

# Modellierung, Regelung und Erprobung eines pneumatischen Biegeaktors für den Antrieb eines flexiblen Intralogistikgreifers

Modeling, control and laboratory verification of a pneumatic bending actuator for driving a flexible intralogistics gripper

Jan Isermann  
Stephan Ulrich  
Rainer Bruns

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

**D**er vorliegende Beitrag befasst sich mit dem mechanischen Verhalten und der Entwicklung der Regelung für einen neuartigen elastischen Biege-Aktuator. Zunächst wird das Verhalten des Aktors mit grundlegenden Vorversuchen bei unterschiedlichen Belastungssituationen charakterisiert. Anschließend folgten erweiterte Versuche zur Charakterisierung des Aktorverhaltens. Danach werden das Verfahren zur Synthese einer Regelung vorgestellt und die Ergebnisse bewertet. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse in praktische Laborversuche umgesetzt. Hier werden experimentell theoretisch ermittelte Kenngrößen evaluiert und das Greifvermögen des neuartigen Endeffektors untersucht.

[Schlüsselwörter: Automatische Kommissionierung, bio-inspirierter Greifer, Greiftechnik, Biegeaktor, Greifversuche]

**T**his paper concerned with the mechanical behavior and the development of control for a new elastic bending actuator. First, we characterized the behavior of the actuator with basic preliminary at different load situations. This is followed by advanced experiments to characterize the actuator behavior. Then, a method is presented for the synthesis of a controller. Thereafter, the results were compared and evaluated. Finally, the knowledge was transferred into practical laboratory tests. Here experimentally as well as theoretically determined parameters are evaluated. So it is possible to judge the performance of the novel gripper.

[Keywords: Automatic picking, bio-inspired gripper, gripper technology, bending actuator, gripping experiments]

## 1 EINLEITUNG

Die Automatisierung logistischer Prozesse ist ein wesentliches Element für die Entwicklung des Zukunftsprojektes Industrie 4.0. Darüber hinaus unterstützt sie die Menschen bei immer komplexeren Arbeitsprozessen sowohl kognitiv als auch ergonomisch. Ferner findet der größte Teil der Wertschöpfung in der Distributionslogistik und dort im Bereich der Kommissionierung statt. „Kommissionierung hat dabei das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträgen) zusammenzustellen [VDI94]“. Jene stellt besonders hohe Anforderungen an die Automatisierung, da die Geschicklichkeit und die Erfahrung des Menschen beim Erkennen, Erfassen und Verbringen von Kommissionierartikeln auf ein technisches System nicht problemlos übertragbar sind. Für einen hohen Automatisierungsgrad der Kommissionierung sind daher möglichst geschickte sowie intelligente Systeme notwendig. Diese müssen die für das Greifen relevanten Fertigkeiten des Menschen bestmöglich abbilden können. Ein wichtiger Schritt in diesem Entwicklungsprozess ist die Bereitstellung geeigneter Roboterarme samt Greifer, deren Effizienz über eine wirtschaftliche Automatisierung der Kommissionierung entscheiden. Greifende Roboter für die automatische Kommissionierung erfordern gänzlich neuartige Endeffektoren mit anderen Eigenschaften als diejenigen, die bislang in Produktion und Fertigung eingesetzt werden. Die speziellen Anforderungen an diese Greifer sind ein modularer, preisgünstiger Aufbau, nachgiebige Strukturen, ein universelles Greifvermögen sowie skalierbare Abmessungen und ein anpassbares Leistungsspektrum.

Der Automatisierungsgrad im Kommissionier-Prozess ist dabei im Vergleich zu anderen Unternehmensbereichen wie der Fertigung noch gering. Aufgrund von wirtschaftlichen Beschaffungskonditionen

für Hardware-komponenten sowie der technischen Weiterentwicklung von Sensortechnik, Bildanalyse-software und entsprechenden Algorithmen gibt es jedoch eine Fülle an neuen Lösungen für die Automatisierung [MAR13].

Unser Beitrag in dieser Problemstellung ist die Bereitstellung eines flexiblen und universell einsetzbaren Greifsystems für die roboterbasierte Kommissionierung am Beispiel von Drogerieartikeln. Der konstruktive Entwicklungsprozess des Greifers mit Schwerpunkt auf die Entwicklung des pneumatischen Antriebssystems und die dazugehörigen Grundlagenuntersuchungen wurde bereits abgeschlossen [ISE14a, ISE14b, ULR12]. Der letzte Stand des konstruierten Greifers ist in untenstehender Abbildung zu sehen:

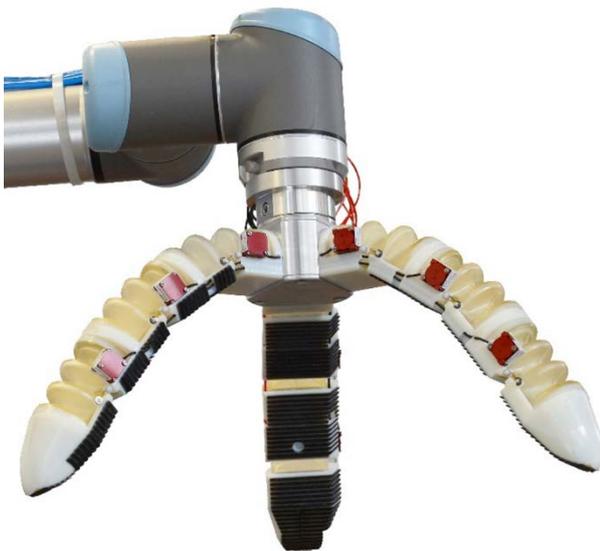


Abbildung 1. Gesamtmodell des geöffneten Greifers

Im Folgenden werden die physikalischen Eigenschaften und die Regelung der Bewegung des Greifer-Antriebssystems am Beispiel eines Aktors vorgestellt und bewertet.

