

Entwicklung einer industriell nutzbaren Herstelltechnologie für dielektrische Elastomersensoren mit strukturierten Metallelektroden

Jannik Krohn, Thorsten Koch, William Kaal
 Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
 Bartningstr. 47, 64289 Darmstadt, Deutschland

Zusammenfassung

Bei der Umsetzung von Industrie 4.0 werden vernetzte Systeme benötigt, welche eine hohe Integrationsdichte von Sensoren aufweisen. Daher wurde am Fraunhofer LBF ein dielektrischer Elastomersensor unter Verwendung von strukturierten Metallelektroden entwickelt. Die als DELTA-C[®] bezeichnete Technologie kann als kapazitive Kraftsensorik eingesetzt werden, welche leicht zu integrieren und in einem breiten Anwendungsgebiet nutzbar ist. Um diese in vielen Bereichen kostengünstig einzusetzen, werden die Sensoren für eine industriell nutzbare Herstellung angepasst. Es konnte gezeigt werden, dass auch in hohen Lastbereichen noch Kapazitätsänderungen und damit Kräfte detektiert werden können und die Designparameter eine Anpassung der Sensoreigenschaften an unterschiedliche Lastfälle ermöglichen. Zudem konnten erste erfolgreiche Integrationen der Sensoren in Elastomerbauteile umgesetzt werden. Die Herausforderung besteht in der Identifikation optimaler Designparameter zur Erreichung einer hohen Genauigkeit in einem großen Lastbereich.

Keywords: Kraftsensorik, dielektrisches Elastomer, strukturierte Metallelektrode, Automatisierung, Integration

Bedarf von flexiblen Kraftsensoren für Elastomerbauteile auf Basis dielektrischer Elastomere

Bei der Digitalisierung und dem Einsatz von künstlicher Intelligenz im Bereich von Industrie 4.0 werden hohe Integrationsdichten von Sensoren in Maschinen und Anlagen benötigt [1], da eine Effizienzsteigerung ein hohes Maß an Prozesswissen erfordert. Dadurch steigt der Bedarf an robusten Sensoren, welche in Teilkomponenten technischer Systeme integriert werden können.

Vor allem die Kraft stellt eine interessante physikalische Größe dar, um Prozesse zu überwachen, Zustände von Komponenten zu beurteilen und prädiktive Wartung zu betreiben. Daher werden vielfältige Anforderungen an Kraftsensoren gestellt, wie die Messung von statischen und dynamischen Lasten bis in hohe Frequenzbereiche, eine gute Überlastfähigkeit sowie der Einsatz preiswerter und ökologisch vorteilhafter Materialien.

Kraftsensoren basierend auf Dehnmessstreifen (DMS) sind für Präzisionsanwendungen am weitesten verbreitet. Wegen der komplexen Verformungskörper sind sie bauraumintensiv und teuer, da sie von Hand appliziert werden. Piezokraftsensoren sind in sehr kleinen Baugrößen verfügbar, eignen sich aber prinzipbedingt nicht für statische Messungen. Andere

Technologien wie z. B. FSR-Sensoren (Force-Sensitiv-Resistor) sind auch klein und zudem günstig, aber nur bedingt für höhere Lasten geeignet. Daher bietet die Etablierung neuer Sensortechnologien enorme Potenziale, stellt aber insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMUs) vor große Herausforderungen.

Die am Fraunhofer LBF entwickelte DELTA-C[®]-Technologie ist eine elastomerbasierte kapazitive Kraftsensorik. Diese ermöglicht besonders flache und geometrisch skalierbare Kraftsensoren, da der für DMS-Kraftsensoren erforderliche Verformungskörper durch eine Elastomerschicht ersetzt wird, was zudem die Integrierbarkeit der Sensoren erleichtert. Im Vergleich zu Piezokeramiken werden preiswerte und umweltverträgliche Materialien (lediglich Elastomere und Metalle) verwendet. Neben konventionellen Sensortypen existieren ähnliche elastomerbasierte Konzepte wie SingleTact, LEAP, Pewatron und andere [2]. Diese können jedoch nicht für Lasten größer 1000 N eingesetzt werden, verfügen über eine geringere Messbandbreite und besitzen größere Bauhöhen von 5 bis 10 mm (abgesehen von SingleTact) als DELTA-C[®] (kleiner 2 mm). FSR-Kraftsensoren sind flacher als die DELTA-C[®]-Technologie, weisen aber einen kleineren Messbereich, einen großen Drift (5%) und eine hohe Hysterese (+10%) auf.

