

# Entwicklung eines Baukastensystems für universelles Greifen mit flexiblen Aktoren

Development of a modular system for universal gripping with flexible actuators

*Dr.-Ing. Stephan Ulrich, M.Sc. Christoph Buhrdorf, M.Sc. Christopher Klitsch,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns*

*Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL)  
Fakultät für Maschinenbau  
Helmut-Schmidt-Universität  
Universität der Bundeswehr, Hamburg*

**D**ie fortschreitende Automatisierung im industriellen Umfeld und der Trend zu vollautonomen Produktionsstraßen und Lagerlogistiksystemen im Sinne der Industrie 4.0 erfordern ausgereifte, innovative und leicht verständliche Systeme, die problemlos in bestehende Prozessketten integrierbar sind. Ein wichtiger Teilbereich dieser Automatisierung ist die Greiftechnik, die in der jüngsten Vergangenheit insbesondere in der Distributionslogistik, im Lebensmittelhandling und der Kollaborationsrobotik an Wichtigkeit gewonnen hat. Besondere Anforderungen an solche Greifsysteme sind die Anzahl der Picks pro Zeiteinheit, die Greifzuverlässigkeit und die Flexibilität. Viele Greifsysteme bieten derzeit lediglich Lösungen für ein zumeist spezielles Produktspektrum an und lassen wenig Flexibilität hinsichtlich einer Erweiterung oder Änderung zu. Sie sind oftmals teuer, da sie mechanisch sehr aufwändig gestaltet sind. Die „Softrobotik“ mit flexiblen Strukturen bieten hier große Potentiale. Diese Greifsysteme sind auch für Mensch-Maschine-Kooperationen, Servicerobotik oder ähnliche Anwendungen einsetzbar. Dieser Beitrag ist ein Überblick zum Entwicklungsprozess eines modularen Greifsystems, das aus elastischen Fluidaktoren besteht und insbesondere für das universelle Greifen in der Logistik geeignet ist.

*[Schlüsselwörter: Greifaktoren, universell, Softrobotik, Kommissionierung, Industrie 4.0]*

**T**he progressive automatization and the development to fully automated production and logistic systems require innovative and plain system, that can be easily integrated in process chains. An important section of this automatization is the gripping technology which gain importance especially for warehousing, food handling and collaborative robotics. Special requirements for these gripping systems are the picking performance, the reliability and the flexibility. Present gripping systems are typically designed for a special product range and cannot be used for different products. Gripper that can handle a broader product range are relatively expensive because of

their complex mechanical design. The “soft robotic” with their flexible structures provides high potentials. These grippers are also suitable for human machine cooperation, service robotic and other applications. This paper is a survey about the development of modular gripping system, which consists of elastic fluid actuators. It is designed according to the special demands of warehousing and logistic.

*[Keywords: gripping actuators, universal, soft robotics, order picking, industry 4.0]*

## 1 EINLEITUNG

Durch die stark wachsenden Umschlagsmengen in der Logistik und insbesondere der Kommissionierung werden Lösungen gesucht, die das „Automated Warehousing“ vorantreiben. Greifsysteme mit hoher Flexibilität, die gleichzeitig kostengünstig integrierbar sind und ein breites Spektrum an Greifobjekten handhaben können, sind hierfür eine Voraussetzung. Die meisten aktuell erhältlichen Greifsysteme sind an die Anforderungen der industriellen Produktion angepasst, wo mit hoher Präzision und Wiederholgenauigkeit immer wieder gleiche oder sehr ähnliche Produkte von einem Greifer gehandhabt werden müssen. Bei Änderung der Umgebungsbedingungen oder Greifobjekte ist dann oftmals der Austausch des spezialisierten Greifers nötig [HES11, DIN01].

Derartige Greifsysteme sind für viele Anwendungen in der Logistik nicht geeignet, da beispielsweise stark wechselnde Umgebungsbedingungen eine höhere Flexibilität und Fehlertoleranz des Greifsystems erfordern. Die Objekte werden dem Greifer in der Regel nicht immer an die gleiche Zugriffsposition befördert, wie es bei der Fließbandproduktion der Fall ist. Zudem müssen von einem Greifsystem möglichst viele unterschiedliche Objekte gegriffen werden können.

