



universitätsverlag
ilmenau

Issa, Mirna; Zentner, Lena:

Sensorelemente aus leitfähigem Silikon für einen nachgiebigen Greifer

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142-065-8

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142-065-8>

Erschienen in:

Mechanismentechnik in Ilmenau, Budapest und Niš : Technische Universität Ilmenau, 29. - 31. August 2012. - Ilmenau : Univ.-Verl. Ilmenau, 2012. - S. 65-78. (Berichte der Ilmenauer Mechanismentechnik ; 1)

ISSN: 2194-9476

ISBN: 978-3-86360-034-1 [Druckausgabe]

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142>

SENSORELEMENTE AUS LEITFÄHIGEM SILIKON FÜR EINEN NACHGIEBIGEN GREIFER

Mirna Issa, Lena Zentner

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet
Mechanismentechnik, PO Box 100565, 98684 Ilmenau, Deutschland.

E-Mail: mirna.issa@tu-ilmenau.de, lena.zentner@tu-ilmenau.de

Kurzfassung

Das Ziel dieses Beitrages ist die Grundlagen zu schaffen, die erlauben sollen das leitfähige Silikon Powersil 466 A/B VP [1] als Sensorelemente zu verwenden. Deshalb werden Untersuchungen der Eigenschaften des leitfähigen Silikons in Abhängigkeit von verschiedenen Belastungen durchgeführt. Die Sensorelemente ändern unter der Einwirkung von Belastungen ihre elektrischen Eigenschaften. Dieser Beitrag präsentiert eine Anwendung dieses Materials als Sensorelemente für einen neuen nachgiebigen Greifer. Die Sensorelemente dieses Greifers haben zwei Funktionen; sie sind Teile der Greiferstruktur und sie geben grobe Information über den Greifprozess. Die Herstellungstechnologie des sensorisierten Greifers und die experimentellen Messungen werden in diesem Beitrag erläutert.

Abstract

The target of this paper is to create the foundation that allows using the conductive silicone rubber Powersil 466 A/B VP as sensor elements. Therefore, several investigations of electrical conductive silicone rubber characteristics in depending on different loads are carried out. The conductive silicone rubber changes its electrical properties under the loads. This paper presents an application for this material as sensor elements for a new compliant gripper. The sensor elements of this gripper have two

functions; they are parts of the gripper structure and they give rough information about the gripping process. The production process of the sensorized gripper and the experimental measurements is discussed in this paper.

1. Einleitung

Das leitfähige Silikon besteht aus nicht leitendem Elastomer, dem leitfähige Teilchen homogen beigemischt werden [2]. Das leitfähige Silikon hat die Fähigkeit, seinen elektrischen Widerstand infolge einer mechanischen Einwirkung, die zu Verformungen des Materials führt, zu ändern. Diese Eigenschaften prädestinieren das Material für die Anwendung in den Kraft- oder Verformungssensoren [3], [4].

Sensorisierte Systeme sind sehr wichtig im Bereich des Robotergrifers, insbesondere für Mensch-Maschine-Schnittstelle. In [5] wurde ein piezoelektrischer Polymerfilm als ein Kontakt-Sensor verwendet. Der Sensor ist an die Fingeroberfläche gebracht und reagiert auf die Veränderungen der Belastung beim Greifen und beim Manipulieren. Außerdem wird der Kontakt identifiziert. In [6] wurde ein neuer kommerzieller Sensor zum Erkennen eines Rutschvorganges dargestellt. Literaturquelle [7] zeigt eine Anwendung eines biomimetischen taktilen Sensors für Greifvorgänge.

Dieser Beitrag stellt die Anwendung vom leitfähigen Silikon als Sensorelemente dar, die in die Greiferstruktur eingebettet werden sollen. Die Sensorelemente sollen eine grobe Information über den Greifvorgang ermitteln können.