Der Aufbau eines dielektrischen Elastomer-Wandlers mit starren, mikrostrukturierten Elektroden ist seit 2014 in der EU und seit 2017 in den USA durch Fraunhofer patentiert. Zudem wird die Technologie u.a. von einem Automobilzulieferer nichtexklusiv lizenziert. In KMU-dominierten Branchen der Sensorhersteller, der Schwingungstechnik und der Elastomerverarbeitung stößt die Technologie ebenfalls auf Resonanz. So können Sensorhersteller durch DELTA-C® ihr Portfolio erweitern und Schwingungstechnikunternehmen sowie Elastomerverarbeiter können neue sensorintegrierte Produkte auf den Markt bringen. Solch eine Funktionsintegration verleiht hochspezialisierten Produkten auf Elastomerbasis besonderen Mehrwert und Vorteile im internationalen Wettbewerb durch die Überwachung von Betriebslasten, die Ermittlung der Lebensdauer, eine vorausschauende Instandhaltung sowie die Erweiterung des Systemverständnisses und die Misuse-Detektion im Feldeinsatz. Damit leistet die DELTA-C®-Technologie einen Beitrag zur fortschreitenden Digitalisierung und trägt durch die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit des Mittelstands mit Hilfe von Produktinnovationen zum gesellschaftlichen Auftrag von Fraunhofer bei. Dennoch bestehen Hemmnisse für gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsprojekte sowie die Einführung der neuen Technologie.

Aufbau und Funktionsweise dielektrischer Elastomersensoren

Elastomere sind gummielastische Kunststoffe, die in der Technik in vielfältigen Anwendungen zum Einsatz kommen, wie z. B. zur Schwingungsbeeinflussung im Maschinen- und Anlagenbau. Sie bestehen aus Naturkautschuk oder synthetisch hergestellten Materialien und weisen aufgrund ihres inneren Aufbaus eine hohe Elastizität auf. Wird eine dünne Elastomerschicht beidseitig mit elektrisch leitfähigen und elastischen Schichten versehen, können dem Material sensorische Eigenschaften aufgeprägt werden [3]. Der entstehende Schichtverbund, aus Elastomer und Elektroden, bildet einen flexiblen Plattenkondensator. Da dessen Kapazität sich bei Deformation durch mechanische Lasten in Dickenrichtung verändert, kann dieser als Kraftsensor verwendet werden (s. Abb. 1). Wegen der Inkompessibilität des Elastomers geht die Dickenreduktion mit einer Flächenvergrößerung einher. Daher müssen die Elektroden-schichten nicht nur elektrisch gut leitfähig, sondern auch mechanisch äußerst dehnbar sein, um die Verformung des Elastomers nicht zu behindern. Die Realisierung einer geeigneten Elektroden-schicht stellt aufgrund dieses Zielkonflikts eine technische Herausforderung dar [4].

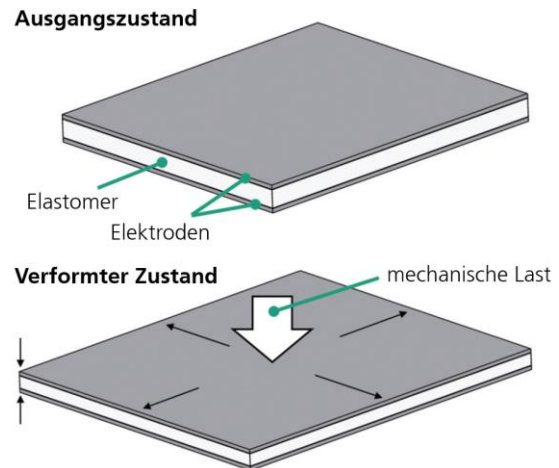


Abb. 1: Verformungsverhalten eines DE-Sensors mit dehnbaren und vollflächigen Elektroden

Am Fraunhofer LBF wurde mit DELTA-C® ein Konzept für dielektrische Elastomersensoren (DE-Sensoren) entwickelt, das auf metallischen und damit sehr gut leitfähigen Elektroden basiert [5]. Dabei handelt es sich um dehnstarre, strukturierte Elektroden, welche mindestens einseitig perforiert sind und somit dem Elastomer eine lokale Deformation ermöglichen, so dass eine makroskopische Kompressibilität des Schichtverbundes erzeugt wird (s. Abb. 2). Somit folgt trotz inkompressiblem Elastomer-material eine einaxiale Verformung mit konstanter Fläche, was die Anbindung an bestehende Strukturen erleichtert. Daher können metallische Elektroden verwendet werden, deren hohe Leitfähigkeit für geringe elektrische Verluste sorgt und den nutzbaren Frequenzbereich erweitert, da der Elektrodenwiderstand gemeinsam mit der Sensorkapazität ein Tiefpassverhalten bewirkt.

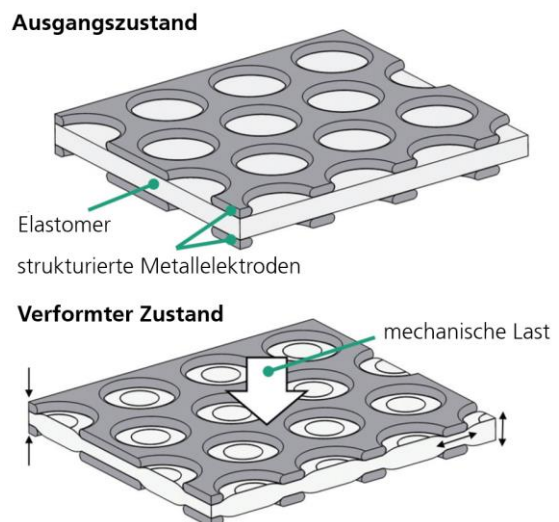


Abb. 2: Verformungsverhalten des DELTA-C®-Sensors mit dehnstarken und strukturierten Metallelektroden