Der Bedarf nach möglichst flexiblen universellen Greifern wurde insbesondere von der Robotikforschung aufgegriffen und hat zu weit entwickelten hochkomplexen Greifern mit vielen Freiheitsgraden geführt, die vielfach der menschlichen Hand nachempfunden sind. Durch Fortschritte in der Sensor- und Regelungstechnik konnten dabei erstaunliche Ähnlichkeiten zur Performance der menschlichen Hand, die als Paradebeispiel für einen universellen, flexiblen Greifer gilt, erzielt werden. Der Nachteil ist jedoch in der hohen Komplexität, dem Regelungsaufwand und dem hohen Preis zu sehen, wodurch derartige Greifsysteme für die meisten Anwendungen in der Logistik ungeeignet sind [ISE16]. Hier setzt die Entwicklung des Greiferbaukastens auf der Basis fluidisch betriebener Elastomeraktoren an. Ziel ist dabei aus möglichst einfachen, preiswerten und zuverlässigen Elementen universelle Greifer gestalten zu können, die insbesondere den Anforderungen der Logistikautomatisierung gerecht werden. Die Aktoren bestehen aus einer speziell gestalteten Elastomerhülle, die bei Druckbeaufschlagung eine vorgesehene Bewegung vollführen, ohne dass klassische Gelenke oder Elemente zur Kraftübertragung, wie Seile oder Getriebe, verwendet werden müssen. Standardisierte Schnittstellen und Kupplungen ermöglichen die einfache Kombination der einzelnen Aktoren zu verschiedenen Greifsystemen.

So lassen sich auch Systeme gestalten, die branchenübergreifend nutzbar sind. Durch softe, flexible Greifer sind beispielsweise nicht nur kollaborative Aufgaben realisierbar, die eine Interaktion mit dem Menschen möglich machen, ebenso kann ein Greifer aus lebensmittelverträglichem Material gleichzeitig in der Lebensmittel-, Chemie-, Pharma- oder auch Medizinbranche Anwendung finden. In

Bereichen mit verschiedenen Greifobjekten sind Lösungen gefordert, die nach dem Plug-and-Play-Prinzip arbeiten und ohne große Rüstzeiten beziehungsweise Rüstaufwand auf neue Arbeitsschritte umgerüstet werden können. Das modulare Baukastensystem soll als universelle Lösung für eine große Anzahl von Greifaufgaben in der Kommissionierung, Servicerobotik und ähnlichen Anwendungsfeldern verwendet werden.

## 2 BAUKASTENSYSTEM

Ein Überblick des Baukastensystems ist in Abbildung 1 dargestellt. Es besteht aus den fluidisch betriebenen Aktoren für Biegung, Längung und Umschließung. Diese besitzen jeweils eine Bajonett-Kupplung, mit der es möglich ist, ohne Werkzeug eine Verbindung mit den anderen Elementen herzustellen. Weitere Bauteile sind Verbindungselemente, um die einzelnen Aktoren miteinander zu koppeln und Greiferbasen um klassische Mehrfinger-Greifer aufbauen zu können.

Dadurch ist es möglich, einfach und schnell ein System für die individuelle Greifaufgabe zu gestalten. Ziel ist die einfache, intuitive Handhabung dieses Systems, sodass ein jeder Anwender selbst den Austausch von Komponenten im „Do-it-yourself-Verfahren“ vornehmen kann. Die Aktoren können in unterschiedlichen Größen und Shorehärten hergestellt werden, so dass ein breites Kraftspektrum abgedeckt werden kann.