2. Untersuchung der Eigenschaften eines elektrisch leitfähigen Silikons

Die elektro-mechanischen Eigenschaften eines leitfähigen Silikons lassen sich von verschiedenen Faktoren beeinflussen. Einige Faktoren sind unerwünscht wegen ihrer negativen bzw. parasitären Wirkung auf das Einstellen sowie Verhalten des Widerstandes einer Probe. So können die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit), Gestaltung der Verbindung von Silikonprobe zur Spannungsquelle etc. während der Fertigung die Einstellung des Anfangswiderstandes beeinflussen. Auch bei Untersuchungen von Proben, wobei eine gezielte mechanische Belastung

eingebracht wird, können beispielsweise Temperaturschwankungen die Ergebnisse für den Widerstand verfälschen. Hingegen soll eine gezielt erzeugte mechanische Belastung den Widerstand einer Probe ändern, um sensorische Eigenschaften nachweislich zu erhalten. Die erwünschten und unerwünschten Faktoren, die zur Widerstandsänderung eines Probekörpers führen, sind in der Abbildung (1) strukturiert aufgelistet. Bei Fertigung und experimentellen Untersuchungen soll der Einfluss negativer Faktoren so klein wie möglich gehalten werden.

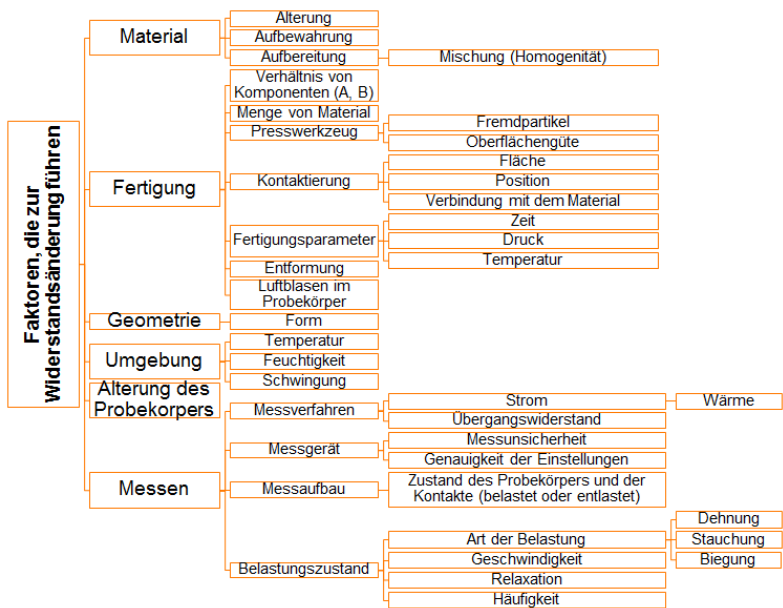


Abb. 1: Faktoren, die zur Widerstandsänderung führen

In diesem Beitrag stehen experimentelle Untersuchungen elektro-mechanischer Eigenschaften eines elektrisch leitfähigen Silikons im Mittelpunkt. Das Verhalten der Proben wird anhand der Widerstand-Dehnung-Abhängigkeiten charakterisiert, wobei diese während Zug- und Druckbelastungen aufgenommen werden. Die Messungen wurden mithilfe von ProLine Tisch-Prüfmaschine Z005 im Labor des Fachgebiets Mechanismentechnik an der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt.

2.1. Untersuchung der Eigenschaften des elektrisch leitfähigen Silikons in Abhängigkeit von Zugbelastung

Verschiedene Versuche für mehrere Sensor-Proben mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurden durchgeführt. Das Ziel ist die Bestimmung der Bedingungen für die Vorkonditionierung und des Arbeitsbereichs vom elektrisch leitfähigen Silikon Powersil 466 A/B VP.

2.1.1. Fertigung der Sensor-Proben

Die Probe besteht aus fünf Teilen. Der erste Teil wird aus einem elektrisch leitfähigen Silikon (Powersil 466 A/B VP Shorehärte A 37) mit den Abmessungen $100 \times 2 \times 5 \text{ mm}^3$ hergestellt. Für die anderen Teile wird das nichtleitende Silikon (Elastosil ® R 420 Shorehärte A 70 MH C₁) benutzt. Die Abmessungen von jedem Teil sind $10 \times 11,5 \times 5 \text{ mm}^3$. Die fünf Teile sind durch eine spezielle Technologie verbunden, nämlich, das vorgefertigte leitfähige Silikonteil wird mit dem rohen nichtleitenden Silikon zusammengepresst, d. h., der Fertigungsprozess besteht aus zwei Schritten.