## 2 MESSTECHNISCHE VERSUCHE ZUR CHARAKTERISIERUNG DES AKTORS

### 2.1 ALLGEMEINES LEISTUNGSVERMÖGEN UND DAUERVERHALTEN

Zur Vorbereitung der Messungen wurde ein geschlossener pneumatischer Mess- und Steuerkreis aufgebaut. Zur Regelung des Drucks wurde ein Proportionalventil verwendet, welches den Druck zum Betrieb des Aktors begrenzte. Beim Ventil ist die Regelcharakteristik für den Ausgangsdruck mit drei unterschiedlichen Varianten einstellbar. Die für den Anwendungsfall optimale Einstellung wurde vorab mittels Auswertung von Hysteresekurven bestimmt.

Zum Vermessen des Aktors wurde eine eigene Testumgebung entwickelt. Der Messstand ist auf unten stehender Abbildung zu sehen:

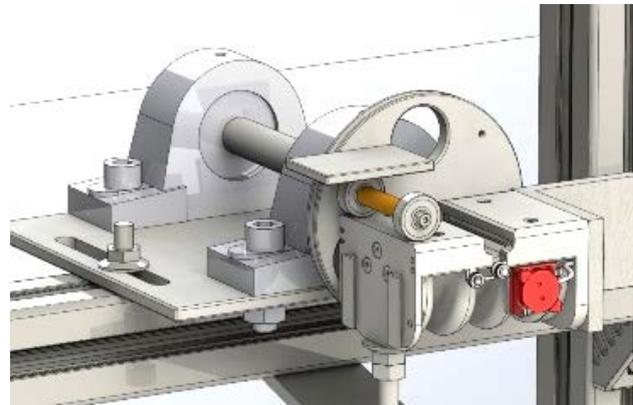


Abbildung 2. Explosionszeichnung des Aktor-Messstands

In Vorversuchen wurde ermittelt, dass die Greifkräfte für die geplante Anwendung mit dem in [ISE14] vorgestellten Aktormaterial mit der Härte Shore A 60 zu gering sind. Bei den folgenden Experimenten wurde daher eine Shorehärte von A 75 eingesetzt. Das höhere Druck- und damit Aktormomentenniveau geht zu Lasten der deutlich verringerten Bruchdehnung der elastischen Hülle, die nur noch bei 60% des Wertes des A 60 Materials liegt. Für die bislang untersuchten Beanspruchungszustände erscheint dieses Material strukturmechanisch jedoch ausreichend, wenn auch der fertigungstechnische Prozess aufgrund der vollständig manuellen Arbeit komplex ist [ISE14a].

Die Messung des Aktorwinkels wird sowohl am Messstand als auch beim Greifer im Einsatz durch einen Seilzugsensor realisiert. Generell besteht hier ein proportionaler Zusammenhang zwischen Auszugslänge des Sensorseils und der Ausgangsspannung. Im eingebauten Zustand ergeben sich am Aktor jedoch andere Randbedingungen. Der Aktor weist aufgrund des elastischen Gelenks [ISE14b] unter Belastung einen variablen Drehpunkt auf. Zudem ergibt sich je nach Gegenmoment des Aktors ein variierender Zusammenhang zwischen Aktordruck und Winkel. Das Ausgangs-Spannungssignal des Sensors ist demnach abhängig von der Belastungssituation und erfordert somit eine Kalibrierung für den jeweiligen Einsatzfall. Diese wird durch optische Vermessung anhand von Bildaufnahmen vorgenommen, die frontal vom Aktor bei unterschiedlichen Belastungszuständen aufgenommen wurden. Abbildung 3 zeigt exemplarisch zwei unterschiedliche Belastungszustände:

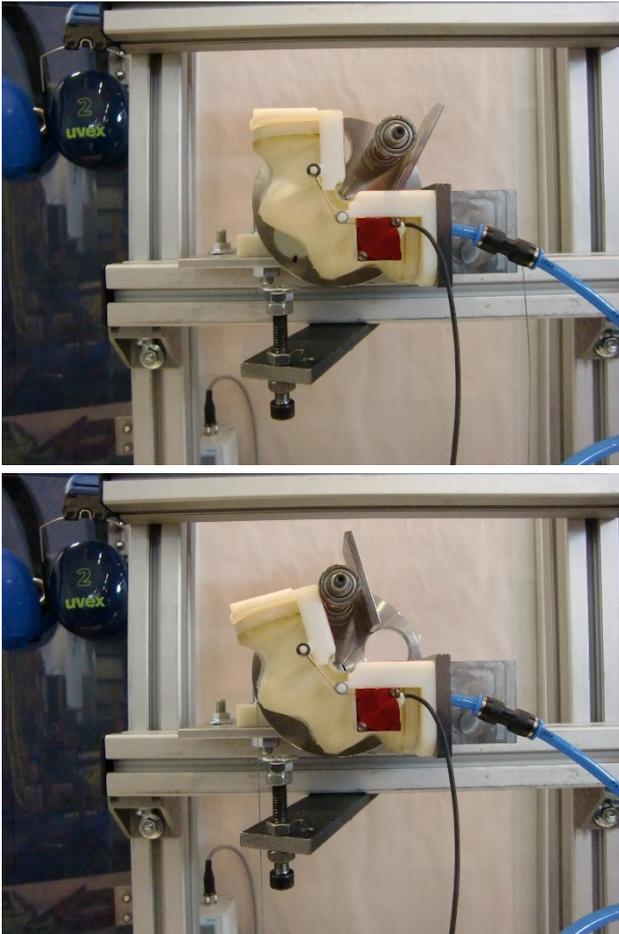


Abbildung 3. Belastungstests des Aktors zur Kalibrierung des Seilzugsensors (rot) bei identischem Eingangsdruck (3,6 bar) sowie 0 g (oben) und 1800 g (unten) Gegengewicht

In Abbildung 4 wird ausschnittsweise ein 92-Zyklus-Belastungstest gezeigt. Aufgrund des viskoelastischen Materialverhaltens zeigt sich grundsätzlich das aus der Literatur bekannte Retardationsverhalten mit zunehmender Dehnung bei konstant gehaltener Spannung [HEL04]. Ein vollständiger Zyklus dauert 22 s. Es zeigt sich ein geringer Anstieg über den Verlauf sowohl beim größten Auslenkungswinkel nach 3 s maximaler Belastung als auch beim sich einstellenden Restwinkel nach 19 s Entlastungszeit. Die im Diagramm gezeigten Werte wurden jeweils auf den Messwert nach den oben genannten Zeitabschnitten normiert.

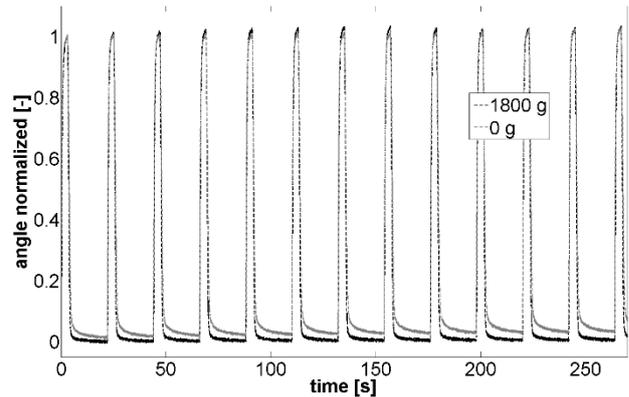


Abbildung 4. Ausschnitt aus 92-Zyklus-Dauerbelastungstest; geringes Kriechverhalten des Aktors in den Endlagen

Bei genauerer Betrachtung des normierten maximalen Aktorwinkels fällt auf, dass dieser über den Gesamtverlauf der 92 Zyklen auf bis zu 7% gegenüber dem ersten ausgelenkten Aktorzyklus zunimmt. Der Belastungszustand mit 1800 g Gegengewicht zeigt erwartungsgemäß geringere Werte bis etwa 5%. Diese weisen zudem auch nicht die Zunahme des unbelasteten Testzyklus auf.

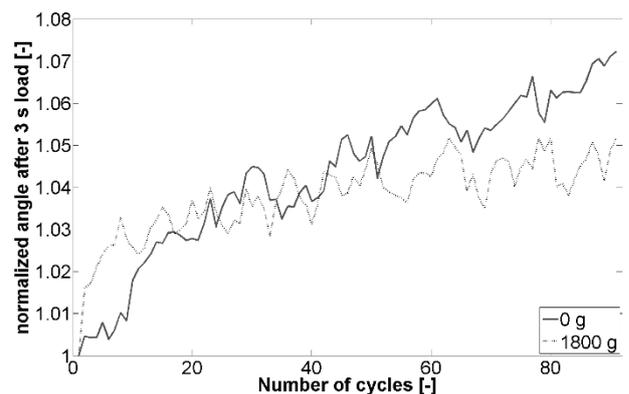


Abbildung 5. Zunahme des maximalen Aktorwinkels über den Verlauf mit 92 Belastungszyklen

Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die höchste Zunahme der Winkelwerte erst ab ca. 10 Zyklen abgeschlossen ist. Mit zunehmendem Gegenmoment verringert sich diese Zahl (grüne Kurve). Der Wert von zunächst 10 durchzuführenden Testzyklen ist wichtig für die weiteren Betrachtungen. So wird nachfolgend angenommen, dass erst ab dieser vorab gemessenen Zyklenzahl vertrauenswürdige und reproduzierbare Ergebnisse in der Aktorvermessung erzielt werden können.