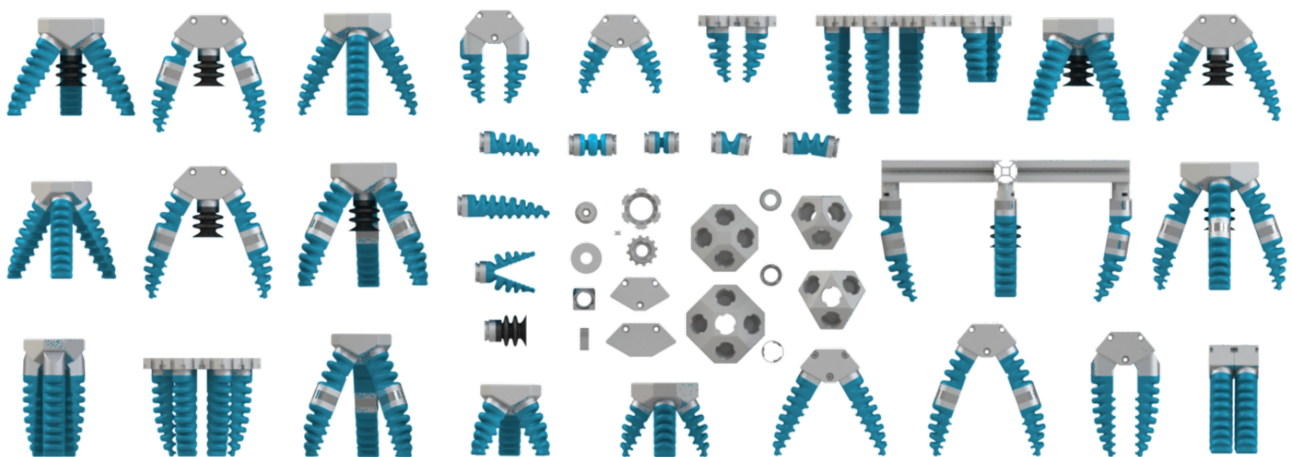


Abbildung 1: Elemente und Konfigurationen des elastischen Greifer-Baukastens

Beispielhaft sind in den nachfolgenden Abbildungen viel verwendete Greifkonfiguration wie ein zentraler Greifer (Abb. 2), Außenbackengreifer (Abb. 3) und Parallelbackengreifer (Abb. 4) dargestellt. Es können somit einfache Spezialgreifer als auch Universalgreifer mit vielen Freiheitsgraden aufgebaut werden.



Abbildung 2: 3-Fingergreifer mit Vakuumsauger

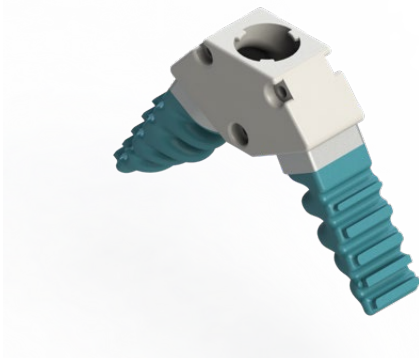


Abbildung 3: 2-Finger-Außenbackengreifer

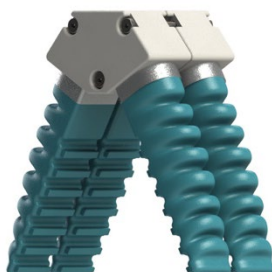


Abbildung 4: 4-Finger-Parallelbackengreifer

### 3 DESIGN UND HERSTELLUNG

Die wichtigsten Anforderungen für die Entwicklung des Systems sind die Einfachheit und Zuverlässigkeit. Aus diesem Grund sollte die Bewegung aus der elastischen Struktur selbst erfolgen und keine Elemente wie reibungs- und verschleißbehaftete Gelenke besitzen. Ebenso ist eine preiswerte Herstellung das Ziel. Die elastische Struktur soll daher keine Versteifungen durch andere Materialien wie eingelegte Fäden oder Netze besitzen.

Allein durch die Formgebung der Hülle und unterschiedliche Wandstärken soll die erwünschte Bewegung bei Änderung des Innendruckes erzeugt werden [ULR12].

Hierzu verfügt beispielhaft der Biegefinger über eine wellenartige dünne Oberseite, die einer Druckerhöhung einen geringeren Verformungswiderstand entgegenbringt als die verstärkte Unterseite. In den Abbildungen 5 und 6 sind die Verformungen des Fingers bei 0,5 sowie 1,3 bar als FEM-Simulation und photographische Aufnahme dargestellt.

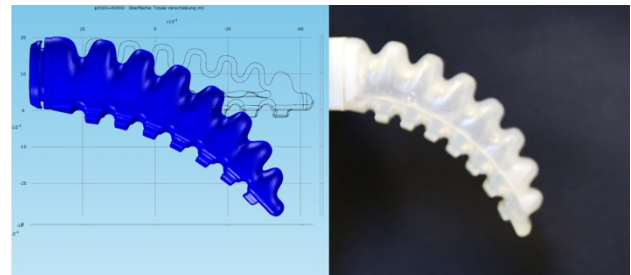


Abbildung 5: Verformung Biegefinger bei 0,5 bar, FEM-Simulation (links), Versuch (rechts)