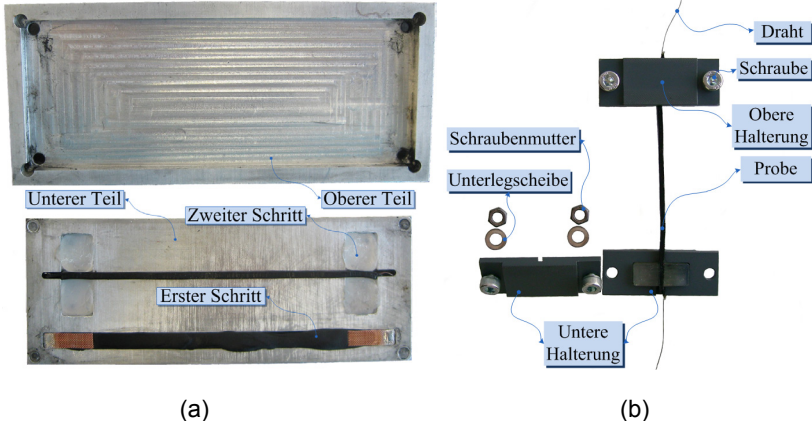


Abb. 2: a) Presswerkzeug, b) Halterung mit Probe

Ein Presswerkzeug wird für die Fertigung von Proben hergestellt (Abb. 2a). Im ersten Schritt wird der Teil aus leitfähigem Silikon mit den elektrischen Kontakten (Kupfernetz) an beiden Enden des Teils gefertigt. Im zweiten Schritt wird der bereits hergestellte leitfähige Teil mit dem nichtleitendem

Silikon verbunden, wobei die andern vier Teile entstehen. Dadurch, dass diese aus nichtleitendem Silikon bestehen, können sie den elektrischen Widerstand der Probe nicht verfälschen. Diese Teile ermöglichen die Benutzung einer Halterung während der Zugversuche (Abb. 2b), dabei wird die Probe von allen anderen Belastungen z. B. Druckkraft entlastet. Bei dieser Herangehensweise werden einzelne Kontaktelemente beim Ziehen der Probe ebenfalls nicht beeinflusst.

2.1.2. Zugversuche für Sensor-Proben aus Powersil 466 A/B VP

Mehrere Zugversuche mit Variation der Geschwindigkeit wurden durchgeführt, um den Verlauf des elektrischen Widerstandes vom Silikon zu ermitteln.

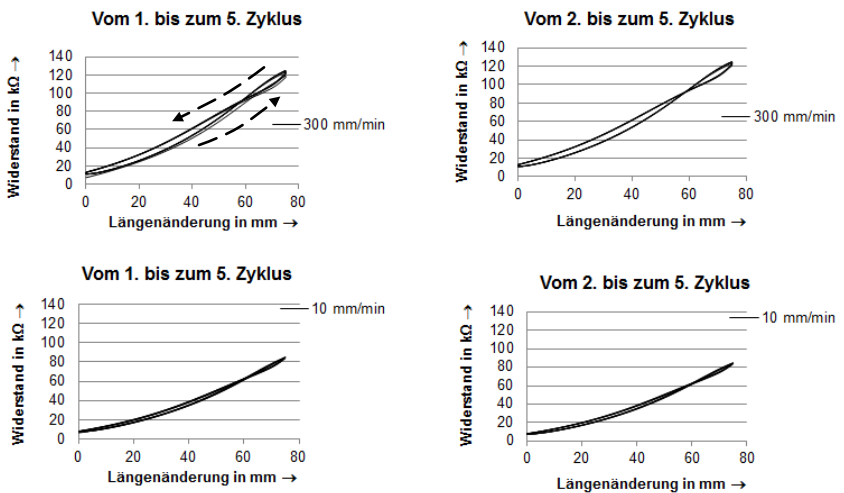


Abb. 3: Uniaxialer Zugversuch von Sensor-Proben aus Powersil 466 A/B VP, Vorkraft: 1,3 N, Dehnung: 100 %, Entlastung: 0 %, Wartezeit: 10 s, Anzahl der Zyklen: 5

