

Zuverlässiges automatisiertes Greifen in der Kommissionierung ohne aufwändige Datenbasis

Reliable automated gripping in order picking without complex database

Christoph Buhrdorf
Christopher Klitsch
Rainer Bruns

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

Bei der Automatisierung von Handhabungsprozessen ist für eine zuverlässige und zerstörungsfreie Handhabung entscheidend, welche Eigenschaften, wie Masse, Oberfläche, Gestalt, Empfindlichkeit und Formstabilität die handzuhabenden Objekte aufweisen. Im Gegensatz zu oftmals einheitlichen Objekten in industriellen Produktionsketten, müssen die genannten Produkteigenschaften im Handelsumfeld, insbesondere bei der Kommissionierung eines vielseitigen Produktspektrums, erfasst, gespeichert und beim individuellen Greifprozess berücksichtigt werden. Für das zuverlässige Greifen mit herkömmlichen Greifern ist daher eine große Datenbasis zu erstellen und permanent zu aktualisieren. Dies ist mit einem hohen Aufwand verbunden. In diesem Beitrag wird daher der Frage nachgegangen, ob es durch eine geschickte konstruktive Auslegung eines Greifers gelingt, ohne eine aufwändige Datenbasis, ein zuverlässiges Greifen eines heterogenen Sortiments zu ermöglichen.

[Schlüsselwörter: Automatische Kommissionierung, Greifer, Greiftechnik, Universalgreifer, Robotik]

In the automation of handling processes the properties of the objects to be handled, such as mass, surface, shape, sensitivity and dimensional stability, are decisive for reliable, non-destructive handling. In contrast to objects that are often uniform in industrial production chains, these properties must be recorded, stored and taken into account in the individual gripping process in retail, especially when picking a diverse range of products. For reliable gripping with conventional grippers, a large database must therefore be created and permanently updated. This is associated with a high effort. This paper therefore addresses the question of whether it is possible to reliably grip a heterogeneous assortment without a complex database by cleverly designing a gripper.

[Keywords: Automatic picking, gripper, gripping technology, universal gripper, robotics]

1 EINLEITUNG

Im Logistik- und Produktionsumfeld werden die von Menschen durchgeführte Tätigkeiten zunehmend durch die Verwendung von Robotern automatisiert. Hierbei ist der Endeffektor entscheidend. Der Endeffektor kann sowohl ein Werkzeug, Greifer oder Prüfmittel sein. Speziell bei Handhabungsaufgaben, also bei der Bewegung und der Platzierung von Objekten, sind durch den Endeffektor, dem Greifer, komplexe Aufgaben zu erfüllen. Die Phasen des „Greifens“ sind beim Menschen und beim Roboter gleichartig: 1. Erfassung des Objekts, 2. Bewegung des Greifers/der Hand zum Objekt, 3. Positionierung des Greifers/der Hand relativ zum Objekt, 4. Zugreifen, 5. Halten und Bewegen des Objekts, 6. Loslassen. Die Richtlinie VDI 2860 verallgemeinert den Begriff des Handhabens als „das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegeben räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern“. [1] Diese geometrisch bestimmten Körper können dabei aber derart unterschiedlich sein, dass automatisierte Greifsysteme schnell an ihre Grenzen stoßen. Dies gilt besonders bei der Kommissionierung im Handel, beispielsweise im Onlinehandel. Einzelne Produkte, kleine Gebinde oder Kartons bilden das Spektrum im Handel, wobei die Objekte in Form, Gewicht und Beschaffenheit in großer Variation vorliegen können, also in den seltensten Fällen sortenrein sind. Da jede Automatisierung, gerade auch in den Bereichen des Greifens und des Handhabens, in der Regel eine Einschränkung gegenüber der gegebenen Flexibilität durch Tätigkeiten von Menschenhand bedingt, entsteht ein Zielkonflikt zwischen dem Wunsch nach Automatisierung und dem Wunsch nach Flexibilität. In zahlreichen Forschungsprojekten, wie auch in diesem, wird versucht, diesen Konflikt zu überwinden.

2 AUTOMATISIERUNG IN DER LOGISTIK

In Industrie und Handel gibt es nach wie vor ein großes Potential für die Automatisierung logistischer Prozesse. Daher ist die Entwicklung neuer Technologien für Automatisierungen in diesem Bereich noch immer Gegenstand zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Betrachtet man beispielsweise den klassischen Prozess der Intralogistik im Handel vom Wareneingang, über die Einlagerung und Lagerhaltung, der Kommissionierung bis zur Auslagerung und dem Umschlag auf Verkehrsmittel, so bietet jeder dieser Schritte viele Möglichkeiten zur Automatisierung. Besonders das automatisierte Greifen in der Kommissionierung mittels Industrieroboter verlangt nach neuen Technologien, um die Leistung und vor allen Dingen die Fähigkeit des Menschen, sich flexibel auf sich ständig ändernde Produkte einstellen zu können, zu erfüllen oder zu übertreffen.

2.1 AUTOMATISIERTES GREIFEN IN DER KOMMISSIONIERUNG

Die Kommissionierung von Handelswaren wird noch immer überwiegend manuell durchgeführt. Das manuelle Kommissionieren ist zwar in seiner Ausführung effektiv, aber ineffizient aufgrund der Fehlerquote und hoher Personalkosten. Diesen Nachteilen steht jedoch die hohe Flexibilität des Menschen gegenüber, gerade bei sich ändernden Produktsortimenten. Bestrebung nach Automatisierungslösungen in der Kommissionierung existieren schon seit längerer Zeit, wie die Ausführungen in [2] aus dem Jahr 1987 belegen. Damals stießen Automatisierungsbemühungen häufig auf technische und wirtschaftliche Grenzen, so dass sich Maßnahmen im Bereich der personalintensiven Kommissionierung auf die Prozesse vor und nach dem „Griff in die Kiste“ beschränkten. Die menschliche Hand blieb lange Zeit unersetzlich. [2] Mit der Zeit sind die technischen Möglichkeiten deutlich weiter fortgeschritten. So sind heute für Kommissionierungen Industrieroboter häufig das Mittel der Wahl. Sie lassen sich gut in Prozesse integrieren, bei denen die menschliche Tätigkeit substituiert werden soll. Das Arbeitsmittel des Roboters, der Endeffektor, beziehungsweise in diesem Fall der Greifer, ist dabei der entscheidende Schlüssel für die Effektivität und Effizienz der Automatisierung. [3] Ziel bei der Auswahl eines geeigneten Greifers für die Kommissionierung ist die geometrische und kinetische Universalität. Geometrisch universell meint, dass der Greifer möglichst universell im Hinblick auf die geometrischen Ausprägungen des Greifobjektes ist. Bei kinetischer Universalität hingegen soll der Greifer möglichst universell im Hinblick auf die Übertragung der Kräfte sein, also unabhängig der Nachgiebigkeit oder Empfindlichkeit des zu greifenden Objekts. Einen guten Überblick über Robotergreifer bietet unter anderen [4]. Üblicherweise können die etablierten und am Markt verfügbaren Greifer in drei Kategorien klassifiziert werden. Weitere spezielle Bauarten, beispielsweise stoffschlüssige

Greifer oder Greifer mit kombinierten Wirkprinzipien, werden an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

- Formgreifer: formschlüssiger Griff
- Sauggreifer: kraftschlüssiger Griff
- Klemmgreifer: kraftschlüssiger Griff

Formgreifer sind in der Regel auf bestimmte und gleichbleibende, möglichst formstabile Greifobjekte ausgelegt oder sie sind an einen speziellen Ladungsträger angepasst. Sie verlangen Sortenreinheit, sind dabei sehr effizient, jedoch eher unflexibel, wenn sich die Objekte verändern. Die Greifobjekte können mit Formgreifern, je nach konstruktiver Ausführung, besonders schonend gehandhabt werden, da sie keine Klemmkräfte erfahren müssen, sondern rein durch Formschluss gegriffen werden.

Sauggreifer greifen das Objekt durch Ansaugen mittels Unterdruck und sind sehr weit verbreitet beim Handhaben von Kartonagen und Objekten mit glatten, geschlossenen und möglichst formstabilen Oberflächen. Die Anforderungen an die Objekteigenschaften und Oberflächen machen sie nur für bestimmte Objekte einsetzbar. Sie sind störanfällig bei Feuchtigkeit und Staub und benötigen einen hohen Energiebedarf für die Erzeugung des Unterdrucks.

Klemmgreifer bieten das höchste Maß an Universalität. Wegen des kraftschlüssigen Greifens durch Klemmung sind sie nicht an die Objektform gebunden und besitzen die geringsten Anforderungen an die Objekt- und Oberflächeneigenschaften. Bei Klemmgreifern muss sowohl die erforderliche Kraft zum Anheben des Objektes (die Gewichtskraft) als auch die zum Beschleunigen erforderliche Kraft (die Massenträgheitskräfte beim Anfahren und Bremsen der Bewegungen) durch Reibung zwischen den Oberflächen im Kontaktbereich der Finger des Greifers und des Objektes übertragen werden. Reibung setzt aber stets eine Andrückkraft zwischen den im Kontakt stehenden Flächen voraus. Die Andrückkraft der Finger muss daher hinreichend groß sein, um das Objekt sicher anheben und bewegen zu können. Da jedoch die Reibung abhängig vom Gewicht des Greifobjektes beziehungsweise dessen Oberfläche ist, ist in der Regel eine Greifkraftregelung notwendig. Ist die Andrück- bzw. Greifkraft nicht groß genug, würde das Objekt bei der Handhabung verloren gehen. Eine zu hohe Greifkraft hingegen könnte das Objekt beschädigen. Dies ist besonders für empfindliche und nachgiebige Greifobjekte ein Problem.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Formgreifer aufgrund seines formschlüssigen Griffs der optimale Greifer in Hinblick auf die Greifzuverlässigkeit und die Schonung der Objekte ist. Der Formschluss lässt sich allerdings nicht bei jedem Objekt realisieren und bie-

tet nicht das erforderliche Maß an geometrischer Universalität für ein breites Artikelspektrum. Die Universalität, zunächst geometrisch betrachtet, lässt sich am ehesten durch Klemmgreifer erreichen. Diese erfordern jedoch wegen ihres kraftschlüssigen Griffs eine Kontaktkraft, die einerseits hinreichend groß ist, aber andererseits das Objekt nicht beschädigen darf. Daher muss für die kinetische Universalität die Kontaktkraft objektspezifisch eingestellt werden. Dafür müssen die Reibkoeffizienten der Oberflächenpaarung für jedes Objekt bekannt sein. Dies erfordert eine umfassende Datenbank sowie eine entsprechende Steuerung und gegebenenfalls Sensorik für die Regelung der Greifkraft. Dennoch bleibt das Problem, dass Reibkoeffizienten, zum Beispiel durch Verschmutzung oder oberflächenbedingt, streuen können.

3 BANDGREIFER - EIN PRINZIP FÜR GEOMETRISCHE UND KINETISCHE UNIVERSALITÄT

Geometrische Universalität kann, wie in Kapitel 2.1 erläutert, mit Klemmgreifern in einem großen Wirkbereich erreicht werden. Mit einer Objektdatenbank und einer entsprechenden Greifkraftsteuerung/-regelung, kann mit einem Klemmgreifer auch kinetische Universalität erreicht werden. Der Aufwand für Aufbau und Pflege der Datenbank ist, besonders wenn ein sehr breites, wachsendes und wandelndes Produktspektrum gegriffen werden soll, sehr aufwändig. Die gegebenenfalls notwendige Sensorik zur Kontaktkraftmessung kann mit hohen Kosten verbunden sein und nicht in jeder Greiferbauart konstruktiv untergebracht werden. Daher soll mit einem neu entwickelten Greiferprinzip die Frage gelöst werden, wie die erforderliche geometrische und kinetische Universalität eines Greifers rein durch die konstruktive Gestaltung, ohne Datenbank, erreicht werden kann.

3.1 FUNKTIONSPRINZIP

Am MTL wurde ein neuartiges Prinzip für das kraftschlüssige Greifen entwickelt und zum Patent angemeldet. Das Prinzip des sogenannten Bandgreifers dosiert die Kontaktkraft zwischen dem Handhabungsobjekt und dem Greiffinger sehr einfach, robust und in sicherer Weise durch die Art der Kraft- bzw. Bewegungsübertragung.

In dem Ausführungsbeispiel in Abbildung 1 wird ein Greifer mit zwei parallelen Greiffingern gezeigt. Die Finger bilden in diesem Ausführungsbeispiel mit jeweils einem eigenen Antrieb eine Einheit, um den Greifer modular aufbauen und um weitere Finger erweitern zu können. Zwischen den beiden Antriebsmotoren in der Handbasis und den beiden Greiffingern wird jeweils ein speziell angeordnetes biegeschlaffes Zugmittel geführt. Das Zugmittel ist mit dem Antriebsmotor verbunden, sodass es beim Betrieb in seiner Längsrichtung gezogen und auf einer Trommel aufgewickelt wird. Da die Greiffinger jeweils über ein Drehgelenk mit der Handbasis verbunden sind,

werden die Finger durch das Aufwickeln bis zum Kontakt mit dem Objekt nach innen bewegt.

Sind beide Finger in Kontakt mit dem Objekt, wird das Zugmittel weiter aufgewickelt und dadurch die Zugmittelfeder an jedem Finger gespannt. Dies führt zu einer Zunahme der Andrückkraft und damit der Reibkraft zwischen den Fingern und dem Objekt.

Wenn die Reibkräfte der beiden Finger zusammen genauso groß werden wie die Gewichtskraft des Objektes, wird das Objekt aufgrund der Haftreibung durch die weitere Bewegung des Zugmittels angehoben. Das ist der Beginn des sogenannten Initialhubs. Um diesen Zustand zu beschreiben, wird λ als Verhältnis der Haftkraft F_{Haft} und der Gewichtskraft des Objekts $m \cdot g$ eingeführt.

$$\lambda = \frac{F_{\text{Haft}}}{m \cdot g}$$

Zu Beginn des Initialhubs gilt demnach $\lambda = 1$. Wird das Zugmittel nun weiter aufgewickelt, wird die Zugmittelfeder weiter gespannt und das Objekt weiter angehoben, sodass $\lambda > 1$ wird.

Der Initialhub wird während des Anhebens durch einen Abstandssensor gemessen. Erreicht der Initialhub einen vorgegebenen Grenzwert, wird der Antrieb abgeschaltet und gehalten. Das λ , das sich nun eingestellt hat, ist maßgeblich beeinflusst durch die Federrate bzw. Federkennlinie der Zugmittelfeder. Je höher die Federsteifigkeit, desto höher ist λ am Ende des Initialhubs. Ein großes λ führt zu hoher Greifsicherheit. Bei großen Beschleunigungen, zum Beispiel bei der Verwendung des Greifers mit Delta- oder Scararobotik ist ein größeres λ gegenüber der Verwendung an einem Cobot vorteilhaft. Gleichzeitig führt ein großes λ zu einer höheren Beanspruchung der Objekte. Die theoretische Systemanalyse und Berechnungen zeigen deutlich, dass sich mit einer Zugmittelfeder mit linearer Kennlinie ein stark variierendes λ bei unterschiedlich schweren Objekten einstellen wird. Dies schränkt die angestrebte kinetische Universalität ein. Um für unterschiedlich schwere Objekte ein nahezu konstantes λ am Ende des Initialhubs zu erreichen, ist eine Feder mit stark progressiver Kennlinie notwendig.

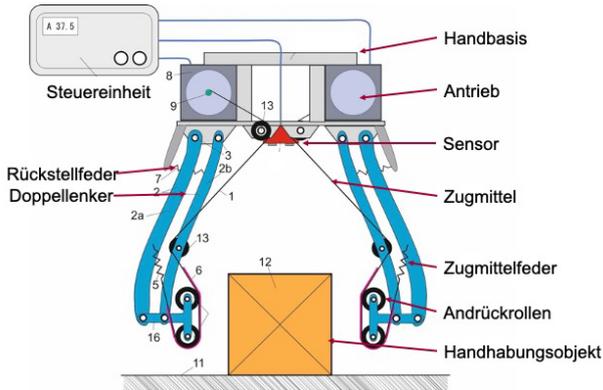


Abbildung 1: Ausführungsbeispiel des Prinzips "Bandgreifer"

3.2 SPEZIFIKATIONEN FÜR DAS ERSTE FUNKTIONSMUSTER

Für ein erstes Funktionsmuster wurden zunächst die Spezifikationen in einem Lastenheft zusammengefasst. Der Anwendungsfall des Funktionsmusters wird in der Kommissionierung im Großhandel, mit einem Sortiment wie es zum Beispiel in der Drogerie oder im Supermarkt zu finden ist, festgelegt. Das Szenario soll dabei zunächst eine Zonenkommissionierung mit begrenzter Artikelauswahl sein. Die Artikel sollen in Kunststoff oder Pappe verpackte Einzelartikel sein. Bei der Artikelauswahl wurde sich auf eine am MTL durchgeführte Studie gestützt, welche das Produktspektrum einer Drogeriekette (ca. 14.000 Artikel) analysierte und anhand der Größe und des Gewichts geclustert wurde. Bereinigt um sehr große und sehr schwere Gebinde, die nur durch spezielle Systeme automatisiert zu handhaben wären, wurden 123 repräsentative Artikel ausgewählt und mit diesen 13 Cluster gebildet. Es wurde festgestellt, dass sich 75 % der Artikel in nur 3 Clustern befinden. Diese sind quaderförmig, zylindrisch sowie flach und nachgiebig. [5] An einem dieser Cluster wurde sich hinsichtlich der Objektgröße und des Gewichts orientiert. So soll der Greifer des Funktionsmuster quaderförmige Objekte mit einer Kantenlänge von mindestens 2 cm und maximal 15 cm und einem Gewicht von maximal 500 g handhaben können. Dafür soll das Funktionsmuster über 2 Greiffinger verfügen.

Das Funktionsmuster soll Artikel aus Kisten greifen können. Hierzu sind die Finger beziehungsweise die Fingerspitzen, entsprechend schmal und lang auszuführen, sodass die Artikel mit einem Mindestabstand von ca. 3 cm geordnet in der Kiste vorliegen können. Die Fingerspitzen sollen eine Länge von 10 cm haben, um die gängigsten Kisten bedienen zu können.

Für den Antrieb soll ein Gleichstrommotor mit selbsthemmendem Schneckengetriebe verwendet werden. Durch die Selbsthemmung kann der Antrieb nach dem Griff stromlos geschaltet und dadurch die Energieeffizienz des Greifers erhöht werden.

3.3 KONSTRUKTION DES FUNKTIONSMUSTERS

Aus den in den Kapitel 3.2 genannten Spezifikationen wurde die Konstruktion des ersten Funktionsmusters abgeleitet. Bereits in einer frühen Phase der Konstruktion wurde festgelegt, dass aus Gewichtsgründen sowie wegen des begrenzten Bauraums für beide Finger ein gemeinsamer Antrieb genutzt werden soll. Dadurch werden beide Finger synchron bewegt und somit die Antriebsregelung vereinfacht. Es wurden umfangreiche Berechnungen zur Geometrie der Fingerelemente und der Leistungsdaten des Motors angestellt. Der Grenzwert des Initialhubs wurde auf 2 cm ausgelegt, was einem λ von 1,5 entsprechen soll. Zu Gunsten der Pickleistung soll der Grenzwert des Initialhubs innerhalb 1 s erreicht sein. Da die Objektmasse laut Spezifikationen auf 500 g beschränkt wurde, konnte die maximal benötigte Klemmkraft, mit Abschätzung der Reibkoeffizienten, berechnet werden. Auf Basis dieser Berechnungen und der im weiteren Verlauf bekannten Geometrie der Finger, konnte der Motor und das Getriebe hinsichtlich Drehzahl, Drehmoment und Übersetzung ausgewählt werden. Die Konstruktion des Funktionsmusters ist als 3D CAD Modell in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen.

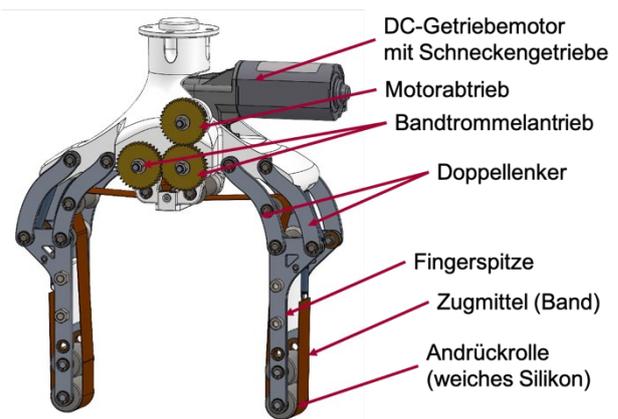


Abbildung 2: 3D CAD Modell des Funktionsmusters

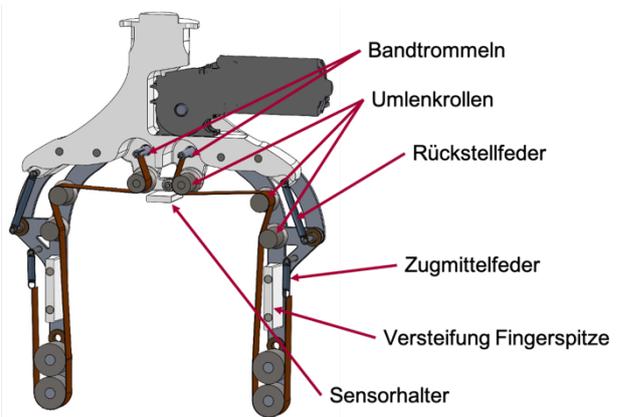


Abbildung 3: Schnitt durch das 3D CAD Modell

Der Gleichstromantrieb mit selbsthemmendem Schneckengetriebe wurde in der Greiferbasis am Über-

gang zum Roboterflansch integriert. Der Getriebeausgang wurde mit einer Zahnradwelle versehen, welche die beiden Bandtrommeln über eine übersetzungsfreie Zahnradkombination synchron, aber gegensinnig drehend, antreibt. Durch die gleichzeitige Aufwicklung der Zugbänder jedes Fingers auf die Bandtrommeln werden die Finger synchron und gleichmäßig aufeinander zu bewegt, bis sie Kontakt mit dem Objekt haben. Bei einem außermittig befindlichen Objekt hat dies zur Folge, dass das Objekt durch den Finger, der als erstes mit dem Objekt in Kontakt kommt, verschoben wird. Ob dies nachteilige Auswirkungen auf die Greifsicherheit hat, gilt es zu untersuchen. Für die Bewegung der Fingerspitzen wurde eine Doppellenker-Konstruktion gewählt. Hierdurch ist sichergestellt, dass sich die Berührungsflächen der Fingerspitzen mit dem Objekt in jeder Fingerstellung, auch während des Greifens, parallel zueinander befinden. Als Zugmittel wurde ein zugfestes, nicht elastisches, biegeschlaffes Textilband gewählt. Dieses wird im Bereich des Objektkontakts über zwei hochelastische Andrückrollen aus weichem Silikon geführt, was die Adaptivität an das Objekt verbessert. Für die anschließenden Tests wird das Textilband im Bereich des Objektkontakts mit Silikon beschichtet, um die Reibung zu erhöhen. Als Zugmittelfeder wird zunächst eine Feder mit linearer Kennlinie verwendet. Der Abstandssensor wird mittig unterhalb der Bandtrommeln positioniert. Hier gilt es auch zu untersuchen, welche Technologie für den Abstandssensor am geeignetsten ist. Es stehen Sensoren nach dem Prinzip Time-Of-Flight, Triangulation von LED- und Laser-Licht und Ultraschall zur Verfügung. Der Sensorhalter ist daher austauschbar gestaltet. Der nach vorliegender Konstruktion gebaute Bandgreifer ist in Abbildung 4 gezeigt.

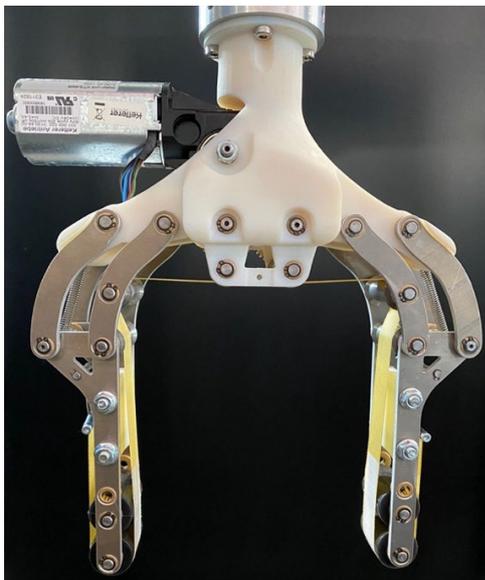


Abbildung 4: Bandgreifer Funktionsmuster

4 GREIFVERSUCHE UND BEWERTUNG

Die Versuchsplanung zur Erprobung des Greifsystems unterteilt sich grundlegend in drei Kategorien, die Erkenntnisse zur Funktion und der damit verbundene Optimierungspotenziale sowie das Grenzverhalten des Greifers offenlegen sollen. Die Versuche untergliedern sich wie folgt:

- Statische Greifversuche
- Dynamische Greifversuche
- Komplexe Greifversuche

Im Fokus der Untersuchungen standen zunächst die statischen Greifversuche, bei denen das Greifsystem das Handhabungsobjekt lediglich durch den Initialhub anhebt. Kern dieser Untersuchungen war die Bestimmung der Werte des Parameters λ für variierende Objekte bezüglich Masse, Abmessungen und gegebenenfalls der Oberfläche. Ferner sollte untersucht werden, inwieweit sich λ über die Versuchsreihe durch möglichen Verschleiß des Greifbandes beziehungsweise der Beschichtung verändert. Der Versuchsaufbau wurde an einer Zug-Druck-Prüfmaschine vorgenommen und ist in Abbildung 5 dargestellt. Hierbei wurden zwei Kunststoffobjekte mit den Abmessungen 100x100x100 mm (O1) und 50x50x50 mm (O2) als Greifobjekte ausgewählt. Diese sind als einseitig geöffnete Hohlkörper ausgeführt. Sie können durch eine gezielte Befüllung in ihrer Masse und der Lage ihres Massenschwerpunkts variiert werden. Die maximal anzuhebende Masse wurde auf das Zweifache der in den Anforderungen gestellten 500 g auf 1 kg festgelegt. Für die Versuchsreihe wurden die beiden Greifobjekte mit drei verschiedenen Massen beschwert und anschließend untersucht, um den entsprechenden Einfluss auf λ aufzuzeigen. Jede Messung pro Objekt und Masse wurde hierbei zehnmal wiederholt, um zufällige Streuungen der Messungen zu kompensieren.

Der in Abbildung 5 dargestellte Versuchsaufbau zeigt das Greifsystem A, das Greifobjekt B (hier O1) und die Kraftsensorik C des Versuchstandes. Das Greifsystem ist hierbei so in die Maschine eingespannt, dass es senkrecht entlang der Maschinenachse verfahren werden kann. Das Greifobjekt wird an den Seitenflächen mittig gegriffen und durch den Initialhub 20 mm angehoben. Anschließend wird das Greifobjekt mit der Kraftsensorik verbunden, die starr in die Prüfmaschine eingespannt ist. Mit Beginn der Prüfung wird das Greifsystem samt Greifobjekt lagegeregelt mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/min verfahren, so dass eine Zugkraft auf die Kraftsensorik wirkt. Die Prüfabbruchbedingung wurde bei einem Verfahrweg von 20 mm, entsprechend dem Initialhub, eingestellt.

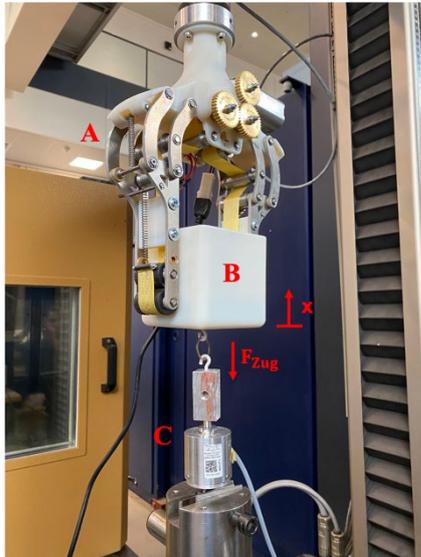


Abbildung 5: Versuchsaufbau für statische Greifversuche

Die aus den jeweils zehn Prüfungen resultierenden, aufgezeichneten Messkurven (vgl. Abbildung 6) tragen die gemessene Zugkraft F_{Zug} gegen den Verfahrweg x auf. Über den gesamten Kraftverlauf wurde der Mittelwert gebildet und dieser als unterer Kraftgrenzwert festgelegt, um ein mögliches anfängliches Setzverhalten des gegriffenen Objektes herauszufiltern. Das erste gemessene relative Kraftmaximum nach dem Grenzwert wird herangezogen, um F_{Haft} zu bestimmen. Dies ist die Kraft, bei der das Greifobjekt anfängt zu rutschen und die Haltekraft in eine Rutschkraft übergeht. Setzt man nun F_{Haft} ins Verhältnis zur Gewichtskraft $m \cdot g$ des Objekts, erhält man λ (vergleiche Kapitel 3.1). Weitere Kraftmaxima, die nach dem ersten relative Kraftmaximum auftreten, sind auf Stick Slip Effekte zurückzuführen und werden nicht betrachtet.

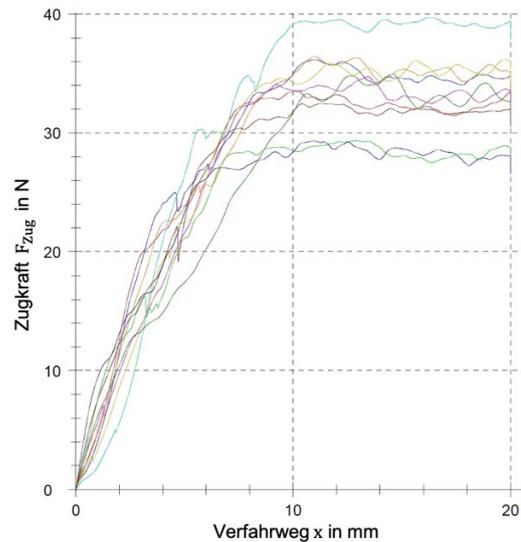


Abbildung 6: Messkurven zur Bestimmung von Lambda, hier beispielhaft O1, 281,27 g

Tabelle 1 zeigt die Auswertung der Messreihen für das große Objekt (O1) und das kleine Objekt (O2) für jeweils drei unterschiedliche Massen (m). Die Auswertung zeigt das arithmetische Mittel (AM), die Standardabweichung (SA) und die relative Abweichung (RA) von λ . Wird das arithmetische Mittel von λ über die gesamte Verteilung der Messreihe betrachtet, so lässt sich feststellen, dass λ mit abnehmender Objektmasse steigt. Dieser Zusammenhang wurde bereits vorab in der theoretischen Systemanalyse sowie in Berechnungen gezeigt und hiermit bestätigt. Dies lässt sich durch die Verwendung einer Zugmittelfeder mit linearer Federkennlinie erklären und beschreibt nochmals die Notwendigkeit einer progressiven Feder (vergleiche Kapitel 3.1). Es ist allerdings auch ersichtlich, dass λ selbst bei der größten untersuchten Masse von 1 kg noch über den geforderten 1,5 liegt. Daraus lässt sich wiederum schließen, dass eine deutlich höhere Masse, als in den Spezifikationen definiert, durch das Greifsystem handhabbar ist. Statisch durchgeführte Greifversuche konnten zeigen, dass Massen bis zu 2,5 kg zuverlässig gegriffen werden können. Das Grenzverhalten ist allerdings noch weiter zu untersuchen, so dass möglicherweise auch größere Massen gegriffen werden können. Wie bereits schon in Abbildung 6 ersichtlich, treten Abweichungen in den Messkurven auf, so dass im Schnitt eine relative Abweichung von 9% festgestellt werden konnte. Diese Abweichungen sind bei Reibungsphänomenen zu erwarten. Negative Einflüsse auf das Greifverhalten durch Verschmutzung und Abrieb der Beschichtung des Greifbandes konnten im Verlauf der Untersuchungen nicht festgestellt werden. Leichte Verschmutzungen zeigten keinen signifikanten Einfluss auf λ . Einflüsse durch Abrieb sind gegebenenfalls durch Langzeituntersuchungen zu prüfen.

Tabelle 1. *Auswertung der Messreihe*

	m [g]	λ AM	SA	RA [%]
O1	281,27	11,32	0,95	8,39
	500,1	6,49	0,91	14,02
	1000,2	3,86	0,36	9,34
O2	66,35	29,2	2,04	6,99
	150,1	12,78	1,08	8,45
	280,1	7,03	0,42	5,97

Für die anschließenden dynamischen Greifversuche soll das Greifsystem an einen Knickarmroboter UR 10 von Universal Robots angebunden und eine Pick-and-Place-Anwendung simuliert werden. Hierbei soll untersucht werden, welche negativen Einflüsse durch Beschleunigungsvorgänge auf das Greifverhalten, insbesondere die Greifzuverlässigkeit und die Pickleistung, entstehen. Vorbereitungen zur Umsetzung an einem Versuchsstand sind bereits durchgeführt worden, so dass erste Versuche in Kürze durchgeführt werden können.

Komplexe Greifversuche beschreiben im weitesten Sinne das Grenzverhalten des Greifsystems. Hierbei sollen Objekte einbezogen werden, die außerhalb der Anforderungen bezüglich Abmessungen und Geometrie stehen. Hierunter fallen insbesondere Objekte, die keine definierte beziehungsweise eine komplexe Form aufweisen, wie sie auch häufig im Einzelhandel vorkommen können. Dies schließt beispielsweise nicht formstabile Tüten und sehr nachgiebige Objekte ein.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Bericht konnte gezeigt werden, dass die Idee des Bandgreifers umsetzbar ist. Das Funktionsmuster des Bandgreifers zeigt in den ersten Versuchen, dass die Anforderungen aus den Spezifikationen hinsichtlich der greifbaren Masse übertroffen wurden. Die Überlegungen zum zuverlässigen und objektschonenden Greifen ohne Datenbasis und das Prinzip der geometrischen und kinetischen Universalität ist mit diesem Greiferkonzept zielführend.

Wie bereits in den theoretischen Vorüberlegungen schon vermutet wurde, konnte in den ersten Versuchen nachgewiesen werden, dass eine Zugmittelfeder mit nicht-linearer, stark progressiver Kennlinie notwendig ist. Die Kennlinie sollte genau im Bereich des Zugreifens einer Exponentialfunktion genügen. Hierdurch kann kinetische Universalität erreicht werden, denn die Haltekraft des Greifers, die maximal zwischen dem Objekt und den Zugmitteln der Finger übertragbare Reibkraft, wird dann unabhängig vom Gewicht des Objekts stets um einen konstanten Faktor (λ) größer als das Objektgewicht. Dieses ist für den Betrieb des Greifers sehr vorteilhaft. Dadurch können alle Objekte mit der gleichen Vertikalbeschleunigung angehoben werden, ohne dass die Gefahr eines Her-

ausrutschens besteht. Die Verwendung einer Feder mit linearer Kennlinie zeigte in den Versuchen, dass λ , bei gleichem Grenzwert für den Initialhub, bei schweren Objekten sinkt.

Allerdings könnte es schwierig sein, eine Zugfeder mit einer genau den Anforderungen entsprechenden exponentiellen Kennlinie herzustellen. Deshalb wird bei der technischen Umsetzung versucht werden, die gewünschte Federkennlinie durch die Kombination mehrerer, miteinander verschalteter Federn zu approximieren.

Das Prinzip des Bandgreifers lässt sich in weiten Bereichen skalieren. So ist die Handhabung großer Kartons und großer Massen, aber auch kleiner Objekte denkbar.

Weitere Versuche sollen zur Validierung der Greifsi-cherheit, gerade auch bezüglich nachgiebiger und fragiler Objekte sowie komplexer geometrisch unbestimmter Objekte, durchgeführt werden. Zudem sind dynamische Untersuchungen im Einsatz am Roboter durchzuführen, um die Auswirkungen der Massenkräfte beim Beschleunigen in Pick-and-Place-Anwendungen bewerten zu können.

LITERATUR

- [1] Verein Deutsch Ingenieure, „Montage- und Handhabungstechnik - Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe“, VDI Norm 2860, erschienen 1982, zurückgezogen 2018.
- [2] W. Backmerhoff, „Beitrag zur Automatisierung von Kommissioniersystemen“, Dissertation, Technische Universität Berlin, Fachbereich Bergbau und Geowissenschaften, Huss-Verlag München, 1987.
- [3] J. Isermann, S. Ulrich und R. Bruns, „Konstruktive Gestaltung eines bioinspirierten Kommissionier-Greifers für intralogistische Handhabungsaufgaben“ in Logistics Journal : Proceedings, 2014,
<http://www.logistics-journal.de/proceedings/2014/4047>, aufgerufen am 01.08.2022.
- [4] A. Wolf, H. Schunk, “Greifer in Bewegung”, Carl Hanser Verlag München, 2016.
- [5] J. Isermann, S. Ulrich, R. Bruns, „Generierung von Konstruktionsmerkmalen zur Entwicklung eines bio-inspirierten Kommissionier-Greifers für die Intralogistik mittels Clusteranalyse“, in Logistics Journal : Proceedings, 2013,
<http://www.logistics-journal.de/proceedings/2013/3783>, aufgerufen am 01.08.2022.

Christoph Buhrdorf M.Sc. hat Wirtschaftsingenieurwesen im universitätsübergreifenden Studiengang HWI in Hamburg studiert und ist seit 2016 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg

Christopher Klitsch M.Sc. hat Maschinenbau an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Hamburg studiert und ist seit 2017 Laboringenieur am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns hat Luft- und Raumfahrttechnik in Braunschweig studiert und ist seit 1992 Leiter des Lehrstuhls für Maschinenelemente und Technische Logistik an der Helmut-Schmidt-Universität in Hamburg

Address: Helmut-Schmidt-Universität, Fakultät für Maschinenbau, Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg.
E-Mail: rainer.bruns@hsu-hh.de. Tel.: 040 6541 / 2855