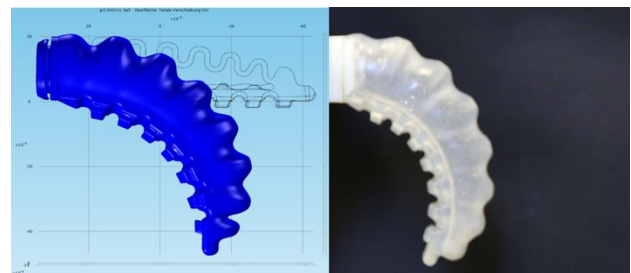


Abbildung 6: Verformung Biegefinger bei 1,3 bar, FEM-Simulation (links), Versuch (rechts)

Besonderer Schwerpunkt bei der Gestaltung der Hülle ist die Reduzierung der mechanischen Spannung bei Druckerhöhung. Dies ist insbesondere für das Erreichen möglichst hoher Verformungen und Greifkräfte notwendig, ohne ein Materialversagen zu riskieren. Idealerweise wird der Großteil der für die Bewegung notwendigen Verformungen durch eine Gestaltänderung der Hülle hervorgerufen und nicht durch die Dehnung des Materials. Aus diesem Grund sind die Wellen an der Oberseite des Fingers möglichst groß gestaltet.

Ein weiterer wesentlicher Faktor für das Design ist die Herstellbarkeit mit klassischen industriellen Spritzgussverfahren für Gummi und Silikon, um preiswerte und qualitativ hochwertige Aktoren zu erhalten. Hier muss insbesondere die Entformbarkeit berücksichtigt werden, was die Nutzung von Hinterschnitten einschränkt und eine große Öffnung zur Entnahme des Kernes erfordert.

Die Entwicklung der Aktoren erfolgt in 7 Schritten, die ggf. in Schleifen mehrfach durchlaufen werden:

1. Design
2. FEM-Simulation zur grundlegenden Überprüfung der Funktionsfähigkeit und Optimierung der Struktur
3. 3d-Druck des elastischen Materials, Dieses eignet sich nur zur grundlegenden Überprüfung des Verformungsverhaltens, da sie nur über schlechte Dauerhaltbarkeitseigenschaften verfügen.
4. Herstellung von Funktionsmustern aus RTV-Silikon, das im Hand-Vakuum-Guss hergestellt wird. Hierfür wird mittels 3d-Druck eine Kunststoffform hergestellt (Abb. 7).
5. Experimentelle Vermessung der Funktionsmuster (Biegung und Kraft in Abhängigkeit des Innendruckes) sowie erste Zuverlässigkeitsversuche
6. Anfertigung eines Spritzgusswerkzeuges und Herstellung der Aktoren aus Silikon oder Gummi
7. Experimentelle Vermessung der Aktoren sowie Durchführung von Dauerhaltbarkeitsversuchen

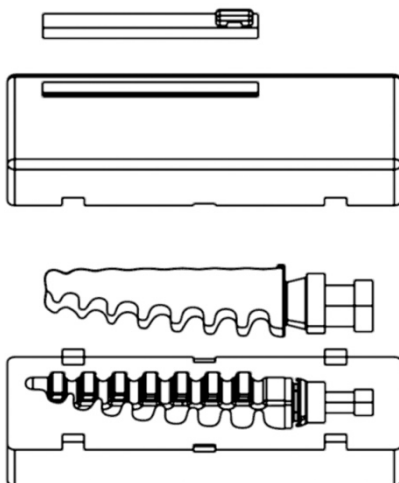


Abbildung 7: 3d-gedruckte Form für den Hand-Vakuum-Guss

#### 4 VERMESSUNG UND GREIFVERSUCHE

Um eine Aussage zur Einsetzbarkeit eines Greifsystems treffen zu können, müssen Versuche bezüglich der Greifzuverlässigkeit durchgeführt werden. Dadurch lassen sich Einsatzgebiete verschiedener Greifer und Systemgrenzen bestimmen. Hierfür wurden zunächst die Greifkräfte in Abhängigkeit des Innendruckes und dem Abstand zum Greifobjekt gemessen. Außerdem wurden verschiedene Greiferkonfigurationen im Rahmen von Greifversuchen mit diversen Objekten getestet.