Die Kapazität des Sensors kann bei bekannter Kennlinie als Maß für die aktuelle Verformung bzw. für die wirkende Kraft in Dickenrichtung herangezogen werden. Mit geeigneten Messverfahren, die auch für andere kapazitive Sensoren zum Einsatz kommen, kann die Kapazität des Werkstoffverbunds mit hoher Abtastrate ausgewertet und somit seine statische und dynamische Belastung erfasst werden [5]. Zur Einstellung von Messbereich und Sensitivität können die Elektrodenflächen (Lochdurchmesser und -abstand) angepasst, mehrere Elastomer-Elektroden-Paare gestapelt oder die Elastomerschichtdicke variiert werden. Je nach Anwendungsfall können mehrere solcher Einzelschichten mit alternierender Elektrodenkontaktierung übereinandergestapelt werden, sodass ein funktionaler Werkstoffverbund entsteht. Der Aufbau der Sensorelemente erfolgt dabei sukzessive auf einer (flexiblen) Platine, welche vorkonfektioniert in verschiedenen Stärken mit wechselseitiger Kontaktierungsmöglichkeit und integrierter Schirmung verwendet wird. Durch diesen Aufbau entsteht ein flacher Kraftsensor, welcher beliebige Formen annehmen kann. Er ist skalierbar hinsichtlich des Lastbereichs, der Überlastfähigkeit sowie statisch und dynamisch nutzbar. So entsteht je nach Anforderungen an die Sensoreigenschaften ein Schichtverbund, der in industrielle Elastomerkomponenten integriert werden kann.

Manuelle Fertigung von individuellen DELTA-C[®]-Sensoren

Die anfängliche Fertigung der Sensoren bestand in dem manuellen Schichten von präzise geätzten Metallelektroden mit zugeschnittenen Elastomerfolien und dem darauffolgenden Verschweißen der Elektroden zur Kontaktierung mit dem Auswertemodul. Durch den manuellen Aufbau wird die Präzision und die Reproduzierbarkeit der Sensoren limitiert, womit ein Serien Einsatz in Elastomerkomponenten noch nicht in Betracht kommt. Die besondere Herausforderung bei der Herstellung besteht in dem Umgang mit den dünnen Elastomerschichten. So ist vor allem die Handhabung beim Zuschneiden und Stapeln der Elastomerfolien schwierig. Um reproduzierbare Sensoreigenschaften zu erreichen, müssen die Schichten eine definierte, eng tolerierte Dicke aufweisen, der Kontakt zwischen Folie und Elektrode muss flächig und frei von Verunreinigungen sein und die Perforation darf nicht vor der Belastung durch eindringendes Elastomer material ausgefüllt werden.

Bei der Integration des Sensors in einen Fahrradgriff zeigen sich die Herausforderungen der manuellen Fertigung (s. Abb. 3). Besonders die Applizierung des Sensors auf eine gekrümmte

Fläche ist komplex und kaum noch handhabbar. Daher werden im Forschungsprojekt „Delight“ (Dielektrische Elastomersensoren zur Funktionsintegration mit industrieller Herstellertechnologie, IGF-Vorhaben Nr. 22691 N, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK) Anpassungen am Sensor vorgenommen, um eine automatisierte und wirtschaftliche Fertigung zu ermöglichen.

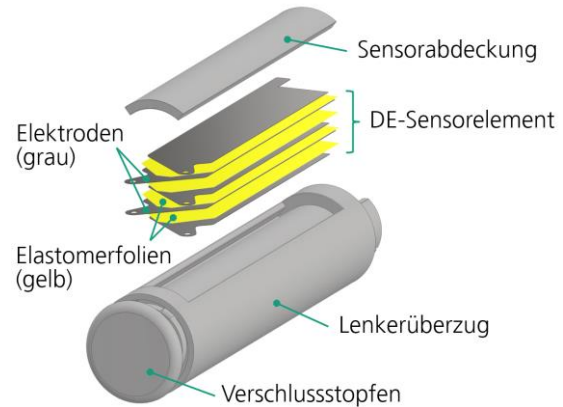


Abb. 3: Aufbau des DELTA-C[®]-Sensors integriert in einem Fahrradgriff

Teilautomatisierte Fertigung von DELTA-C[®]-Sensoren

Aktuell wird am Fraunhofer LBF eine Fertigungsanlage für die Herstellung von DE-Aktoren mit flexiblen gesprützten Elektroden [6] zur automatisierten Fertigung von skalierbaren DELTA-C[®]-Sensoren umgerüstet. Der Rakelprozess hat sich in Vorüberlegungen als am geeignetsten zur Herstellung der Sensorelemente herausgestellt, da hiermit unterschiedlich dicke Elastomerschichten hergestellt und direkt mit den Elektroden verbunden werden können. Zudem wird die herausfordernde Handhabung beim Zuschneiden und Stapeln von dünnen Elastomerfolien umgangen. Ein kritischer Erfolgsfaktor besteht in der genauen Einstellung der Viskosität des Elastomers, sodass dieses beim Rakeln einerseits nicht die Perforation der Elektroden infiltriert, aber auch andererseits den Rakelprozess nicht negativ beeinflusst. Die präzise geätzten und damit kostenintensiven strukturierten Metallelektroden werden durch ein kostengünstiges, Stahlgewebe ersetzt (s. Abb. 4). Dadurch gehen die exakten Geometrien (wie Lochdurchmesser und -abstand) verloren, aber es steht eine Vielzahl an Maschenweiten zur Verfügung. Um das Infiltrationsproblem zu umgehen, wird das Stahlgewebe zusätzlich mit Kupferfolie beklebt. Die exakte Form der Elektrode mit Kontaktierungsfähnchen wird im Nachgang drahterodiert. Für diese aktuell noch teilweise händischen Arbeitsschritte wird ein automatisiertes System zur Beklebung und Formgebung der Metallelektroden entwickelt.