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass die Sensorelemente mindesten bis 100 % mit immer steigendem Widerstand gedehnt werden können. Die Kurven liegen ab dem zweiten Zyklus nah aneinander. Außerdem beeinflusst die Geschwindigkeit den Verlauf des Widerstandes. Je höher die Geschwindigkeit ist, desto ausgeprägter sind die

Widerstandsänderung und die Hysterese (Abb. 3). Dennoch wird der Widerstand nach mehreren Zyklen immer kleiner. Weiterhin wurde festgestellt, dass nach mehreren Dehnungen eine Restverformung entsteht, welche vermieden werden muss, um ein Signal als eine Widerstandsänderung zu erhalten. Demzufolge sollen die Sensorelemente in ein System vorgespannt eingebaut werden.

Hinzu wurde der Widerstand bei konstanter Dehnung gemessen, um eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Zeit zu ermitteln (Abb. 4). Der Test wurde folgendermaßen durchgeführt: einem Setzzyklus mit Dehnung von 100 % folgt eine Messphase, die aus einer Dehnung von 100 % besteht, danach wird Haltezeit 15 h eingehalten und schließlich bis zu 0 % entlastet. Die Prüfgeschwindigkeit betrug dabei 10 mm/min.

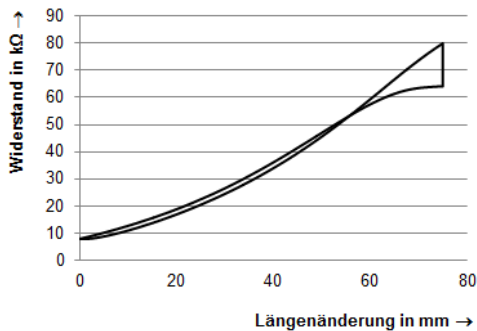


Abb. 4: Die Abhängigkeit des Widerstandes von der Zeit mit Relaxation der Sensor-Probe

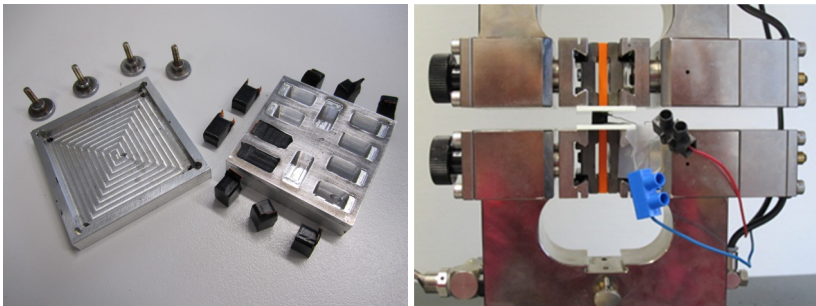
Diese Untersuchung zeigt, dass der elektrische Widerstand bei konstanter Dehnung abnimmt. Das Verhalten spiegelt somit die Spannungsrelaxation der viskoelastischen Materialien (Polymeren). Die Spannungsrelaxation wird durch die Diffusionsvorgänge im Gefüge begründet, was wiederum den elektrischen Widerstand beeinflussen könnte.

2.2. Untersuchung der Eigenschaften des elektrisch leitfähigen Silikons in Abhängigkeit von Druckbelastung

Verschiedene Versuche mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurden an mehreren Sensor-Proben durchgeführt, um das Verhalten dieses Materials unter Druckbelastung zu bestimmen.

2.2.1. Fertigung der Sensor-Proben

Für Fertigung der Sensor-Probe wurde ein Presswerkzeug aus Aluminium benutzt (siehe [4]). Die Sensor-Probe hat die Abmessungen von 9 mm Dicke, 9 mm Breite und 15 mm Länge (Abb. 5).



