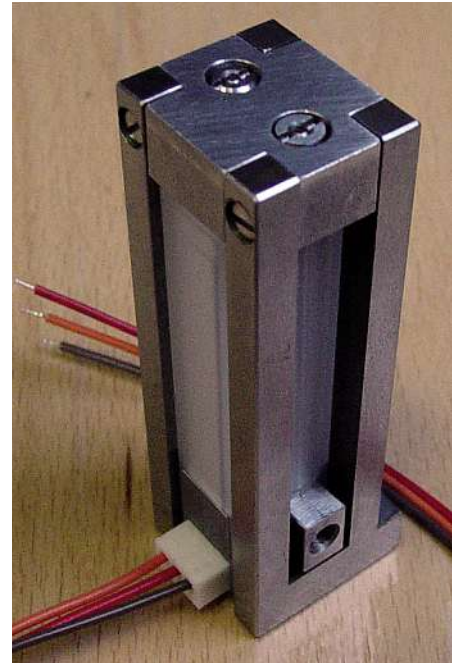


Bild 5: Komplett montierter, funktionsfähiger Aktor mit Wegübersetzung, der die Tauglichkeit des Spritzgießens demonstriert.

Bei diesem Prototyp stehen die Aktoren auf einer metallischen Grundplatte, an der sich die Befestigungsmöglichkeiten befinden. Unter dieser Grundplatte ist der Stecker angeordnet, der über das Kunststoffgehäuse fest mit dem System verbunden ist. Am oberen Ende der Aktoren sind die Aktorköpfe angeordnet, die ebenfalls über das Kunststoffgehäuse unlösbar mit den Aktoren verbunden sind. Über diese Aktorköpfe erfolgt die Kräfteinleitung. Dazu sind Auflieger in die Kopfplatte eingebracht. Die Kopfplatte wird bei unterschiedlicher Auslenkung der

beiden Aktoren verkippt. Die Wegvergrößerung erfolgt dann über den außen angebrachten Hebel.

Modularer Formenaufbau ermöglicht Umspritzen verschiedener Prototypen

Der Abstand der Auflieger in der Kopfplatte ist variierbar. Damit kann durch einfaches Wechseln der Kopfplatte eine unterschiedliche Wegübersetzung eingestellt werden. Die Kopfplatte wird von zwei Spannelementen gehalten, über die sich auch eine Vorspannung einstellen lässt. Die Ansteuer-

ung der Aktoren erfolgt mit Hilfe einer Verstärkerstufe, die eine Differentialansteuerung der Aktoren gewährleistet, wobei die Einzelaktoren stets in Polarisationsrichtung betrieben werden.

Die Spritzgießform ist modular aufgebaut, sodass durch einfachen Wechsel der Einsätze beide Prototypen hergestellt werden konnten. Dazu musste das Formwerkzeug folgende Aufgaben erfüllen: das Umspritzen der Aktoren unter Vorspannung, die Positionierung und Abdichtung der Grundplatte. Die Grundplatte wurde nur teilweise um-

spritzt. Bei der Kabelführung – von den Elektroden der Aktoren zum äußeren Anschlussstecker und nach außen – mussten Kurzschlüsse vermieden werden. Damit die Kontakte beim Umspritzen frei von Kunststoff blieben, war eine Abdichtung des Anschlusssteckers erforderlich. Die Schmelzenführung in der Form und die Positionierung der Auswerferstifte mussten teilegerecht festgelegt werden. Bei diesem Prototyp wurde die gesamte Baugruppe außerhalb der Spritzgießform vormontiert und komplett in diese eingesetzt.

Mit der Komplexität des Prototyps steigt das Optimierungspotenzial

Die Bilder 3 und 4 zeigen die im Werkzeug montierten Baugruppen der beiden Prototypen. Sie wurden auf der Spritzgießmaschine Allrounder 370C des Maschinenherstellers Arburg, Loßburg, mit Kunststoff umspritzt. Nach dem Entformen erhielt der komplex aufgebaute Prototyp noch einen Hebel für die Wegübersetzung. Das vollständige Verbundbauteil ist in Bild 5 dargestellt. Anhand von Messungen der elektrostatischen Kapazität an allen umspritzten Proben der beiden Verbundbauteile wurde deren volle Funktionsfähigkeit festgestellt. Bild 6 zeigt einen Vergleich der Kapazitätswerte der Aktoren vor und nach dem Kunststoff-Spritzgießen. Im Mittel waren die Kapazitätswerte der Proben nach dem Kunststoff-Spritzgießen um etwa 4% erhöht. Die freie Dehnung der Aktoren wird durch die Kunststoffumhüllung reduziert (Bild 7).

Bei den Proben des zweiten Prototyps nahm jedoch die Kapazität nach dem Umspritzen mit ABS um etwa 5% ab. Die Messung der freien Dehnung und der Blockierkraft zeigte, dass das Design der Wegübersetzung noch besser gestaltet werden muss. Bei der freien Auslenkung des Aktorhebels wurden nur 35% des jeweiligen Maximalwerts erreicht. Dies ist insbesondere auf Ungenauigkeiten bei der Fertigung der Kopfplatte und eine zu niedrige mechanische Vorspannung zurückzuführen. Bei der Blockierkraft betrug der jeweilige Maximalwert etwa 65%. Um das Maximum zu erreichen, muss die Steifigkeit der Wegübersetzung konstruktiv verbessert werden.

Zwei Testmuster dieses Prototyps wurden einer zyklischen Belastung unterzogen, um Hinweise darauf zu erhalten, ob und in welcher Weise sich die Eigenschaften der umspritzten Aktoren nach einer länger andauernden zyklischen Belastung verändern. Hauptziel war es, herausfinden, ob durch Bewegung der Aktoren in der Kunststoff-

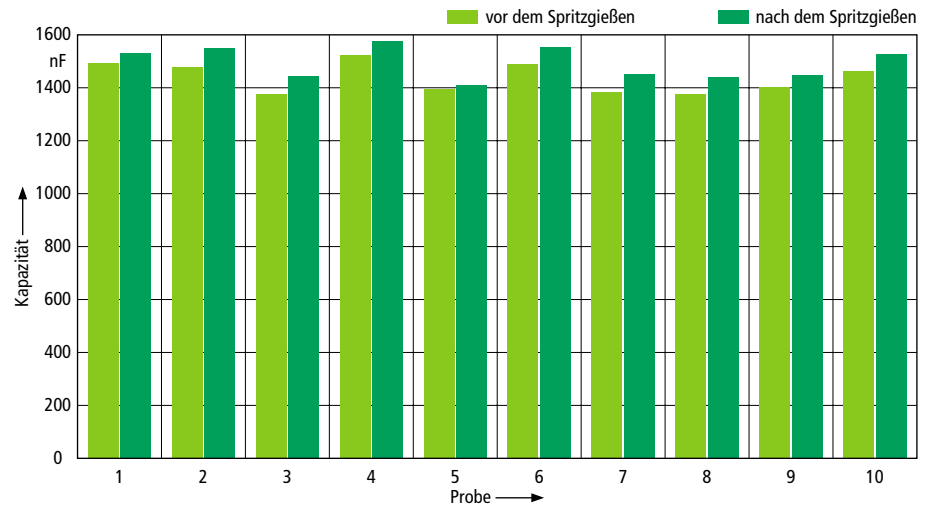


Bild 6: Elektrostatische Kapazitätsmessungen an einem Prototypen zeigten, dass das Spritzgießen die Funktionsfähigkeit der umspritzten Baugruppe nicht beeinträchtigt.

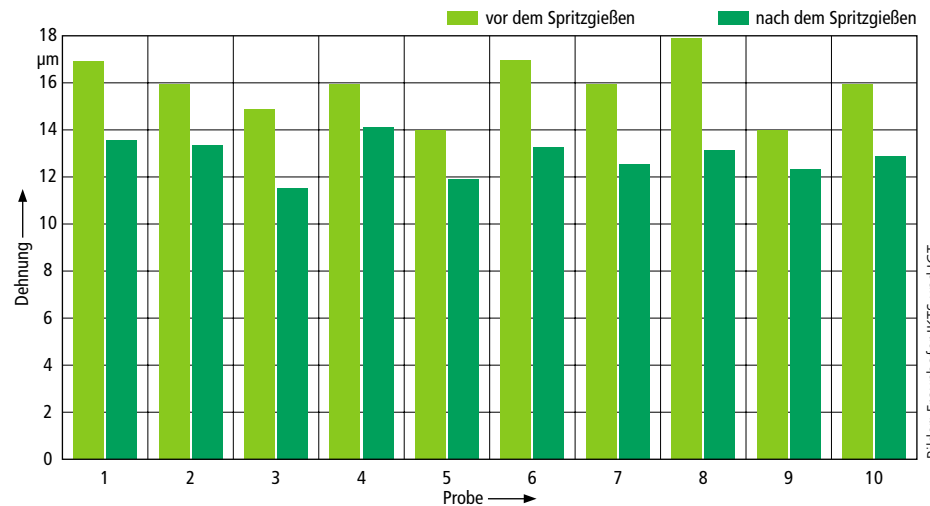


Bild 7: Der umspritzte Kunststoffmantel reduziert die Dehnung der Aktoren bei einer angelegten Spannung von 100 V.

matrix die Seitenelektroden beschädigt werden. Eine andauernde Bewegung der Aktoren kann dazu führen, dass mit der Zeit immer mehr Einzellagen elektrisch abgetrennt werden. Dies würde sich in einer deutlichen Abnahme der Kapazität bemerkbar machen. Die zyklische Ansteuerung erfolgte dabei mit 100 V Sinusspannung (Frequenz 20 Hz). Nach $1,5 \times 10^7$ Zyklen sanken die Kapazitätswerte auf etwa 90 bis 95% der Ausgangswerte. Während der Tests wurde keine signifikante Verschlechterung der Eigenschaften der Testmuster beobachtet.

Formgestaltung auf das Umspritzen anderer Baugruppen übertragbar

Dieses Projekt zeigt, dass robuste komplexe Aktorsysteme als Verbundbauteile im Spritzgießverfahren herstellbar sind, die in adaptiven Systemen Anwendung finden können. Es wurden erfolgreich Prototypen

hergestellt, bei denen Multilayeraktoren, passive Bauelemente und elektrische Anschlüsse als komplette Baugruppe mit dem Kunststoff ABS umspritzt wurden. Die dabei gewonnenen Erfahrungen zur Gestaltung der Spritzgießformen und zur Optimierung der Prozessparameter sind auch auf andere Baugruppen aktiver Systeme übertragbar. Die Serienfertigung aktiver Systeme als Verbundbauteile im Spritzgießverfahren kann der Adaptronik in vielen Bereichen zum Durchbruch verhelfen: in der Automobiltechnik, der Leistungsaktoren für die Mikroelektronik, der Handhabungs- und Antriebstechnik. Das Projekt wurde im Rahmen einer mittelstandsorientierten Eigenforschung der Fraunhofer Gesellschaft durchgeführt.



Literatur

- [1] Patent EP 1588782
- [2] Patent US 6639988