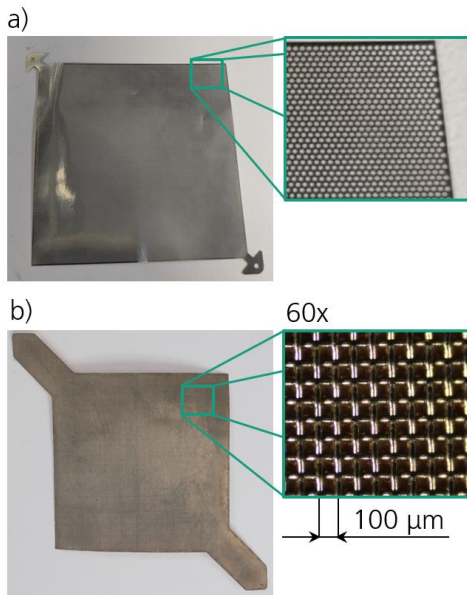


Abb. 4: Vorherige präzise geätzte Metallelektroden a) und angepasste Metallelektroden aus Stahlgewebe (mit 100 µm Maschenweite) und Kupferfolie mit 60-facher Vergrößerung b)

Die teilautomatisierte Fertigung beginnt mit dem händischen Einlegen der Sensorplatinen auf einen Aluminiumträger (vor Station 1, s. Abb. 5). Die Positionierung und Fixierung erfolgt durch eine magnetisch fixierte Stahlmaske auf dem Träger, welche eine einfache Applizierung von unterschiedlich großen und beliebig geformten planen Platinen erlaubt. Über Förderbänder und Schiebetische wird der Träger zwischen den Stationen transportiert. In der Rakeleinheit (Station 1) wird ein 2-Komponenten (2K) raumtemperaturvernetzendes (RTV) Silikon gemischt und auf den Träger mit Sensorplatine aufgerakelt und bildet die Elastomerschicht.

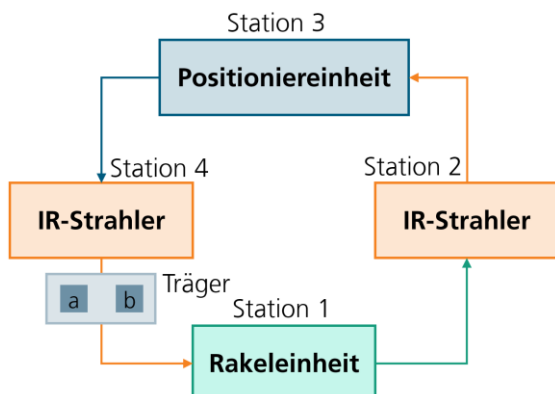


Abb. 5: Schematische Darstellung des (teil-) automatisierten Fertigungsprozess der DELTA-C®-Sensoren

In Station 2 wird die Silikonschicht unter einem Infrarot-Strahler (IR-Strahler) ausgehärtet.

Beim Aushärten muss das noch flüssige Silikon eine bestimmte Viskosität erreichen, sodass die folgende Elektrode haftet, um das nachfolgende Rakeln zu ermöglichen, aber kein Silikon in das Stahlgewebe der Elektrode eindringt. Bei der Positioniereinheit (Station 3) folgt die Platzierung der Elektroden. Dieser Prozess läuft momentan noch manuell, in Zukunft soll aber eine Vorrichtung zur Handhabung von Metallelektroden (z. B. durch Positionieren von magnetisierten Metallelektroden aus foliertem Stahlgewebe mit einem Vakuumgreifer) entwickelt werden. Ist die Elektrode platziert, folgt eine weitere Aushärtung in Station 4. Danach wird der Rakelprozess wiederholt (s. Abb. 6). Die überbackelte Elektrode ist dann vollständig in Silikon eingebettet.