(a)

(b)

Abb. 5: a) Sensor-Proben mit dem Presswerkzeug, b) Versuchsaufbau

2.2.2. Druckversuche für Sensor-Proben aus Powersil 466 A/B VP

Der elektrische Widerstand von Powersil 466 A/B VP steigt unter der Druckbelastung. Der folgende Test zeigt das Verhalten dieses Materials unter mechanischen Belastungen (Abb. 6).

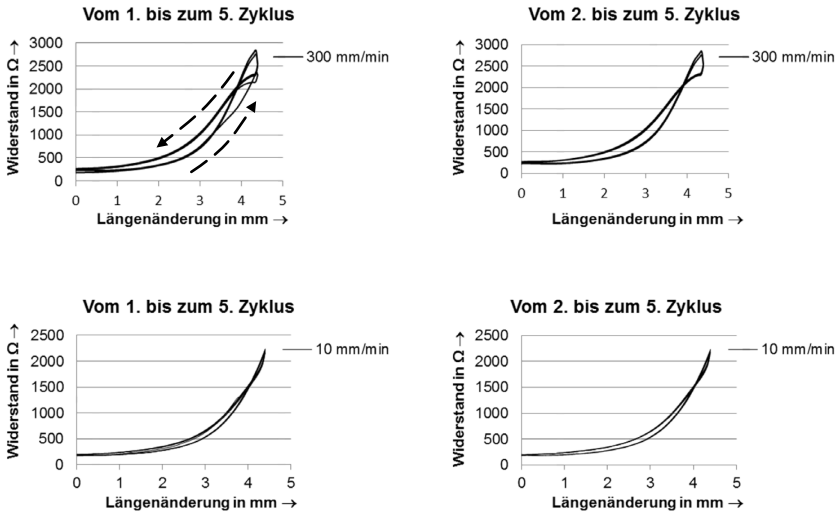


Abb. 6: Uniaxialer Druckversuch von Sensor-Proben aus Powersil 466 A/B VP; Vorkraft: 10 N, Stauchung: 50 %, Entlastung: 0 %, Wartezeit: 10 s, Anzahl der Zyklen: 5

Die Kurven zeigen, dass die ersten zwei Zyklen von anderen Zyklen sich unterscheiden, d. h. ein annähernd konstantes Werkstoffverhalten stellt sich nach mindesten 3 Belastungszyklen ein. Deshalb wird es empfohlen, ein Sensorelement mindestens 3 Mal zu belasten, um eine Vorkonditionierung zu erreichen. Dennoch sind die Widerstandsänderung und die Hysterese bei kleiner Geschwindigkeit kleiner als bei höherer Geschwindigkeit. Die Sensor-Probe wird nach mehreren Zyklen flacher, was zum falschen Signal und ungewünschten Leerlauf bei einer Anwendung führen kann. Aus diesem Grund wurde eine Vorkraft benutzt und für die Anwendungen empfohlen.

Eine Zyklische Belastung mit maximaler Dehnung von 25 % wurde für 5 verschiedene Proben durchgeführt (Abb. 7).

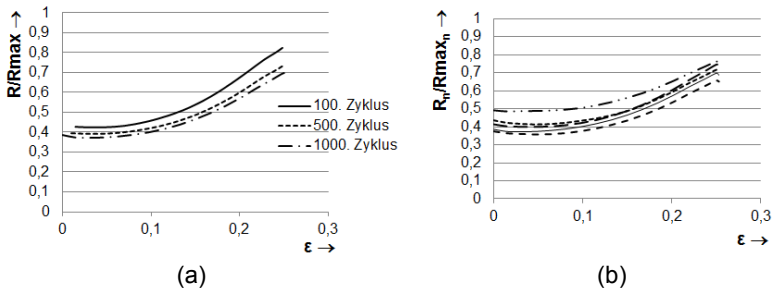


Abb. 7: Zyklische Belastung; Vorkraft: 3,5 N, Dehnung: 25 %, Entlastung: 0 %, Prüfgeschwindigkeit: 300 mm/min, Anzahl der Zyklen: 1000, (a) verschiedene Zyklen für ein Sensorelement, (b) das 1000. Zyklus für 5 unterschiedliche Sensorelemente

Abbildung (7a) zeigt, dass der Widerstand immer kleiner nach mehreren Zyklen wird. In der Abbildung (7b) sind Verläufe des Widerstandes für fünf unterschiedliche Sensor-Proben dargestellt.