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Greifkraft eines Greiffingers mit Shore-Härte A60 für einen Betriebsdruck von 0,5 bis 1,5 bar. Der maximale Betriebsdruck für diesen Finger liegt bei 1,6 bar. Gemessen wurde die Kraft, die von dem Greiffinger aufgebracht wird. Da eine wesentliche Kausalität zwischen Abstand des Greifobjektes und der dadurch erzeugbaren Greifkraft des Aktors besteht, wurden mehrere Abstände zur Waage vermessen. Ausgehend von einem Druck von 1,5 bar zeigt die Kurve deutlich, dass ein kleinerer Abstand zum Greifobjekt eine größere Greifkraft erzeugt. Somit sind große bzw. schwere Objekte bevorzugt eng umschlossen zu greifen, um die größtmögliche Kraft zu erzeugen. Anhand dieses Kennfeldes kann nach Bestimmung des Reibbeiwertes mit dem jeweiligen Objekt, der Geometrie und der Masse ermittelt werden, ob das Objekt sicher gegriffen werden kann.

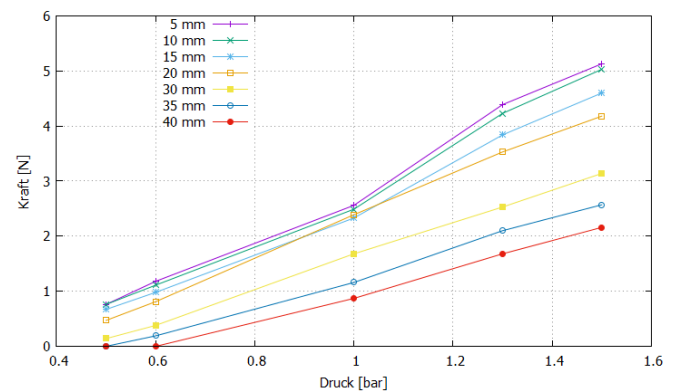


Abbildung 8: Greifkraft bei verschiedenen Betriebsdrücken und Abständen

##### 4.1 GREIFRELEVANTE OBJEKTEIGENSCHAFTEN

Ob und wie ein Objekt gegriffen werden kann, hängt nicht einzig und allein von dem Gewicht eines Objektes ab. Untersuchungen zu dem Thema zeigen eine enorme Bandbreite von Einflussfaktoren, die entscheidend zur Greifzuverlässigkeit beitragen. So lassen sich bestimmte Geometrien beispielsweise kaum oder nur sehr schwer greifen, die keine deutliche Angriffsfläche bieten. Damit einhergehend spielt auch die Größe des Greifobjektes eine wichtige

Rolle. Des Weiteren sind jegliche Oberflächenbeschaffenheiten für ein sicheres Greifen relevant. Handelt es sich um eine raue, poröse oder z.B. rutschige Oberfläche, beeinflusst dies aufgrund der Wechselwirkung zwischen Greifkraft und Reibkraft des Greifobjektes maßgeblich die Greifzuverlässigkeit. So sind auch beispielsweise Tüten, die eine nachgiebige Oberfläche aufweisen, besonders schwer zu greifen. Ebenso müssen sensible, fragile Greifobjekte wie Lebensmittel kontrolliert gegriffen werden, ohne dass Druckstellen entstehen. Hierfür sind taktile Greiffinger erforderlich, die jedes Objekt mit der maximal zulässigen Kraft greifen, ohne das Objekt dabei zu beschädigen und es gleichzeitig aber sicher handhaben können.

Um diese Erkenntnisse analysieren und berücksichtigen zu können, wurde ein Artikelspektrum einer Supermarktkette mit Hilfe einer Cluster-Analyse sortiert. Darauf aufbauend lassen sich für jedes Cluster Greiferkonfiguration aus dem Baukasten definieren, die für die enthaltenden Objekteigenschaften eine optimale Greifzuverlässigkeit gewährleisten.

## 4.2 GREIFSPÉKTRUM

Grundsätzlich lässt sich ein Greifer grob in zwei Aufbauprinzipien untergliedern, die sich in ihrer Greifart unterscheiden. Zum einen der zentrische Griff, der oft bei 3-Finger-Greifern zum Einsatz kommt, und der parallele Griff, der für jede Anzahl Greifaktoren denkbar wäre. Eine schematische Darstellung der Greifarten ist in Abbildung 9 zu sehen. Zentrisch werden vornehmlich Objekte gegriffen, die rund bzw. zylindrisch ausgeprägt sind. Der parallele Griff ist hingegen eher für rechteckige oder quaderförmige Objekte geeignet. Da die Greifaktoren jedoch flexibel sind und sich der Geometrie des Greifobjektes gewissermaßen anpassen können, ist es auch denkbar, dass ein quaderförmiges Objekt zentrisch gegriffen werden kann.