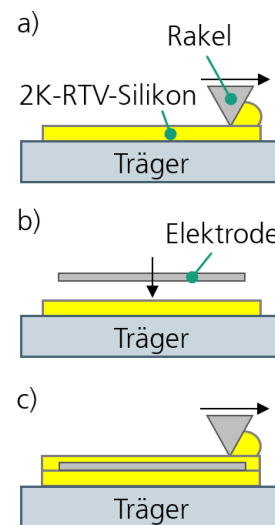


Abb. 6: Schematische Darstellung des Rakelprozesses: a) Auftragen der ersten Silikonschicht, b) Positionierung und Einlegen einer Elektrode, c) Auftragen der nächsten Silikonschicht

Dann wird der gesamte Prozess wiederholt, wobei die Elektroden immer mit wechselseitiger Kontaktierung platziert werden, bis die finale Elastomerschicht aufgerakelt wird. Somit entsteht ein Schichtverbund wie schematisch in Abbildung 7 dargestellt. Dieser Prozess erlaubt verschiedene Größen und Formen des Sensors mit unterschiedlicher Schichtanzahl und Dicke. Auch eine skalierbare Vereinzelung ist möglich, bei Verwendung von großflächigen gerasterten Platinen und Elektroden mit Vereinzelung nach Abschluss des Schichtaufbaus. Für die abschließende Kontaktierung der Elektroden werden die Kontaktstellen noch händisch von der Silikonschicht befreit und mittels Nietverbindung kontaktiert. Abschließend wird eine Schirmung über der gesamten Sensorfläche angebracht und mit der Platine verlötet, um die elektromagnetische Verträglichkeit sicherzustellen. Der fertige Sensor ist in Abbildung 8 dargestellt.

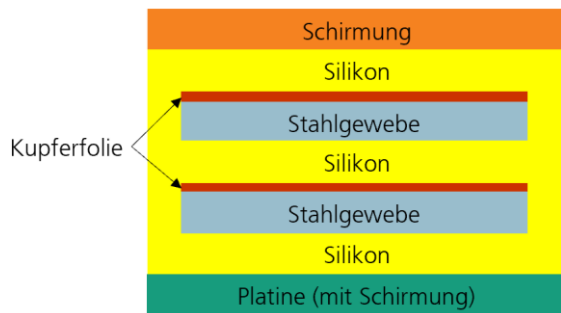


Abb. 7: Schematische Darstellung des Aufbaus des DELTA-C®-Sensors nach der teilautomatisierten Fertigung

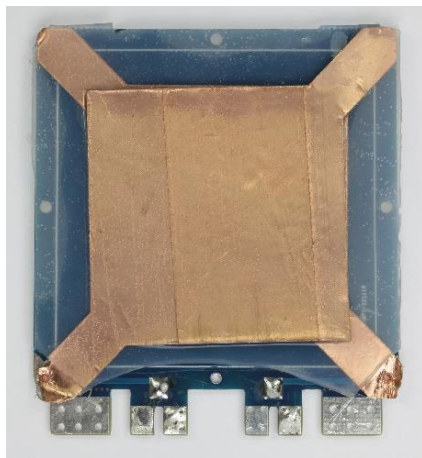


Abb. 6: Teilautomatisiert gefertigter DELTA-C®-Sensor (ohne Schirmung)

Sensorcharakterisierung und Variation von Designparametern

Im Anschluss an die Fertigung folgt eine End-of-Line-(Eol)-Prüfung zur Charakterisierung der DELTA-C®-Sensoren. Als Prüfvorrichtung wird eine angepasste Eigenkonstruktion verwendet, welche aus einer spindelgetriebenen Druckprüfmaschine und einer Auswertelektronik besteht. Der Sensor wird flächig über einen Stempel mit einer Druckkraft bis 1900 N belastet. Es wird eine konstante geringe Belastungsgeschwindigkeit (ca. 3 mm/min) eingestellt, um viskoelastische Effekte des Silikons zu vermeiden. Bei der Prüfung werden die Druckkraft des Stempels und die Kapazität des Sensors kontinuierlich gemessen. Die Steuerung der Prüfmaschine und die Berechnung der Messgrößen erfolgt mittels LabVIEW. Die Auswertung und die Darstellung der Messdaten wird durch einen Matlab-Code realisiert. Dort werden die geglätteten Messdaten der Kapazität über der Kraft aufgetragen, was die Kennlinie des Sensors darstellt (s. Abb. 9). Des Weiteren wird die maximale Hysteresebreite berechnet, der größte Kraftunterscheid zwischen Be- und Entlastungskurve. Zur Bestimmung der relativen Hysteresebreite wird die maximale Hysteresebreite auf die Maximalkraft bezogen, sie stellt somit den größtmöglichen Messfehler des Sensors dar. Zudem werden noch weitere technische Kennwerte angegeben (s. Tab. 1), wie die Grundkapazität, also die Kapazität im unbelasteten Zustand, die Kapazität bei maximaler Belastung (ca. 1900 N), die Kapazitätsänderung ΔC (Differenz aus maximaler Kapazität und Grundkapazität), welche ein Indikator für die