3. Anwendung von Powersil 466 A/B als Sensorelemente in einem nachgiebigen Greifer

Ein nachgiebiger Greifer (Abb. 8) wurde an der Universität Nis in Serbien entworfen (siehe [8]). In diesem Beitrag wird nur die Sensorisierung des Greifers betrachtet.



Abb. 8: Nachgiebiger Greifer ohne Sensorelemente aus [8]

3.1. Entwurfs- und Fertigungsprozess der Sensorelemente

Die Sensorelemente können im Greifer an der Kontaktfläche mit dem Objekt eingebaut werden (wie ein externer Teil), oder sie können in die Greiferstruktur eingebettet werden. In diesem Beitrag werden nur die eingebetteten Sensorelemente betrachtet. Ein Vorteil dabei besteht darin, dass die eingebetteten Sensorelemente gleichzeitig Teile der Struktur sind und eine Information über den Greifprozess liefern. Diese Multifunktionalität erlaubt kompakte Bauweise und erhöht die Flexibilität eines nachgiebigen Systems.

Der erste Schritt des Entwurfsprozesses ist die passenden Stellen der Sensorelemente in der Greiferstruktur zu ermitteln. Ein Kriterium dafür ist die höchste Änderung der mechanischen Spannung unter einer Belastung, die beim Greifen entsteht. Diese Belastung würde durch die aufgetretene Verformung zur Änderung des elektrischen Widerstandes der Sensorelemente führen. Deswegen werden FEM-Simulationen zur Ermittlung dieser entsprechenden Stellen verwendet (Abb. 9a, Abb. 9b).

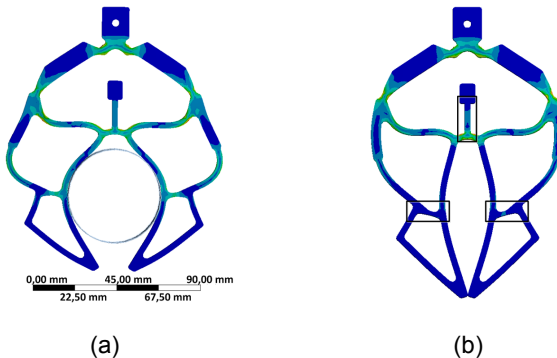


Abb. 9: Simulierter Greifer mit der Spannungsverteilung beim Greifen; a) mit Objekt, b) ohne Objekt

Entsprechend den Simulationsergebnissen sind die Stellen, die in der (Abb. 9b) gezeigt sind, als Sensorelemente geeignet, weil der Spannungsunterschied zwischen dem Greifen mit und ohne Objekt hier am größten ist. Außerdem wird eine weitere Stelle, wo nur Zugbelastung wirkt, ausgewählt (Abb. 9b). Diese Bereiche sollen aus leitfähigem Silikon gefertigt und in die Greiferstruktur eingebettet werden.

Für die Fertigung des sensorisierten nachgiebigen Greifers wurde die gleiche Technologie wie im Abschnitt (2.1.1) benutzt. Die Fertigung wurde in zwei Schritten gemacht. Im ersten Schritt wurden nur die Sensorelemente aus einem leitfähigen Silikon im Presswerkzeug heiß gepresst. Im zweiten Schritt wurden die hergestellten Sensorelemente in ihren geplanten Positionen in dem Hohlraum der Greiferstruktur im Presswerkzeug platziert. Die leer verbleibenden Stellen in der Greiferstruktur wurden mit dem nichtleitenden Silikon ausgefüllt und dann zusammenvulkanisiert (Abb. 10).