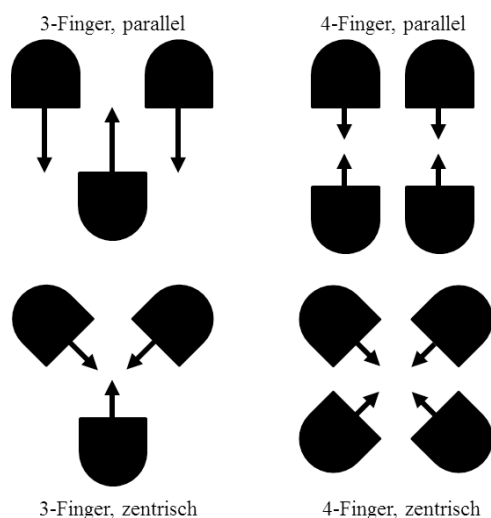


Abbildung 9: Schematisch dargestellte Greifarten mit 3 und 4 Fingern

Im Folgenden sind einige beispielhafte Greifversuche für verschiedene Greifobjekte dargestellt, die mit einer variierenden Anzahl von Greiffingern und Greifarten durchgeführt wurden.

Abbildung 10 zeigt einen Zangen-Greifer, der für kleinste Objekte entwickelt wurde und außerdem einen besonders weichen Druckpunkt hat, um im gezeigten Beispiel selbst Himbeeren ohne Beschädigung greifen zu können. In den Abbildungen 11 und 12 ist die Handhabung von Verpackungstüten dargestellt. Diese lassen sich aufgrund ihrer Nachgiebigkeit durch klassische Greifer oder Vakuumsauger kaum greifen.

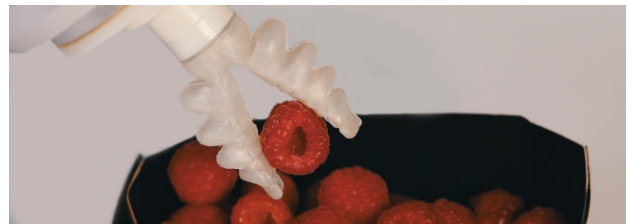


Abbildung 10: Zangen-Greifer



Abbildung 11: Zentrischer 3-Finger-Greifer bei der Handhabung einer Verpackungstüte



Abbildung 12: Parallelgreifer mit 8 Fingern und Vakuumsaugern bei der Handhabung einer Verpackungstüte

## 5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde ein Baukasten-System für Greifer vorgestellt, das auf elastischen Fluidaktoren basiert. Die Entwicklungsschritte im Sinne eines Rapid-Prototyping der Aktoren, sowie erste Versuchsergebnisse wurden dargelegt. Die elastischen und einfach aufgebauten Aktoren lassen sich zu einer Vielzahl unterschiedlicher Greifer kombinieren, die insbesondere den Anforderungen der Logistik gerecht werden. Die an Bedeutung gewinnende Servicerobotik und Automatisierungslösungen aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Kollaboration sind ebenso vielversprechende Anwendungsfelder. In den nächsten Schritten werden weitere Elemente des Baukastens entwickelt und erprobt. Umfangreiche Praxistests sollen die Einsatzfähigkeit des Systems unter den rauen Bedingungen der Logistik zeigen.

## LITERATUR

- [DIN01] Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 14539: Industrieroboter: Werkstückhandhabung mit Fingergreifern*. Beuth Verlag, Hamburg, 2001
- [HES11] Hesse, S.: *Greifertechnik: Effektoren für Roboter und Automaten*, Carl Hanser Verlag, München, 2011
- [ISE14] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Konstruktive Gestaltung eines bio-inspirierten Kommissioniergreifers für intralogistische Handhabungsaufgaben*. In: Tagungsband zum 10. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL), S. 177-188, München 2014.
- [ISE16] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Modellierung, Regelung und Erprobung eines pneumatischen Biegeaktors für den Antrieb eines flexiblen Intralogistikgreifers*. In: Tagungsband zum 12. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL), S.225-232, Stuttgart 2016.
- [ULR12] Ulrich, S.; Bruns, R.; Freyer, H.: *Complex Motions with Anisotropic Elastomeric Actuators*. In: Proceedings 13. International Conference on New Actuators, Bremen, P. 595-598, Bremen 2012

---

**Dr.-Ing. Stephan Ulrich**, Scientist at the Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Hamburg.

**M.Sc. Christoph Buhrdorf**, Scientist at the Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Hamburg.

Address: Institute of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany, E-Mail: stephan.ulrich@hsu-hh.de