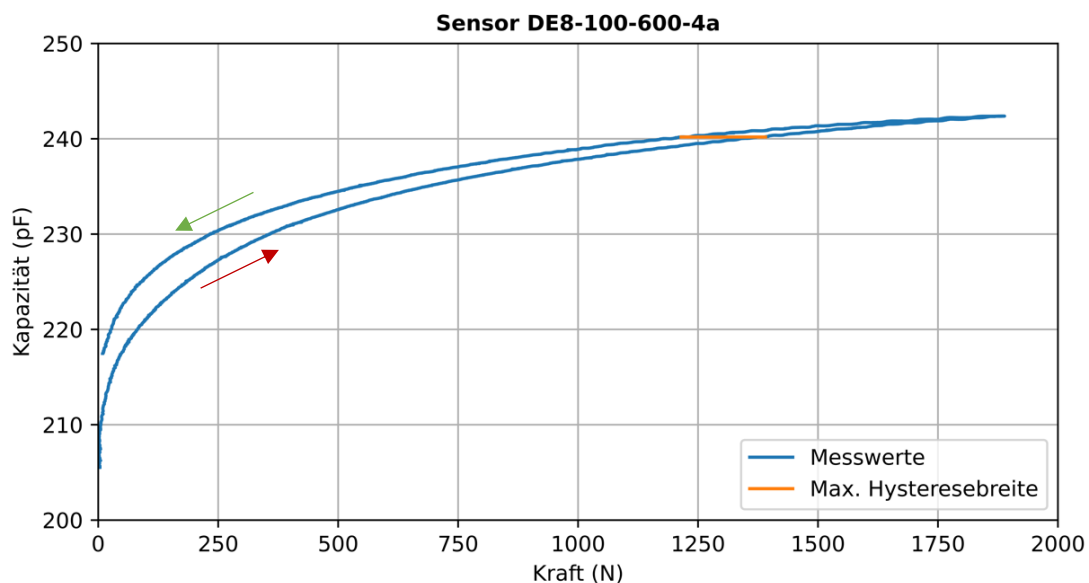


Abb. 9: Darstellung der Kennlinie (Kraft-Kapazitäts-Verlauf nach Eol-Prüfung) eines DELTA-C®-Sensors (DE8-100-600-4a) mit zwei Metallelektroden mit 100 μm Maschenweite, separiert durch 600 μm dicke Silikonschichten

Sensitivität des Sensors ist, und die lineare Sensitivität (Steigung der Regressionsgerade im Bereich von 0 bis 100 N bei Belastung), welche zur Messung von kleinen Kräften relevant ist. Die angegebene Sensor-Nummer (DE8-100-600-4a) gibt an, dass eine Maschenweite von 100 μm und eine Silikonschichtdicke von 600 μm verwendet wird. Die letzte Stelle ist eine fortlaufende Nummer mit der Trägerposition a oder b.

Tab. 1: Technische Kennwerte eines DELTA-C[®]-Sensors (DE8-100-600-4a)

Sensor-Nr.: DE8-100-600-4a	Wert	Einheit
Grundkapazität	207	pF
Maximale Belastung	1888	N
Kapazität bei maximaler Belastung	243	pF
ΔC absolut	36	pF
ΔC relativ	17,4	%
Maximale absolute Hysteresebreite	176	N
Maximale relative Hysteresebreite	9,3	%
Lineare Sensitivität (0-100N)	0,19	pF/N
Silikonschichtdicke	600	μm
Maschenweite	100	μm

Die Kennlinien der charakterisierten Sensoren zeigen alle einen asymptotischen Verlauf, wobei sich die Kurve einer maximalen Kapazität annähert, welche bei Erhöhung der Drucklast annähernd konstant bleibt. Bis zu einer Kraft von ca. 1900 N liegt noch eine ausreichende

Kapazitätsänderung vor, sodass eine Änderung der Kraft detektiert werden kann. Des Weiteren bildet die Kennlinie eine relativ breite Hysteresese, also einen unterschiedlichen Verlauf bei Be- und Entlastung. Diese sollte möglichst gering sein, da sie einen direkten Einfluss auf die Genauigkeit des Sensors hat. Bisher können Kennlinien mit einer max. Hysteresebreite (in Abb. 9 in orange dargestellt) von unter 10 % zur maximalen Belastung erzielt werden.

Zur Untersuchung von Designparametern wird zuerst die Reproduzierbarkeit der teilautomatisiert gefertigten Sensoren geprüft. Für die Variation von Designparameter sollten annähernd identische Sensoren gefertigt werden können. Daher werden die Kennlinien von Sensoren mit identischen Designparametern verglichen (s. Abb. 10). Es ist zu beobachten, dass trotz gleichbleibender Maschenweite und Silikonschichtdicke unterschiedliche Kennlinien auf verschiedenen Kapazitätsniveaus entstehen. Die Grundkapazität und die Kapazität bei maximaler Belastung zeigen eine prozentuale Standardabweichung zum Mittelwert von 12 bis 14 %. Die maximale Hysteresebreite schwankt um ca. 23 % und die Kapazitätsänderung ΔC um ca. 36 %. Aufgrund dieser starken Unterscheide ist zum momentanen Standpunkt der Automatisierung noch keine gute Reproduzierbarkeit gegeben. Die Ursache wird in der noch teilweise händisch ausgeführten Fertigung gesehen. Das manuelle Positionieren und Andrücken der Elektroden führt zu abweichenden Silikonschichtdicken und Variationen in der Überlappung der Wirkflächen, was die unterschiedlichen Kapazitätsniveaus erklärt. Zudem entstehen beim händischen Bekleben des