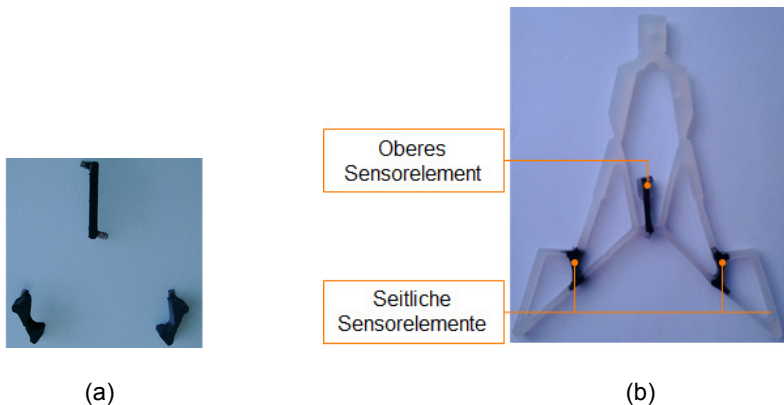


Abb. 10: a) Sensorelemente nach dem ersten Fertigungsschritt,
b) sensorisierter nachgiebiger Greifer nach dem zweiten
Fertigungsschritt

3.2. Experimentelle Ergebnisse

Die Messungen an den Sensorelementen während des Greifens wurden mithilfe der ProLine Tisch-Prüfmaschine Z005 im Labor des Fachgebiets Mechanismentechnik an der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt. Die in diesem Beitrag präsentierten Ergebnisse sind nur anhand eines der beiden seitlichen Sensorelemente ermittelt. Das obere Sensorelement wurde hier nicht näher betrachtet, da die Messergebnisse der drei Sensorelemente einen qualitativ ähnlichen Charakter besitzen.

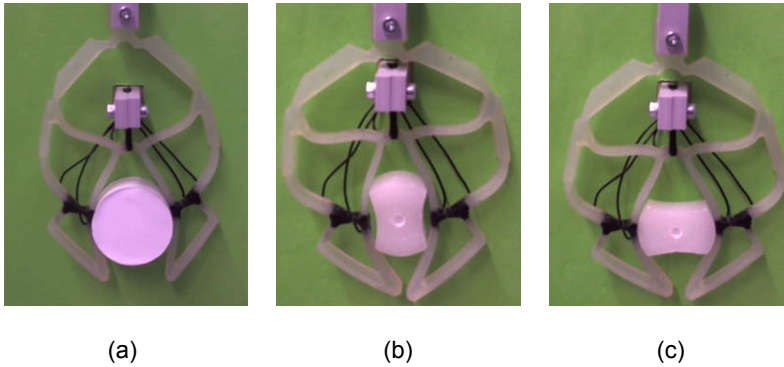


Abb. 11: Greifen von verschiedenen Objekten; a) rundes Objekt, b), c) Objekt mit verschiedenen Seitenlängen

Die benutzten Parameter des Tests für die Betätigung des Greifers sind wie folgt: Die Eingangsverschiebung beträgt 45 bzw. 50 mm und die Bewegungsgeschwindigkeit ist 300 mm/min. Für diese Experimente wurden verschiedene Objekte benutzt (Abb. 11).

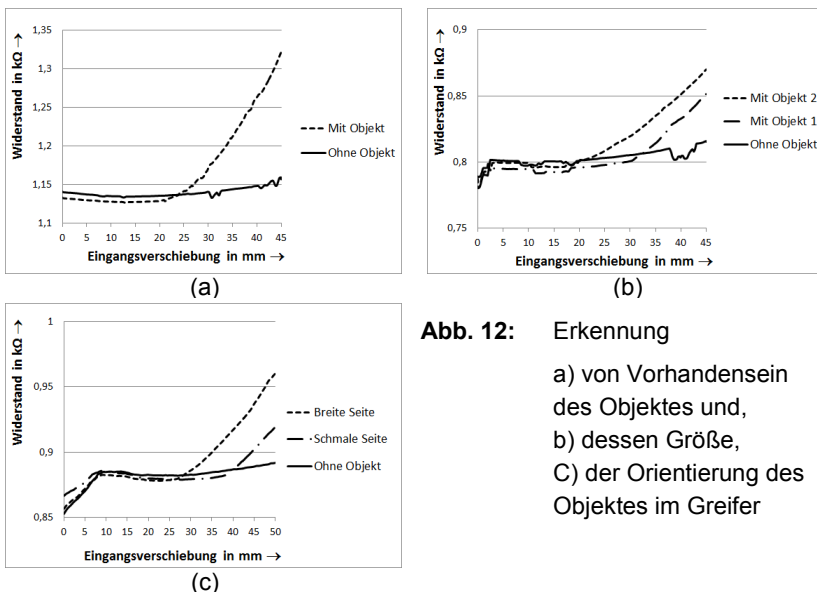


Abb. 12: Erkennung
a) von Vorhandensein des Objektes und,
b) dessen Größe,
c) der Orientierung des Objektes im Greifer