Aufgrund des beobachteten Kriechverhaltens des Aktormaterials bei konstanter Spannung ist nun zu ermitteln, zu welchem Zeitpunkt der Aktor einen stationären Zustand nach einer konstanten Druckbeaufschlagung erreicht hat. Aus Vorversuchen ist bekannt, dass ein Messzeitraum von 10 s ausreichend ist

um zu ermitteln, wie sich quantitativ der Aktorwinkel nach einem Drucksprung verhält. Um bei jedem erneuten Messzyklus einen möglichst kleinen Ausgangswinkel zu erhalten, wurde eine drucklose Entspannungszeit von 30 s eingestellt. In dieser Zeit verringert sich der Aktorwinkel sukzessive gegen 0°. Dabei erhöht das Gegenmoment, dass durch die angehängte Last erzeugt wird, die Winkeländerungsgeschwindigkeit. Im Folgenden Diagramm 6 ist die prozentuale Winkeländerung pro Sekunde über die Zeit dargestellt. Als Kriterium für den quasistationären Zustand wird eine 2%-Grenze festgesetzt. Als Belastung wurde exemplarisch ein mittlerer Druck von 2,4 bar über alle drei Gewichtsklassen sowie zwei weitere Druckniveaus für die mittlere Gewichtsklasse von 600 g ausgewählt.

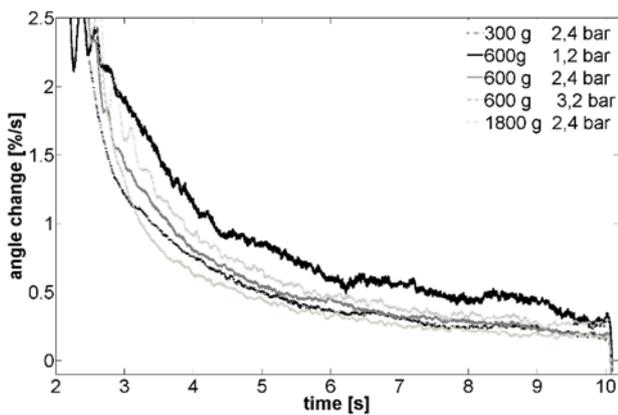


Abbildung 6. Verlauf der prozentualen Winkeländerung pro Zeit nach Wegnahme der Belastung

Aus dem Diagramm ergibt sich eine grobe zeitliche Grenze zur Unterschreitung des 2%-Kriteriums bei 3 s für die untersuchten Gegenmomente und Drucksprungzyklen. Es ist zu erkennen, dass auch bei Messzeitende von 10 s die Winkeländerung des Aktors nicht abgeschlossen ist. Obwohl die Dehnung bei konstant gehaltenem Druck in der Aktorhülle stetig zunimmt, wird die zeitliche Winkeländerung nach 3 s nachfolgend als so gering eingeschätzt, dass dies im Folgenden als stationär angesehen wird. Es zeigt sich aber auch, dass dieser ermittelte Zeitwert nur eine grobe Näherung der tatsächlichen Verhältnisse ist, da Abhängigkeiten vom Gegenmoment und der Druckamplitude existieren.

Zur Verifizierung des statischen Verhaltens des Aktors kann nun ein Kennfeld aufgenommen werden. Auch hier wird der quasistationäre Zustand nach 3 s als die Zeit angenommen, bei der dem eingestellten Druck der sich ergebene Aktorwinkel und entsprechendes Gegenmoment zugeordnet werden.

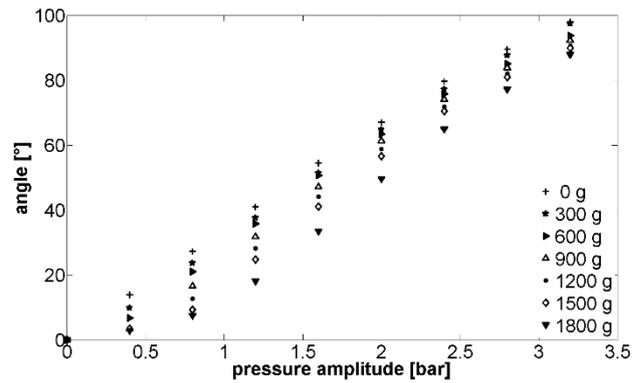


Abbildung 7. Aktorkennfeld; Druck über Winkel mit verschiedenen Gegengewichten

Zur Regelung des Aktors ist das Verständnis über das dynamische Verhalten des Aktors elementar. Im folgenden Diagramm sind die Sprungantworten bei konstanten Druckamplituden und variierendem Gegenmoment aufgetragen. Darunter liegend wurde die Druckamplitude variiert und das Gegenmoment konstant gehalten. Um zu verhindern, dass der Aktor nach Druckwegnahme unkontrolliert auf den Anschlag verfährt, wurde ein Bias für den Druck so eingestellt, dass der Aktor 0° nicht erreicht.

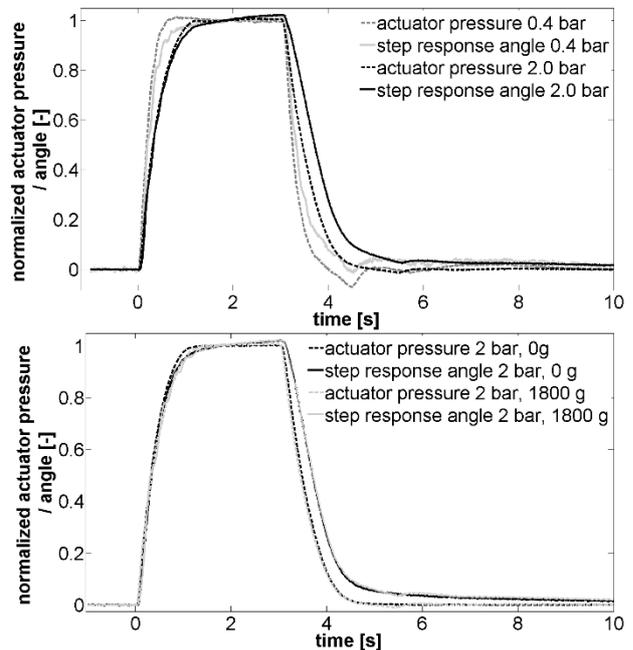


Abbildung 8. Verlauf der normierten Sprungantwort des Aktors bei unterschiedlichen Belastungszuständen

Es zeigt sich, dass das Verhalten der Regelstrecke kaum vom aufgeprägten Gegengewicht abhängt. Vielmehr hat die Druckamplitude eine Auswirkung, beispielsweise auf der Systemzeit.

Nach der mechanischen Modellierung ist bekannt, dass der Aktor als PT2 -System betrachtet werden kann.

Da die erste Zeitkonstante des Systems sehr gering ausfällt, kann das Verhalten des Aktors sehr gut als PT1 Element modelliert werden. Zur Identifizierung wurde ein ARX-Modell verwendet. Mit dem Eingangsdruckamplitude und dem gemessenen Ausgangswinkel kann die Übertragungsfunktion des Systems im s- Bereich bestimmt werden:

$$H(s) = \frac{1}{0.1831s + 1}$$

Daraus ergibt sich eine Zeitkonstante von 0,1831 s und eine Eigenfrequenz von 5,46 1 / s.

Aus der Eingangsgröße Aktordruck und der Ausgangsgröße Winkel lässt sich mit Hilfe des ident-Tools von Matlab die Übertragungsfunktion des Aktors bestimmen. In Abbildung 9 wird gezeigt, dass die mit Simulink simulierte Strecke als Übertragungsfunktion die Charakteristik des Aktors hinreichend gut abbildet. Ferner ist zu erkennen, dass die Strecke, die parallel als mechanisches Ersatzmodell aufgebaut wurde, mit geeigneten Parametern ebenfalls in der Lage ist, die reale Streckencharakteristik abzubilden. Als Anregung wurde ein Sprung von 3 s Dauer gewählt. Nach dieser Zeit ist mit den oben beschriebenen Ausführungen der quasistationäre Zustand erreicht. Für die Normierung wurden die gemessenen Drücke und Winkel zwischen dem unteren (Messzeit 0 – 1 s) und dem oberen Druckniveau (2 - 4 s) jeweils gemittelt.

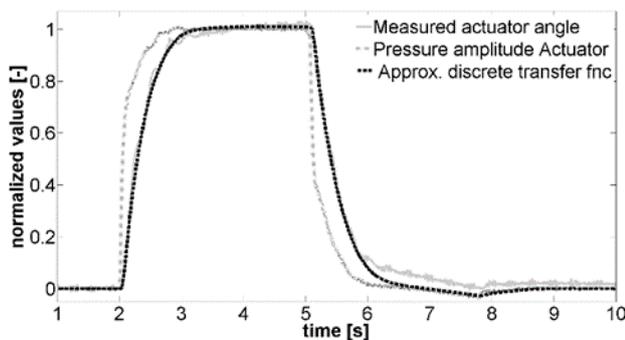


Abbildung 9. Verlauf des normierten Aktor-Antwortverhaltens aus der Simulation als Sprungantwort

## 2.2 CHARAKTERISIERUNG DER AKTOR-REGELUNG

Für die spätere praktische Anwendung ist es entscheidend, den Aktor so zu regeln, dass er die an ihn gestellte Greifaufgabe bestmöglich erfüllt. Dazu wird zunächst ein geregeltes Anfahren der Greiffinger an das Greifobjekt benötigt. Über vorgelagerte Untersuchungen konnte ermittelt werden, welche Aktorwinkel der einzelnen Fingergelenke notwendig sind, um beim Zugriff einen bestmöglichen Formschluss zum Greifobjekt herzustellen. Der Regler hat zunächst die Aufgabe, diesen eingestellten Soll-Winkel zu regeln. Für diese Aufgabe wird ein PID-Regler ausgewählt. Die Reglerparameter

werden so festgelegt, dass die Regelgröße kein Überschwingen über den Soll-Winkel erfährt. Dieses Verhalten geht zu Lasten der Reglergeschwindigkeit, was jedoch keinen Nachteil darstellt. Beim späteren Zugriff am realen Objekt kommt es darauf an, dass dieser behutsam erfolgt. Dies ist wichtig um zu vermeiden, dass dynamische Einflüsse beim Kontakt zwischen Greifer und Objekt den Zugriff erschweren, weil das Objekt seine Orientierung im Raum verändert. Abbildung 9 zeigt den Verlauf der Regelgröße in Folge einer sprungförmigen Anregung. Es zeigt sich, dass der Regler innerhalb von ca. 1 s den Aktor auf den gewünschten Sollwinkel regeln kann. Das Reglerverhalten wurden mit dem ermittelten Regler-Parametersatz für verschiedene Gegenmomente getestet. Hier zeigen sich Abhängigkeiten vom getesteten Gegenmoment und der Höhe des Sollwinkels, die die Reglerdynamik beeinflussen. Ferner wurde festgestellt, dass für Sollwinkel  $70^\circ < \varphi \leq 90^\circ$ , die in der Greifer-Praxis selten erforderlich sind, der P- und I-Anteil des Reglers nach oben angepasst werden muss. Hier werden beeinflussende Effekte aufgrund der in dieser Winkellage stark wirkenden Materialdehnung der Hülle sowie der Kompressibilität des Fluids vermutet. Die Reglerdynamik verringert sich zusätzlich bei diesen hohen Betriebsdruckniveaus, weil die Regelgröße zum mechanischen Schutz des Aktors auf 3,2 bar beschränkt ist, was ca. 90 Grad Biegewinkel entspricht.

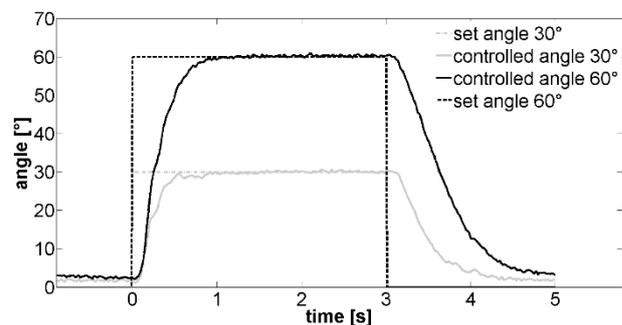


Abbildung 10. Verlauf zwei verschiedener geregelter Aktorwinkel nach Sollwertsprung

Zur Komplettierung der Greiferregelung wurde die vorgestellte Positionsregelung durch eine zusätzliche Drucksteuerung ergänzt. Diese soll gewährleisten, dass beim Zugriff der Finger auf das Greifobjekt genau die Kraft wirkt, die zum sicheren und robusten Halten benötigt wird. Später sind das automatische Erkennen von Objekten und das anschließende Zugreifen mittels Bildverarbeitungs-systemen geplant.

## 3 GREIFSTUDIE

Nach Beendigung der konstruktiven Arbeiten, der fertigungstechnischen Ertüchtigung und der Reglersynthese wird abschließend das Leistungsvermögen des Greifers untersucht. Es soll sich in praktischen Laborversuchen zeigen, inwieweit das skizzierte Potential

des Endeffektors als Universalgreifer für die Kommissionierung bspw. von Drogerieartikeln zutreffend ist [ISE13, ISE14a] und welche Einsatzmöglichkeiten für den Handel und die Produktion bestehen. Für den Nachweis der Praxistauglichkeit mit anschließender Beurteilung des Greifers ist es entscheidend, die Greifaufgabe genau zu definieren. Zur Vereinfachung der Aufgabe bietet es sich an, repräsentative Artikel für die Versuche festzulegen. Aufgrund der im Vorfeld getätigten Untersuchungen mit der Methodik der Faktoren- und Clusteranalyse können die Ergebnisse dieser Studie dafür herangezogen werden. So können aus den vier größten extrahierten Cluster die zusammen ca. 76 % der untersuchten Artikel repräsentieren, einer oder mehrere für die Greifversuche ausgewählt werden.

### 3.1 DURCHFÜHRUNG DER SIMULATIVEN GREIFVERSUCHE

Im ersten Schritt zur Durchführung der Greifversuche wird aus Gründen der Praktikabilität auf das Entnehmen der Artikel mit dem Greifer aus schräg aufgestellten Kommissionierkisten im Regal verzichtet. Dies hat den Grund, dass Aussagen zur Griffausführung und Griffstabilität aufgrund der schlechten Einsehbarkeit in den hohen, schräg stehenden Kisten nur eingeschränkt oder gar nicht möglich sind. Alternativ wird ein freier Arbeitstisch als Unterlage verwendet, der von allen Seiten frei zugänglich ist. Für die Griffbewertung können Kenngrößen wie Aktorwinkel und die in Kontakt stehenden Flächen zwischen Greifer und Objekt betrachtet und zwischen Simulation und Praxisversuch verglichen werden. Im Vorfeld der praktischen Versuche wurden mit einem Simulationsprogramm der Greifer und ausgewählte Objekte als Starrkörper simuliert und miteinander in Kontakt gebracht. Hierbei wurden rein visuell die optimalen Gelenkwinkel und Abstände des Greifers in Z-Richtung von der Ablageoberfläche mit dem Ziel eingestellt, einen „sicheren“ Griff zu erhalten. Greifstabilität ist dabei ein „Zustand, in dem ein Werkstück seine ursprüngliche Lage beim Greifen wiederherstellt, nachdem seine Position aufgrund von Störkräften leicht geändert wurde.“ bzw. „Zustand in dem die Greif-Finger ohne Verrutschen ständigen Kontakt mit dem gegriffenen Werkstück halten, wobei das Werkstück Störkräften ausgesetzt ist“ [ENI01].

Um diese Greifsicherheit zu gewährleisten wurde in den Simulationen versucht eine möglichst große Wirkfläche bzw. einen formschlüssigen Griff zu realisieren. Dabei wurde stets auf die spezifischen Objekteigenschaften eingegangen, sowie die optimale Lage ermittelt, in der das Objekt gegriffen wird. Ebenfalls wurden verschiedene Positionierungen des Greifers getestet und bewertet. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen zwei vom Greifer erfasste Objekte in der Simulation:

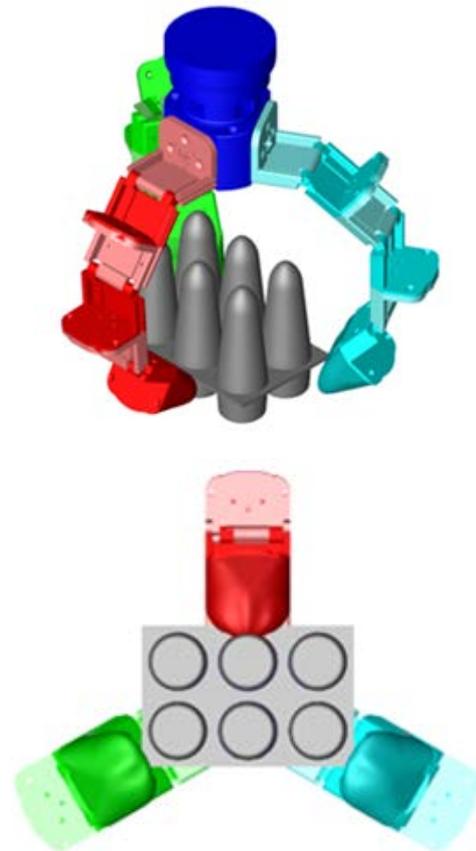


Abbildung 11. Im prismatischen Präzisionsgriff vom Greifer erfasste Kulturtasche in zwei Ansichten der Simulation

Bei den Simulationen wurde stets versucht, den sichersten Griff für das Objekt zu generieren. Hierfür wurden die Lage und die Positionierung des Greifers zum Objekt an einer Auswahl von in CAD umgesetzten Drogerieartikeln untersucht. Die Auswertung der Griffe erfolgte über die drei Kriterien „Anzahl an Kontaktpunkten“, „Anzahl an berührten Flächen“ und „Summe der eingestellten Winkel der Fingergelenke“. Letzteres Kriterium ist maßgeblich zur Optimierung des erzeugbaren Momenten-Niveaus der fluidischen Aktoren in den Greiferringern und sollte zahlenmäßig möglichst klein sein.

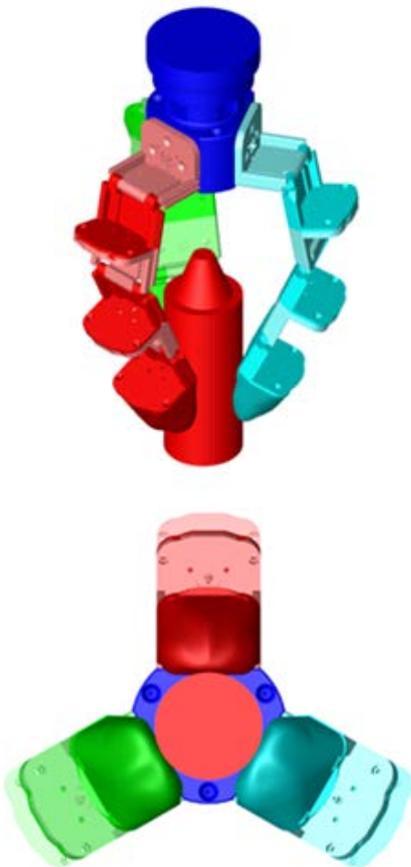


Abbildung 12. Im zirkularen Präzisionsgriff erfasste Flasche in zwei Ansichten der Simulation

Die Betrachtung der Kraftübertragung der Finger auf die Greifobjekte ist in diesem Rahmen nicht möglich, da das Simulationsprogramm ausschließlich Starrkörper berechnet und die Greifartikel zum Teil über hoch verformbare Verpackungen verfügen. Trotzdem ist eine vorab durchgeführte Simulation sinnvoll. So können bspw. verschiedene in CAD vorliegende Greiferentwürfe qualitativ miteinander verglichen und auf Eignung für die gestellte Greifaufgabe bewertet werden. Im zugrundeliegenden Projekt wurde mit Hilfe der Simulation die Anordnung der Finger, d.h. die Ausrichtung jener zueinander an der Fingerbasis und die Gestaltung der Greifflächen untersucht. Es konnten im Vergleich mehrerer Varianten ideale Parameter gefunden werden. Darüber hinaus wurden für die Greifversuche am Realmodell simulativ optimale Gelenkwinkelkombinationen bestimmt. All diese Maßnahmen dienen dazu, den Kontakt zwischen Objekt und Greifer zu maximieren um die oben definierten Kriterien zur Maximierung der Greifsicherheit zu erfüllen.

### 3.2 DURCHFÜHRUNG DER GREIFVERSUCHE

Abschließend wurden mit dem Greifer-Realmodell praktische Versuche an den vorab simulierten Greifobjekten durchgeführt.



Abbildung 13. Im prismatischen Präzisionsgriff vom Greifer erfasste Kulturtasche am Realmodell

Eine augenscheinliche Bewertung zeigt eine gute Übereinstimmung der realisierbaren Fingerhaltung. Da der Greifer konstruktiv so ausgelegt ist, dass keine Drehung der Finger um die Hochachse notwendig ist, ergibt sich die Griffart allein durch die Lage und Gestalt des Greifobjektes. So können die zwei im Drogeriebereich überwiegend auftretenden Geometrien, eine zylinderförmige Flasche und eine quaderförmige Packung, stets optimal erfasst werden.



Abbildung 14. Im zirkularen Präzisionsgriff erfasste Flasche am Realmodell

## 4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag konnte gezeigt werden, dass mithilfe geeigneter Messmethodiken ein pneumatischer Biegeaktor mit elastomeren Bälgen so vermessen werden

kann, dass sein Verhalten hinreichend charakterisiert und simuliert werden kann. Eine Schwierigkeit stellte dabei das viskoelastischen Materialverhalten der hochelastischen Aktorhülle dar, das stark abhängig von der Belastungshistorie des Aktors ist. Durch das Kriechen des Materials bei konstantem Druck ergeben sich unscharfe Bedingungen, die die Festlegung eines stationären Zustandes nach überschaubarer Zeit erschweren. Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass eine Positionsregelung für den Aktor mittels PID-Regler aufgabengerecht möglich ist.

Ferner wurde gezeigt, dass eine simulative Überprüfung des Universalgreifers hilfreiche Erkenntnisse zur konstruktiven Optimierung im Sinne einer hohen Greifsicherheit liefert. Zudem können die praktischen Greifversuche am Realmodell gut vorbereitet werden, in dem die benötigten Gelenkwinkelkombinationen vorab ermittelt werden.

Im nächsten Schritt wird eine Systematik zur Beschreibung der Greifsicherheit erstellt werden. Auf Basis der Literaturlage und neuer Überlegungen soll ein zusammenfassendes Schema aufzeigen, welche Parameter Einfluss auf die Sicherheit eines Griffs nehmen, und wie diese bestimmt werden können.

#### LITERATUR

- [ENIO01] EN ISO 14539, Werkstückhandhabung mit Fingergreifern, 2001.
- [HEL04] Hellerich et al.: Werkstoff-Führer Kunststoffe, 9. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien, 2004
- [ISE13] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: Generierung von Konstruktionsmerkmalen zur Entwicklung eines bioinspirierten Kommissionier-Greifens für die Intralogistik mittels Clusteranalyse. In: Tagungsband zum 9. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (WGTL), Seite 177-188, Dortmund, 2013
- [ISE14a] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: Konstruktive Gestaltung eines bioinspirierten Kommissioniergreifers für intralogistische Handhabungsaufgaben. In: Tagungsband zum 10. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL). München, 2014

- [ISE14b] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Design of highly elastic bending actuators for use in bio-inspired picking gripper*. In: Conference Proceedings ACTUATOR 14, Bremen 2014
- [MAR13] Stache, U.; Martini, A.; Trenker, F.: Kommissionieren mit Robotern und Automaten. In: Logistik für Unternehmen, 15 (2013), Nr. 1/2, S. 52-57, Springer VDI Verlag Düsseldorf 2013
- [ULR12] Ulrich, S.; Bruns, R.; Freyer, H.: *Complex Motions with Anisotropic Elastomeric*. In: Conference Proceedings ACTUATOR 12, Bremen 2012
- [VDI94] VDI-Richtlinie3590: Kommissioniersysteme – Grundlagen, Blatt 1. April 1994.

---

**Dipl.-Ing. Jan Isermann**, was born 1982 in Jeddah, Saudi Arabia. Between 2002 and 2007 he studied production technology at the University of Bremen. Jan Isermann is Research Assistant at the Chair of Machine Elements and Technical Logistics, Helmut-Schmidt-University since 2012.

Address: Helmut-Schmidt-University, Holstenhofweg 85, D - 22043 Hamburg, Phone: +49 (0)40 / 6541-2512, Fax: +49 (0)40 / 6541 2095  
E-Mail: jan.isermann@hsu-hh.de