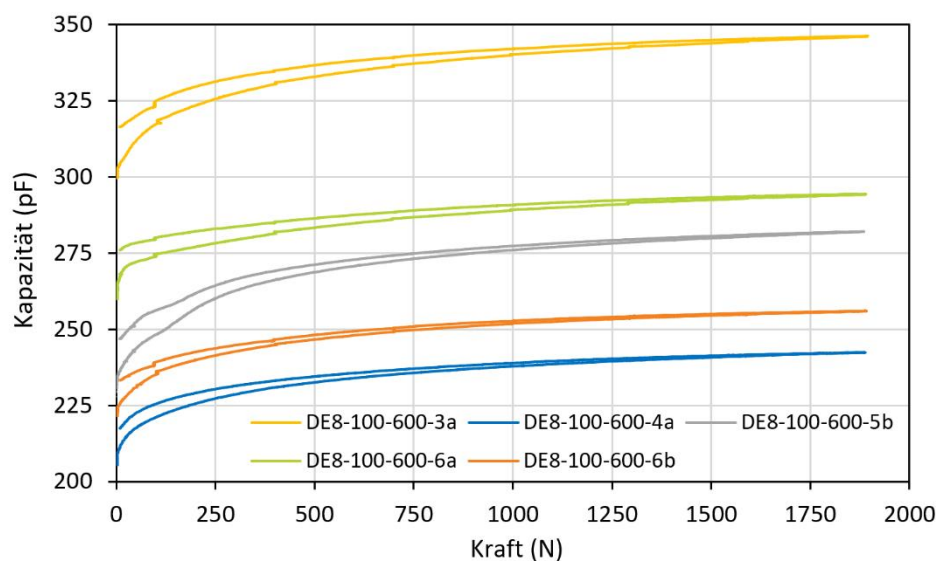


Abb. 10: Vergleich der Kennlinien (nach Eol-Prüfung) von DELTA-C[®]-Sensoren mit identischen Designparametern (DE8-100-600)

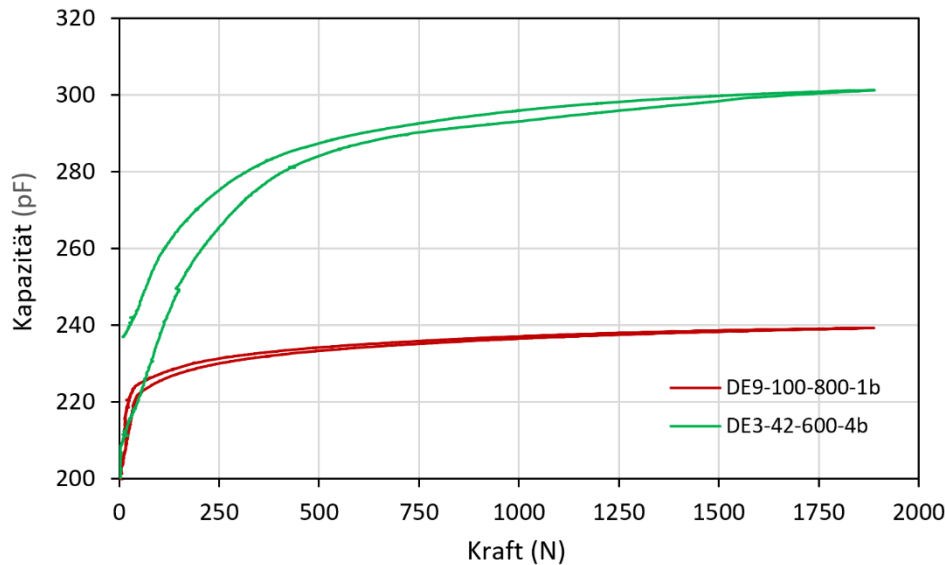


Abb. 11: Vergleich der Kennlinien (nach Eol-Prüfung) von DELTA-C®-Sensoren mit unterschiedlichen Designparametern (Maschenweite und Silikon-schichtdicke)

Stahlgewebes mit der Kupferfolie kleine Falten und Wölbungen. Diese Unregelmäßigkeiten haben einen Einfluss auf das kapazitive Verhalten des Sensors.

Zum momentanen Zeitpunkt des Projektes wurden bereits erste Designparameter variiert, um deren Einflüsse einschätzen zu können. In Abbildung 11 werden zwei Sensortypen mit unterschiedlichen Maschenweiten und Silikon-schichtdicken verglichen. Die Kennlinien unterscheiden sich stark in ihrem Verlauf, obwohl eine annähernd identische Grundkapazität vorliegt. Der DE9-Sensor weist zu Beginn einen starken Anstieg auf und flacht ab ca. 50 N stark ab, sodass kaum noch eine Änderung der Kapazität stattfindet. Dieses Verhalten ist vorteilhaft für die Messung kleiner Kräfte, aber für die Messung größer Kräfte weniger geeignet. Der DE3-Sensor zeigt zu Beginn einen sanfteren Anstieg und flacht dann weniger stark ab, sodass auch bei höheren Lasten noch eine detektierbare Änderung der Kapazität vorliegt. Durch die zusätzlich breitere Hysterese beim DE3-Sensor ist zudem eine genaue Messung kleiner Kräfte erschwert. Auch wenn noch keine quantifizierbaren Aussagen über die Einflüsse der Designparameter getroffen werden können, ist zu erkennen, dass das Sensorverhalten mittels der Designparameter an unterschiedliche Anwendungsfälle angepasst werden kann.