Laut der Messergebnisse werden die Sensorelemente das Vorhandensein eines Objekts erfassen. Außerdem werden die Objekte, wie in der Abb. (11a), mit unterschiedlichen Durchmessern (42 mm und 35 mm) erkannt. Hinzu wird die Orientierung eines Objektes, dessen Seitenlängen unterschiedlich sind (Abb. 11b, 11c), im Greifer identifiziert (siehe Abb. 12).

4. Zusammenfassung

Ein Sensorelement aus Powersil 466 A/B VP Shorehärte A 37 hat ein relativ stabiles elektrisches Verhalten unter den mechanischen Belastungen. Deswegen ist das Sensorelement verwendbar für solche Anwendungen, die nur qualitative Auswertung fordern. In diesem Beitrag ist die Anwendung von Powersil 466 A/B VP als Sensorelemente in einem nachgiebigen Greifer beschrieben. Die Nachteile dieser Sensorelemente sind Probleme bei den elektrischen Kontaktierungen, die möglicherweise für Schwankung des Widerstandes verantwortlich sind. Aber dieses Problem ist nur bei der quantitativen Auswertung von Interesse. Andere Nachteile sind eine hohe Ausschussquote bei der Fertigung (ca. 50 %) und ein aufwändiger Fertigungsprozess (mind. 4 h für einen Greifer). Die wichtigsten Vorteile dieses Greifers bestehen in ihren eingebetteten Sensorelementen, die zwei wichtige Funktionen haben. Diese sind Teile der Greiferstruktur und geben grobe Informationen über das gegriffene Objekt. Die Sensorelemente detektieren das Vorhandensein eines Objekts, Objekte mit unterschiedlichen Größen und die Orientierung eines Objektes im Greifer, dessen Seitenlängen unterschiedlich sind.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei Herrn Dipl.-Ing. D. Petkovic und Herrn Prof. N.D. Pavlovic für eine gute Zusammenarbeit bedanken.

Literatur

- [1] Powersill 466 A/B VP, Technisches Datenblatt, Wacker Chemie
- [2] K.G. Princy; R. Joseph; C.S.Kartha: Studies on conductive silicone rubber compounds. In: Journal of Applied Polymer Science, 69, (1998),1043-1050
- [3] L. Valenta; A. Bojtos: Mechanical and electrical testing of electrically conductive silicone rubber. In: Journal of Materials Science Forum Vol. 589, (2008), 179-184
- [4] M. Issa; D. Petkovic; N.D. Pavlovic; L. Zentner: Embedded- sensing elements made of conductive silicone rubber for compliant robotic joint. In Proceedings of the 56th IWK, International Scientific Colloquium, Ilmenau University of Technology, (2011), page 73
- [5] A.M. Dollar; L.P. Jentoft; J.H. Gao; R.D. Howe: Contact sensing and grasping performance of compliant hands. In: Journal of: AUTONOMOUS ROBOTS, 28, (2010), 65-75
- [6] A.M. Zaki; A.M. Soliman; O.A. Mahgoub; A.M. El-Shafei: Design and Implementation of Efficient Intelligent Robotic Gripper. The 2010 IEEE International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC), (2010), 710 - 716
- [7] N. Wettels; A.R. Parnandi; J.H. Moon; G.E. Loeb; G.S. Sukhatme: Grip Control Using Biomimetic Tactile Sensing Systems, IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, 14, (2009), 718- 723
- [8] D. Petkovic; M. Issa; N.D. Pavlovic; L. Zentner: Passively Adaptive Compliant Gripper. In: Journal of: Applied Mechanics and Materials, 162, (2012), 316-325