Ausblick zur Integration der DELTA-C®-Sensoren in verschiedene industrielle Anwendungen

Um die Nutzbarkeit der sensorischen Eigenschaften von dielektrischen Elastomeren nach-

zuweisen und deren Integrationspotenziale in verschiedenen Anwendungen aufzuzeigen, wurden bisher am Fraunhofer LBF zwei Sensorvarianten aufgebaut und getestet. Abbildung 12 zeigt eine manuell gefertigte Realisierungsvariante in Form eines runden Flachsensors mit einer Dicke von etwa 1 mm und Abbildung 13 stellt die Integration eines DE-Sensors in ein konventionelles Elastomer-Maschinenlager dar. Das Messlager kann verwendet werden, um die Strukturintegrität von Maschinen zu überwachen oder um Fehlfunktionen von Anlagen zu identifizieren.

Im weiteren Verlauf des Projektes „Delight“ werden mehrere applikationsspezifische Sensoren designt und charakterisiert, um in verschiedenen industriellen Anwendungen wie Bedienelementen, Aggregatlagern oder Kupplungen getestet zu werden. Dafür wurden vier Anwendungsfälle ausgewählt, welche ein breites Spektrum an unterschiedlichen Anforderungen abdecken. Dabei müssen unterschiedliche Lastbereiche (10 bis 6000 N), Sensorabmessungen und Genauigkeiten abgedeckt werden. Zudem werden extreme Umweltbedingungen mit Temperaturen von -40 bis +85 °C erreicht.



Abb. 12: Runder Flachsensor mit einer Dicke von etwa 1 mm (manuelle Fertigung)



Abb. 13: Integration dielektrischer Elastomere in ein konventionelles Elastomer-Maschinenlager

Bisher wurde ein teilmontiert gefertigter DELTA-C[®]-Sensor erfolgreich in ein Elastomerbauteil (blau in Abb. 14 dargestellt) eines Aggregatlagers integriert (s. Abb. 15). Bisherige Versuche zeigen, dass der Sensor auch nach dem Integrationsprozess funktionstüchtig bleibt und eine Kapazitätsänderung bzw. eine Kraftänderung detektiert werden kann. Die Sensor Kennlinie des Bauteils wurde noch nicht untersucht.



Abb. 14: Universal-Präzisions-Maschinen-schuhe (Aggregatlager) der Firma Isoloc

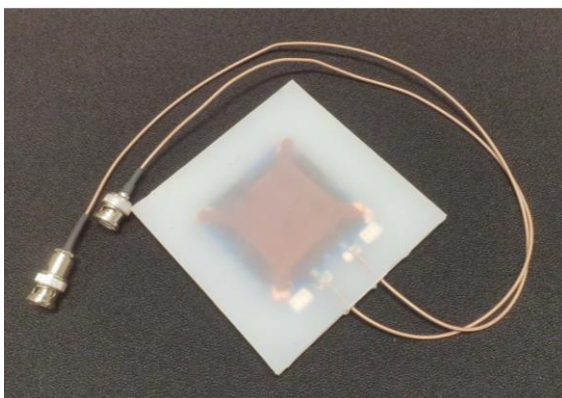


Abb. 15: DELTA-C[®]-Sensor integriert in ein Elastomerbauteil eines Aggregatlagers

Durch die gute Integrationsfähigkeit dielektrischer Elastomere in Teilkomponenten können diese einen maßgeblichen Beitrag zur

Digitalisierung von bislang passiven mechanischen Bauteilen hin zu einer vernetzten, intelligenten und autonom überwachten Produktion beitragen. Das Forschungsvorhaben kann die Potenziale der Technologie als Sensorwerkstoff in Bezug auf eine gute Integrationseignung aufgrund geometrischer Flexibilität aufzeigen. Es können Kraftsensoren mit einer Dicke unter einem Millimeter und weitestgehend frei wählbarer Geometrie hergestellt werden, welche sich zudem zur Applikation auf gekrümmten Flächen eignen.

Literaturnachweis

- [1] Stauder, J., et al. „Assistenzsysteme in der Produktionstechnik.“, 2017.
- [2] Lee, Bo-Yeon; Kim, Jiyoung; Kim, Hyungjin; Kim, Chiwoo; Lee, Sin-Doo (2016): Low-cost flexible pressure sensor based on dielectric elastomer film with micropores. In: Sensors and Actuators A: Physical 240, S. 103–109. DOI: 10.1016/j.sna.2016.01.037.
- [3] Biggs, J, et al. „Elektroaktive Polymere: Entwicklungen und Perspektiven dielektrischer Elastomere“, Angewandte Chemie 125, Nr. 36, S. 9581–9595, 2013
- [4] Rosset, S., Shea, H.: „Flexible and stretchable electrodes for dielectric elastomer actuators“, Applied Physics A 110, Nr. 2, S. 281–307, 2013
- [5] Kaal, W., Herold, S.: „Numerical investigations on dielectric stack actuators with perforated electrodes“, Smart Materials and Structures, Jg. 22, Nr. 10, S. 104016, 2013
- [6] Uhl, D.; Aul, A.; Vierhaus, P.; Nierla, T.; Straus, M.; Rabindranath, R. und Böse, H. (2015): Planare dielektrische Elastomeraktoren in Multilayertechnologie für industrielle Anwendungen (PlanDE). Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (FhG); Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC. Würzburg.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages