

Generierung von Konstruktionsmerkmalen zur Entwicklung eines bio-inspirierten Kommissionier-Greifers für die Intralogistik mittels Clusteranalyse

Generation of design features by means of cluster analysis to develop a bio-inspired picking gripper for intra-logistics

Dipl.-Ing. Jan Isermann

Dr.-Ing. Stephan Ulrich

Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns

Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL)

Helmut-Schmidt-Universität

*Holstenhofweg 85
22043 Hamburg*

Kurzbeschreibung: In der Automatisierung von intralogistischen Kommissioniervorgängen ist ein großes Zukunftspotential erkennbar. Elementarer Bestandteil des Automatisierungsprozesses ist der Einsatz von Industrierobotern, die mit einem geeigneten Endeffektor, dem Greifer, ausgestattet werden müssen. Die Robotik ist in der Lage schneller, präziser und ausdauernder als die menschlichen Kommissionierer zu arbeiten und trägt damit entscheidend zur Effizienzsteigerung bei. Eine wesentliche Herausforderung für diesen Entwicklungsschritt zur Substitution der manuellen Kommissionierung ist die Konstruktion und Bereitstellung eines geeigneten Greifsystems.

Am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik der Helmut-Schmidt-Universität wurde mit der Erfahrung aus einem vorangegangenen Forschungsprojekt die Methode der Clusteranalyse erstmalig zur Untersuchung von Greifobjekten zur Entwicklung eines bionischen Universalgreifers für die Kommissionierung von Drogerieartikeln verwendet.

Diese Abhandlung beschreibt einen Beitrag zur Entwicklung dieses Greifers am Beispiel handelsüblicher Drogerieartikel, die aktuell manuell kommissioniert werden. Diese werden hinsichtlich der für das Greifen relevanten Objektmerkmale geclustert und die daraus resultierenden Erkenntnisse in Form von Konstruktionsmerkmalen abgeleitet.

Nach einer Analyse und Festlegung der greifrelevanten Merkmale der Greifobjekte wird eine Objektdatenbasis erstellt. Mit Hilfe geeigneter Methoden wird die gewon-

nene Datenbasis aufbereitet und reduziert. Im Anschluss werden die Greifobjekte bzw. deren Merkmalsausprägungen einer hierarchischen Clusteranalyse unterzogen. Hierbei werden die Grenzen der gebildeten Cluster mittels der zugehörigen Greifobjekte festgelegt und analysiert. Abschließend werden bestimmte greiferspezifische Merkmale auf die Anwendbarkeit in den Clustern überprüft und bewertet. Diese Betrachtungen ermöglichen es, dass spezielle Anforderungen an den Greifer, die direkt aus den Eigenschaften der Greifobjekte herrühren, zuverlässig erkannt und konstruktiv berücksichtigt werden können.

[Clusteranalyse, Faktorenanalyse, Greiftechnik, Kommissionierung, Greifobjekte]

Abstract: In the automation of intralogistical systems, it is discernible that order picking has a great potential for the future. Fundamental part of the automation process is the use of industrial robots that have to be equipped with a suitable end-effector, the gripper. The robot is capable of faster, more precise and more durable than the human pickers and thus contributes significantly to the efficiency increase. A major challenge for this development step for the substitution of manual picking is the design and provision of a suitable gripper system.

With the experience of a previous research project, at the Chair of Machine Elements and Technical Logistics of the Helmut Schmidt University, the method of cluster analysis was first used to study the development of

grasping objects, for a biomimetic universal gripper for picking drugstore products.

This paper describes a contribution to the development of this gripper on the example of commercial drugstore products that are currently picked manually. These are clustered in terms of object features relevant for grasping and derived the resulting insights in the form of design features.

After an analysis and definition of the relevant characteristics of grasping objects cross a database object is created. Using suitable methods based on the data obtained is processed and reduced. Following the gripping objects and their characteristic values of a hierarchical cluster analysis is carried out. Here, the boundaries of the clusters formed are determined by the associated gripping objects and analyzed. Finally, certain specific gripper features are reviewed and evaluated for applicability in the clusters. These considerations make it possible that special requirements on the gripper, which resulting directly from the properties of objects, these can reliably be constructive recognized and considered.

[Cluster analysis, factor analysis, gripping technology, order picking, gripping objects]

1 EINLEITUNG

Gegenstand dieser Ausarbeitung ist die systematische Untersuchung von Drogerieartikeln mit Hilfe der Clusteranalyse. Eine wesentlicher Aspekt bei der Dimensionierung und Systemcharakterisierung einer Greifer-Neukonstruktion ist ein umfassendes Wissen über die zu greifenden Artikel. Diese bestimmen vornehmlich die Eigenschaften des späteren Greifers und sind als quasi-unabänderliche Randbedingungen im Konstruktionsprozess anzusehen, ohne deren vollständige Berücksichtigung kein hinreichend zuverlässiger Greifprozess realisierbar ist. Bei der Entwicklung eines Standardgreifers für nur einen Greifartikel oder ein Konvolut von sehr homogenen Artikeln in Bezug auf Ihre technischen Objekteigenschaften, dazu zählen insbesondere Geometrie, Masse und Oberflächeneigenschaften, ist dies noch eine recht überschaubare Aufgabe. Komplizierter wird die Erstellung einer Anforderungsliste an die Greiferkonstruktion dann, wenn eine große Anzahl sehr heterogener Artikel in Bezug auf die oben definierten technischen Objekteigenschaften gegriffen werden muss. Der Greifer mitsamt eines Roboterarms wird später in einer Kommissionierzelle selbstständig Waren aus Kisten kommissionieren und im betrachteten Anwendungsfeld der Drogerieartikel ein sehr umfangreiches und höchst unterschiedliches Warensortiment dort vorfinden. Oberstes Ziel bei der Greiferneukonstruktion ist aus nachvollziehbaren Gründen das siche-

re Zugreifen und Verbringen der Objekte an den gewünschten Ablageort. Allein schon aufgrund der sehr unregelmäßigen Außenkonturen und Verpackungselastizitäten der Greifobjekte ist daher ein universelles Greifkonzept gefragt, welches ein Höchstmaß an Flexibilität und Robustheit aufweist. Zur Verbesserung dieser für einen Universalgreifer wesentlichen Attribute dient dieser Beitrag, der mit einem besseren Verständnis über die Greifobjekte die Entwicklung unterstützt.

1.1 DIE MANUELLE KOMMISSIONIERUNG

Der Kommissionierbereich beim Forschungspartner Budnikowsky im Distributionslager in Hamburg-Allermöhe ist trotz hohem Automatisierungsgrad im Bereich der Warenförderung sowie der Ein- und Auslagerung im Bereich der Kommissionierung noch stark geprägt von manueller Arbeit durch Menschen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass der Mensch gegenüber automatischen Kommissioniersystemen von seinen sensorischen und aktorischen Fähigkeiten her Vorteile bietet, die zudem durch Erfahrung noch perfektioniert werden können. Mit der Erfahrung ist zusätzlich ein Zeitgewinn bei bestimmten Leistungsparametern wie "Picks pro Stunde" zu erwarten. Die visuelle Kennzeichnung der Entnahme erfolgt im "Pick by light" System. Hier wird dem Kommissionierer das entsprechende Regal und die Anzahl der zu entnehmenden Artikel angezeigt. Die Regalfächer sind im Betrachtungsbereich gefüllt mit Standard-Kommissionierkisten, die sortenrein Artikel, häufig als Mehrfachposten in der Stückelung direkt vom Herstellwerk enthalten. Die Aufgabe des Kommissionierers ist es nun, für die Bestellung einer einzelnen Drogeriefiliale eine bedarfsgerechte Kommission aus beliebigen Artikeln in einer neuen Kiste zusammen zu stellen. Eine typische Kommissionierung ist auf folgender Abbildung dargestellt:



Abbildung 1. Eine Kommissionierumgebung beim Projektpartner Budnikowsky. Quelle: Budnikowsky GmbH & Co. KG, Hamburg

Gleichwohl erwartet man trotz optimierter Abläufe in der manuellen Kommissionierung durch eine Automation weitere Vorteile, die vor allem in der Vermeidung menschlicher Schwächen beim Erfüllen dieser Aufgabe liegen:

- lange Einarbeitungszeit bis zur Erbringung adäquater Leistung
- saisonale personelle Engpässe durch hohen Krankenstand und Urlaubszeit
- hoher Anteil an Totzeit in der menschlichen Arbeit
- erhöhte Gefahr von Kommissionierfehlern [PIE12]:
 - Entnahme eines Artikels aus einer falschen Bereitstellungseinheit
 - Verwechslung von Artikeln
 - Ablage der Artikel in falschen Auftragsbehälter
 - Auslassen von Kommissionierpositionen

1.2 AUTOMATISIERTES GREIFEN IN DER KOMMISSIONIERZELLE

Zur Szenariobildung für ein automatisiertes Kommissionieren in der oben skizzierten Intralogistik-Umgebung wurde die Idee einer Kommissionierzelle verfolgt. In dieser fährt ein mehrachsiger Roboter mittels eines Portals auf einem Schienenstrang parallel zum Regalgang zwischen zwei Regalen mit je ca. 3 Regalebenen. Die Höhe des Portals ist so gewählt, dass der Roboterarm alle Regalebenen mitsamt den dort befindlichen Bereitstellungseinheiten erreichen kann.

Ein elementares Werkzeug innerhalb dieses Szenarios stellt das Arbeitsmittel des Roboterarms dar, der Endeffektor. Im vorliegenden Fall wird ein Greifer benötigt, welcher in der Lage sein muss, dass vorhandene Artikelspektrum aus dem Drogeriebereich sicher und schonend greifen zu können. Voruntersuchungen lassen vermuten, dass als Greifprinzip das mechanische Greifen durch Klemmen die größte Universalität bzgl. der vorhandenen Artikel bietet. Zudem werden durch dieses Greifprinzip nur sehr geringe Anforderungen an das Greifobjekt gestellt, was angesichts der höchst unterschiedlichen Verpackungseigenschaften im Drogeriebereich eine notwendige Maßnahme ist. Die Clusteranalyse soll als Werkzeug dazu dienen, die Auswahl des Greifprinzips zu erleichtern bzw. die in Frage kommenden Verfahren in Bezug auf ihre Eignung deutlich voneinander abzugrenzen.

1.3 DIE NATUR ALS VORBILD FÜR DEN IDEALEN GREIFER

Das Ziel beim Greifen ist die Erlangung einer wesentlichen Kontrolle über das Greifobjekt. In Abhängigkeit der Geschicklichkeit eines Greiforgans sind auch komplexe Manipulationsvorgänge wie das Drehen und Neuausrichten des Greifobjektes im Raum möglich. Aus anwendungstechnischer Sicht wird eine weitere Unterteilung des Greifens durch die Charakterisierung der Greifprinzipien vorgenommen:

- kraftschlüssiger Griff
- formschlüssiger Griff
- stoffschlüssiger Griff

Die Natur hat im Laufe der Evolution eine Reihe von hoch interessanten und effektiven Greifstrategien auch im Bereich des mechanischen Klemmens entwickelt. Dazu gehören je nach Spezies Greifprinzipien, die sich problemlos nach den drei oben genannten Griffarten beschreiben lassen:

- Schere eines Schalentiers (kraftschlüssiges Greifen)
- Ein Insekt gefangen in einer Venus-Fliegenfalle (formschlüssiges Greifen)
- Der Elefantenrüssel (Kombiniertes Greifen durch Kraft- und Formschluss)

Das wohl flexibelste Greifwerkzeug der Evolution ist jedoch in der menschlichen Hand zu sehen, die ähnlich wie der Elefantenrüssel eine kombiniertes Greifen aus Kraft- und Formschluss ermöglicht. In den folgenden Betrachtungen wird daher die Hand des Menschen als Vorbild für die Entwicklung des neuartigen Universalgreifers angesehen. Es handelt sich somit um eine bionische Neukonstruktion.

1.4 BIONISCHE GREIFHÄNDE

Mit dem Begriff des bionischen Konstruierens ist unweigerlich der Begriff der Bionik, einem Kunstwort bestehend aus den Begriffen Biologie und Technik verbunden. Es handelt sich um eine vergleichsweise junge Wissenschaft, die sich zum Ziel gesetzt hat "Patente" der Natur zu entschlüsseln und für die Technik nutzbar zu machen. In der Greiftechnik spielt die Bionik eine immer größere Rolle, wie aktuelle Entwicklungen in Grundlagenforschung und Industrie zeigen. Die Vorteile für den Einsatz künstlicher technischer Greifhände, auch gegenüber dem biologischen Vorbild, sind in folgenden Punkten zu sehen [WOL04]:

- hohe Anzahl an exakt reproduzierbaren, möglichen Griffarten mit nur einer Konstruktion
- Formschlüssiges Greifen unterstützt das kraftschlüssige Greifen zur Reduzierung der Schließkräfte der eingesetzten Aktorik
- Einsatz von hochbeständigen Materialien für den Einsatz in Umgebungen, die für das menschliche Gewebe nicht geeignet sind (Extreme Temperaturniveaus; Strahlung, die mit dem Gewebe wechselwirkt; hohe Druckkräfte; Umgang mit chemisch hochreaktiven Stoffen)
- erhöhte Kraft und Präzision gegenüber dem biologischen Vorbild möglich

Insbesondere im Bereich der künstlichen technischen Hände gibt es eine Reihe von hochflexiblen Modellen, die grundsätzlich für die Manipulation eines heterogenen Artikelspektrums wie im Drogeriebereich vorhanden geeignet sind, jedoch einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen, was sich vor allem negativ im Steuerungsaufwand und den Beschaffungs- und Betriebskosten bemerkbar macht.

Die Eigenentwicklung des MTL wird hingegen einen niedrigen Komplexitätsgrad und damit einen überschaubaren Steuerungs- und Fertigungsaufwand besitzen. Gleichzeitig wird die Konstruktion jedoch alle Anforderungen erfüllen, die die skizzierte Greifaufgabe und Greifartikel als solches erfordern.

1.5 DAS ARBEITSMITTEL: STATISTIKSOFTWARE IBM SPSS STATISTICS 21

Für die unten skizzierten Arbeiten wurde SPSS Statistics 21 verwendet. Es zählt im Bereich der statistischen Datenanalyse neben *Statistica* zu den meist gebrauchten Programmen und wird insbesondere im geistes- und sozialwissenschaftlichen Bereich zur Marktforschung o.ä. eingesetzt.

2 AUFNAHME DER ARTIKELMERKMALE

2.1 AUSWAHL DER GREIFOBJEKTE

Naturgemäß weisen Artikel im Drogeriebereich eine sehr hohe Varianz bezogen auf die technischen Produkteigenschaften auf, da quasi alle Bereiche des täglichen Lebens bedient werden. Dies gilt sowohl für den Inhalt als auch für die Verpackung der Produkte, wobei letztere für den Greifprozess im Regelfall relevanter sind.

Zur Auswahl der zu untersuchenden Artikel wurde vom Projektpartner Budnikowsky eine Auflistung mit über 14.000 verschiedenen Artikeln bereit gestellt. Zur systematischen Reduzierung dieser wurden vorab einige Einschränkungen getroffen, die in Absprache mit dem Unternehmen als sinnvoll erachtet wurden. U.a. wurde gefiltert nach:

- Artikeln über 1000 g;
- Artikeln mit einem Kantenmaß größer als 260 mm, da diese die Innenhöhe der Standard-Kommissionierkiste übersteigen können;
- Artikel mit einem gleichzeitigen Längen-, Seitenlängen- und Höhenmaß über 200 mm, da unterstellt wird das diese in der manuellen Kommissionierung mit zwei Händen gegriffen werden müssen;
- Artikel mit einer Standhöhe unter 6 mm, da angenommen wird, dass diese nur mit gesteigertem technischen Aufwand automatisiert gegriffen werden können.

Aus den daraus extrahierten Artikeln wurden 200 unterschiedliche Exemplare ausgewählt. Diese wurden manuell auf ihre Einzigartigkeit geprüft, d.h. kein Artikel sollte markante Ähnlichkeiten zu einem anderen Artikel aufweisen. Somit ist von einer gewissen Repräsentativität der Artikelauswahl auszugehen. Vom Projektpartner wurden in Absprache kurzfristig 123 Artikel zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um Originalware aus der Handkommissionierung des Distributionslagers. Die zu handhabende Gebindegröße ist üblicherweise nicht mit der in der Filiale identisch, die vom Endverbraucher käuflich erworben werden kann. Somit erscheinen die Gebinde in der Kommissionierung häufig im Originalauslieferungszustand vom Hersteller mit mehr als einem Artikel pro Verpackung. Typischerweise sind bei kleineren Artikeln drei bis sechs Einzelstücke einfoliert. Größere Artikel werden einzeln kommissioniert. Ein Auszug aus der oben beschriebenen Auswahl ist in nachfolgender Abbildung dargestellt:



Abbildung 2. Auszug aus den Kommissionierartikeln

2.2 FESTLEGUNG DER GREIFRELEVANTEN MERKMALE

Für eine hinreichend gute Charakterisierung der Greifartikel werden im Folgenden relevante Objekteigenschaften aufgelistet. Die Griffarten beziehen sich auf eine menschliche bzw. eine künstliche technische Greifhand mit mind. 3 Fingern und je drei Gelenken:

2.2.1 METRISCHE OBJEKTDATEN

Bei den metrischen Objektdaten handelt es sich um solche Objektmerkmale zu deren Beschreibung eine metrische Skala herangezogen wird. Diese Merkmale können durch die Zuordnung von Zahlenwerten mit entsprechenden Einheiten quantitativ beschrieben werden. Die Zuordnung findet nach dem Vermessen oder Abzählen statt.

- Länge [mm]: Als Länge wird die größte Objektausdehnung parallel zur Auflagefläche definiert.
 - Standhöhe [mm]: Als Standhöhe wird die Objektausdehnung in Höhenrichtung orthogonal zur Auflagefläche definiert.
 - Durchmesser [mm]: Dieses Längenmaß wird parallel zur Auflagefläche berechnet. Bei kreisrunden Objekten wird der Außendurchmesser betrachtet, bei quaderförmigen Objekten die Flächendiagonale. Andersartige Geometrien werden individuell berechnet.
 - Standfläche [mm²]: Wird berechnet entweder über mathematische Formeln direkt aus der Länge und Breite der Objekte oder aus zusammengesetzten Standardgeometrien. Bei Zylindern, die als Standardlage auf der runden Seite liegen, wurde ein projiziertes Rechteck als Standfläche angenommen.
- Standfläche/Standhöhe [-]: Mit diesem Verhältniswert lässt sich eine Aussage über Standfestigkeit der einzelnen Objekte geben. Hohe Werte lassen auf eine stabile Lageposition in Primärausrichtung schließen. Niedrige Werte deuten auf eine Neigung zum Umfallen bei kleinen Seitenkräften hin, wie sie bei einem nicht exakt positionierten Greifer bei Berührung auftreten können.
 - Objektmasse [kg]: Von der Masse hängen wichtige Parameter der Greifhand wie Schließkraft und das benötigte Moment zum Anheben der Gesamtlast ab. Hohe Objektmassen erfordern ebenso hohe Normalkräfte beim kraftschlüssigen Greifen, was wiederum Beschädigungen an den Verpackungen hervorrufen kann. Zur optimalen Handhabung der Objekte müssen bei hohen Einzelmassen der Artikel somit zusätzliche Designmaßnahmen am Greifer umgesetzt werden wie die Möglichkeit des formschlüssigen Greifens zur Reduzierung der Normalkräfte.
 - Anzahl der Kanten [-]: Für die Handhabung der Objekte ist die Anzahl der möglichen Wirkstellen durch Greiferbacken oder anderer, auch adaptiver Kontaktorgane wichtig und hilfreich. Durch diese Angabe der der Kantenanzahl wird eine Art Gütemaß für die Greifbarkeit eingeführt, wobei eine hohe Zahl nicht gleichzeitig besser ist als eine niedrigere eines anderen Objektes, weil auch die Form der potentiellen Greiffläche oder Hinterschneidungen wichtige Kriterien bspw. für das formschlüssige Greifen sind. Folgende Flächen können prinzipiell an Kontaktstellen vorgefunden werden:
 - parallele ebene Flächen
 - zylindrische Flächen
 - sphärische Flächen
 - beliebige, regellose Flächen
 - Anzahl der Ecken [-]: Hier besteht mitunter ein feststellbarer Zusammenhang zum vorhergehenden Merkmal. Eine zusätzlichen Informationsgehalt über die Gestalt des Greifobjektes erlangt man dadurch, dass bei einer "0" in diesem Attribut offensichtlich eine kugelförmige oder zylindrische Objektgeometrie vorliegen muss.
 - Einpresskraft [N]: Es wird eine experimentell zu ermittelnde Kraft eingeführt, die die Objektverpackung bei Druck normal auf die Oberfläche gerade nicht beschädigt. So wurde ein Stempel mit Gewindestange versehen (zusammen ca. 360 g). Dieser wurde mit bis zu 12 kg (durch ansteckbare Gewichtsscheiben) beschwert und auf die potentielle „Greiffläche“ aufgesetzt. Die Druckfläche betrug 177 mm². Dann wurde subjektiv entschieden, ob die Verpackung der Kraft

standhält. Die max. aufprägbare Kraft von 118 N entspricht nach BIGA Report [DGU09] in etwa der Kraft, die ein Mensch mit seinem Zeigefinger bei Druck auf eine Platte aufbringen kann.

- **Objektvolumen [mm³]:** Zur exakten Beschreibung der Objekte wird nur bei quaderförmigen oder quadratischen Vollkörperverpackungen das Volumen aus den Maßen in den drei Raumrichtungen berechnet. Bei Halbschalen, in Netz eingeschlossenen Objekten wie bspw. Sandspielzeug oder sonstigen komplexen Geometrien wird das tatsächliche Körpervolumen ermittelt. Dazu werden die Körper in Wasser eingetaucht und die Masse der verdrängten Flüssigkeit wird gewogen. Diese wird abschließend noch durch die hinreichend bekannte Dichte geteilt.
- **Anzahl der möglichen Positionen [-]:** Hierbei wurden zum einen nur potentielle Greifpositionen gezählt, die keinen anderen Positionen geglichen haben. Ferner wurden nur Positionen berücksichtigt, die in der Kommissionierkiste möglich sind. Ersteres bedeutet bspw.: Ein Quader hat sechs Seiten auf denen er liegen kann, damit sechs mögliche Positionen. Davon gleichen drei aber den anderen drei. Somit sind nur drei Positionen für eine Auswahl sinnvoll. Die zweite Einschränkung ist der Höhe der Kiste geschuldet. Führt eine Position dazu, dass das Objekt aus der Kiste ragt, ist die Position nicht möglich und wird nicht statistisch ausgewertet.
- **Reibbeiwert [-]:** Das Greifobjekt wurden mit der bevorzugten „Greiffläche“ auf ein Brett gelegt, welches mit einem Reibbelag belegt ist. Das Brett wurde nun vorsichtig einseitig angehoben bis der Artikel ins Rutschen kam. Diese Höhe wurde gemessen. Zusammen mit der Länge des Brettes wurde der spitze, eingeschlossene Winkel bestimmt. Der Tangens dieses Winkels ist der gesuchte Reibwert μ .
- **Anzahl der Teile [-]:** Dies beschreibt die Anzahl der Einzelartikel die lose verpackt sind, sich also komplett unabhängig voneinander bewegen lassen können. Fest einfolierte identische Mehrfachartikel werden als ein Teil angesehen.
- **Anzahl der Werkstoffe [-]:** Dies beschreibt die Anzahl der Werkstoffe, die vom Greifer berührt werden könnten. Ein Materialmix im Zugriffsbereich der Greiforgane kann zu sehr unterschiedlichen Reibbeiwerten führen, was wiederum eine Anpassung der Greifer-Schließkräfte erfordert.

2.2.2 NOMINALE OBJEKTDATEN

Die nominalen Objektdaten sind nicht durch Zahlenwerten beschreibbar. Die nominalen Objektdaten sind somit Objektmerkmale, deren Ausprägungen gleichwertig

sind d.h. sie können nicht einer numerischen Rangfolge unterzogen werden. Unter Nutzung eines Binärcodes (0 = nicht vorhanden, 1 = vorhanden) wird das Auftreten des Merkmals bei einem Greifgegenstand protokolliert.

- **Einfache Geometrie:** Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Objekte sich durch eine Kombination aus Regelgeometrien (Zylinder, Quader, Kegel, Kugel) hinreichend genau beschreiben lassen. Eine Freiformgeometrie besteht hingegen aus zusammengesetzten und regellosen Flächen-Splines, wobei eine Kombination mit Regelgeometrien möglich ist, die oben genannte Bedingung ist hier jedoch nicht erfüllt.
- **Nachgiebigkeit:** Einige der ausgewählten Greifobjekte verformen sich bereits bei geringsten Krafteinwirkungen. Diese Verformung kann zwar dauerhaft sein, ist aber unkritisch, weil die Verpackung unbeschädigt bleibt da keine plastische Verformung aufgetreten ist. Meist handelt es sich bei solchen Objekten um mehrere Einzelteile, die zu einem Set zusammengefasst sind. Der Greifer muss diese Objekteigenschaften erkennen und entsprechend reagieren. Er darf nicht beim ersten Nachgeben die Griffkraft lockern, sondern muss sie bis zu einem gewissen Grad weiter erhöhen, damit ein noch ausreichender Reibschluss erreicht wird um den Gegenstand zu heben.
- **Zirkularer Präzisionsgriff:** Die Finger bewegen sich gekrümmt zu einem gemeinsamen Zentrum hin und klemmen den Gegenstand orthogonal zu seiner Hoch- oder Längsachse gleichzeitig von mehreren Seiten ein. Besonders gut eignet sich diese Greifart zum Erfassen von kugelförmigen und zylindrischen Geometrien, weil der Abstand der Körperaußenflächen zur Mittelachse stets konstant bleibt. Die Voraussetzung für den zentrischen Griff ist der freie Zugang zu den Greifobjekten von oben, orthogonal zur Objektoberfläche.



Abbildung 3. Zirkularer Präzisionsgriff

- Prismatischer Kraftgriff: Hierbei schmiegt sich die Handfläche an die Geometrie des Greifobjektes durch Umfassung mit den Fingern an, was zur Vergrößerung der Wirkfläche führt. Die sichere Handhabung wird dadurch begünstigt. Bei quaderförmigen Geometrien führt dieser Handgriff zur Abrundung der Kanten am Verpackungsmaterial und ist deswegen weniger geeignet.



Abbildung 4. Prismatischer Kraftgriff (Umklammern)

3 AUFBEREITUNG DER DATENLAGE

3.1 FAKTORENANALYSE

Zur weiteren Aufbereitung der sehr heterogenen Datenbasis wird eine Faktorenanalyse notwendig. Bei Betrachtung der gemessenen metrischen Daten ergeben sich stark unterschiedliche Dimensionen. Dies ist auch den Einheiten geschuldet, deutlich wird dies bspw. beim Vergleich der Werte des Reibbeiwertes ($0,016 < \mu < 0,46$) und des Volumens ($11,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 < V < 10,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$). Eine zusätzliche Unregelmäßigkeit bei der statistischen Auswertbarkeit der Daten entsteht durch den Umstand, dass gleichzeitig metrische Messwerte, als auch binäre Daten zur Auswertung vorliegen. Klassischerwei-

se liegen für eine Clusteranalyse lediglich Datenpakete aus einem der beiden Bereiche vor. Das Ziel der Faktorenanalyse soll es daher sein, eine gegebene Anzahl von Variablen (Merkmalen) mit redundanten Informationen auf wenige Faktoren, zu reduzieren [MAR99]. Diejenigen Variablen, die untereinander stark korrelieren, werden zu einem Faktor zusammengefasst. Damit erreicht man:

- eine gute Strukturierung der Merkmalsdaten;
- eine sinnvolle Gewichtung der Merkmale für die sich anschließende Clusteranalyse;
- und eine einheitliche Dimension der Merkmale.

Im Folgenden wird die allgemeine Vorgehensweise zur Durchführung der Faktorenanalyse kurz skizziert. Sie läuft nach folgendem allgemeinen Muster ab [MAR99]:

1. Berechnung einer Korrelationsmatrix aus standardisierten Ausgangsdaten
2. Berechnung der reduzierten Korrelationsmatrix mit den Kommunalitäten auf der Hauptdiagonalen
3. Extraktion der unabhängigen Faktoren
4. Ermitteln der Faktorenladung und Interpretieren der Faktoren
5. Bestimmen der Faktorwerte

3.1.1 VORBEREITENDE ARBEITEN

Nach der gestarteten Faktorenanalyse wechselt SPSS selbstständig in die Datenausgabenebene (Auswertung) über. Hier befinden sich die Tabellen deren Vorschau man vorgewählt hat. Eine Korrelationsmatrix veranschaulicht den linearen Zusammenhang zwischen den 18 Variablen mit Hilfe eines sogenannten Korrelationskoeffizienten. Die formelmäßigen Zusammenhänge sowie weitere mathematische Gütekriterien zur qualitativen Beurteilung der Faktorenanalyse wie das Kaiser-Meyer-Olkin-Maß (KMO) werden im Folgenden nicht näher erläutert. Hierbei handelt es sich um eine Maßzahl im Bereich von -1 bis +1. Ein Betrag des Korrelationskoeffizienten nahe 1 weist auf einen starken Zusammenhang hin. Es fällt auf, dass der Großteil der Variablen voneinander unabhängig ist. Ihr Korrelationskoeffizient liegt unterhalb von 0,5. Zur Beschreibung der Größe des Betrages der Korrelationskoeffizienten sind aus der Literatur folgende Abstufungen üblich [BÜH12]:

- $r \leq 0,2$ sehr geringe Korrelation
- $0,2 < r \leq 0,5$ geringe Korrelation
- $0,5 < r \leq 0,7$ mittlere Korrelation

- $0,7 < r \leq 0,9$ hohe Korrelation
- $r > 0,9$ sehr hohe Korrelation

Bei einzelnen Merkmalpaaren kann ein hoher bis sehr hoher Zusammenhang beobachtet werden:

- 0,838 zwischen Standfläche und Durchmesser
- 0,858 zwischen Anzahl der Ecken und Anzahl der Kanten
- 0,972 zwischen Länge und Durchmesser

3.1.2 GESAMTVARIANZ DER FAKTOREN

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Aufteilung der Gesamtvarianz unter den 18 möglichen Faktoren (Objekteigenschaften, s. 2.2). Aus der Literatur ist bekannt, dass bei Werten $\lambda > 1$ die Eigenwerte eine Signifikanz aufweisen, und mehr Informationen in sich tragen, als eine einzelne Variable (Merkmal) [BÜH12]. Darüber hinaus erklären die ersten fünf Faktoren bereits 70,7 % der Gesamtvarianz, was weit über der Hälfte liegt. Schlussfolgernd lassen sich 18 Objektmerkmale durch fünf Faktoren repräsentieren.

Tabelle 1. Erklärte Gesamtvarianz bei 18 Merkmalen/Faktore

Komponente	Anfängliche Eigenwerte		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %
1	4,786	26,588	26,588
2	3,640	20,222	46,810
3	1,584	8,797	55,607
4	1,537	8,538	64,145
5	1,178	6,545	70,690
6	,973	5,408	76,097
7	,835	4,640	80,737
8	,706	3,924	84,661
9	,605	3,360	88,021
10	,537	2,983	91,004
11	,423	2,348	93,352
12	,352	1,956	95,308
13	,291	1,619	96,927
14	,215	1,193	98,120
15	,155	,861	98,981
16	,108	,600	99,581
17	,058	,321	99,902
18	,018	,098	100,000

3.1.3 DIE ROTIERTE KOMONENTENMATRIX

In der nachfolgenden Tabelle 2 ist die rotierende Komponentenmatrix dargestellt. Eingetragen sind dort die sog. Faktorladungen, die jeweils einer Objekteigenschaft und einem extrahierten Faktor (s.o.) zugeordnet wurden. Die Faktorladung eines Merkmals beschreibt, wie stark dieses Merkmal mit einem Faktor korreliert. In der Literatur wird die Rotation als eine Methode beschrieben, die zur besseren Interpretation der Faktorladungen führt, Details sind dort zu entnehmen [BÜH12].

Tabelle 2. Rotierte Komponentenmatrix

	Komponente				
	1	2	3	4	5
Standfläche	,853	-,307	,136	-,198	,108
Durchmesser	,816	-,303	,143	-,190	,134
Länge	,782	-,406	,102	-,331	-,050
Standfläche/Standhöhe	,760	,291	,302	,043	-,075
Zirkularer Präzisionsgriff	,752	,308	,335	,014	-,068
Standhöhe	,631	,611	-,173	,241	-,015
Objektmasse	,598	,399	-,334	,275	,126
Objektvolumen	-,581	-,029	,264	-,178	-,191
Anzahl der Kanten	,260	,746	,340	,090	,011
Anzahl der möglichen Positionen	,057	,731	-,100	-,239	-,418
Einpresskraft	-,061	,722	,173	-,145	,262
Anzahl der Ecken	,265	-,707	,096	,457	,006
Reibbeiwert	,359	-,554	-,140	-,338	-,074
Prismatischer Kraftgriff	-,155	,294	-,188	,158	,287
Anzahl der Teile	-,287	-,071	,730	,094	-,074
Nachgiebigkeit	,352	-,098	-,473	,292	,069
Einfache Geometrie	,000	-,233	,347	,770	,047
Anzahl der Werkstoffe	-,198	,058	,151	-,251	,860

3.1.4 GESAMTVARIANZ DER FAKTOREN

Tabelle 3 zeigt anschaulich die Aufteilung der Objektmerkmale zwischen den Faktoren. Anhand der zugeordneten Objektmerkmale können die Faktoren nun inhaltlich interpretiert werden. Die Interpretation ist kompliziert und erfordert hinreichend Erfahrung, da sich nur schwer ein Oberbegriff finden lässt, der die einzelnen Merkmale trefflich in sich vereint. Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht darin, dass bei einigen Variablen die negative Faktorladung vom Absolutwert her größer ist als die Werte mit positiven Vorzeichen. Solche Variablen laden den Faktor negativ auf und sind in der Übersicht mit einem Minus gekennzeichnet:

Tabelle 3. Aufteilung der Objektmerkmale zwischen den Faktoren

Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
„Großflächig“	„Objektgröße“	„Starr“	„Einfacher Aufbau“	„Multimateriell“
Standfläche	Anzahl der Kanten	Anzahl der Teile	Einfache Geometrie	Anzahl der Werkstoffe
Durchmesser	Anzahl der möglichen Positionen	(-) Nachgiebigkeit		
Länge	Einpresskraft			
Standfläche/ Standhöhe	(-) Anzahl der Ecken			
Zirkularer Präzisionsgriff	(-) Reibbeiwert			
Standhöhe	Prismatischer Kraftgriff			
Objektmasse				
(-) Objektvolumen				

Gemäß den fünf extrahierten Faktoren (s.o.) wurden fünf neue Variablen generiert und in der Datenbank der SPSS zur weiteren Berechnung abgelegt. Pro Faktor wurde für jedes der 123 Greifobjekte ein spezifischer Faktorwert, der sog. Hauptkomponentenwert berechnet. Eine ausführliche Abhandlung hierzu findet sich bspw. in [BÜH12] bzw. [HES88] wieder. Ein hoher positiver Faktorwert bedeutet eine hohe Wertung oder Bejahung der in diesem Faktor enthaltenen Objektmerkmale. Andererseits bedeutet ein hoher Faktorwert die Verneinung der entsprechenden Objektmerkmale mit negativer Faktorladung.

3.1.5 BEWERTUNG DER FAKTORENANALYSE

Das Ergebnis der Faktorenanalyse führt zur notwendigen Reduktion der 18 Objektmerkmale (s. 2.2). Deren Beziehung zueinander war zunächst unbekannt. Durch die Faktorenanalyse wurden fünf Faktoren generiert, die bestimmte Objektmerkmale unterschiedlich stark in sich vereinen. Ein weiterer Vorteil der Faktorenanalyse ist der Wegfall der Notwendigkeit die metrischen Daten für die anstehende Clusteranalyse zu standardisieren. Ein mögliches Werkzeug hierfür ist bspw. die Varianzanalyse, die sich im Vorfeld der Arbeiten jedoch als untauglich erwiesen hat da die Dimensionierung der Objektmerkmale zu unterschiedlich ist. Mit der Faktorenanalyse wurde es darüber hinaus möglich, dass die metrischen und nominalen Daten gleichzeitig bei der Clusteranalyse berücksichtigt werden können.

3.2 CLUSTERANALYSE

Das Ziel der Clusteranalyse liegt in der Bildung von Gruppen oder sog. Clustern aus einer größeren Menge von Objektdaten. Durch das Zusammenfassen von sich ähnelnden Objekten zu einer Gruppe findet eine Reduktion der Datenmenge statt. Die gebildeten Cluster werden als eigenständige, neue Objekte betrachtet. Diese Methode wird oft bei der Auswertung von Umfrageergebnissen in geistes- oder sozialwissenschaftlichen Forschungsbereichen angewandt. Im hier vorliegenden Fall bestand zu Beginn der Arbeiten der Wunsch, aus der zunächst sehr unübersichtlichen Anzahl unterschiedlicher Greifartikel Ähnlichkeiten zu identifizieren. So sollte am Ende der Analyse der Anzahl und die individuelle Bestückung der einzelnen Cluster mit Kommissionierartikeln einen Aufschluss über deren Anforderungen an einen Universalgreifer geben können.

Aufgrund der vorliegenden Randbedingungen wird als eines von drei gängigen Clusteranalyseverfahren die *hierarchische Clusteranalyse* ausgewählt. Zu Beginn des Verfahrens bildet jedes Greifobjekt noch ein eigenes Cluster. Mit Hilfe verschiedener Algorithmen wird die gegebene Objektmenge fortlaufend miteinander fusioniert. Dieser Fusionsvorgang wird so lange fortgesetzt bis nur noch ein Cluster übrig bleibt. Man bezeichnet dies auch als ein agglomeratives Verfahren. Die Entscheidung welche Clusteranzahl zielführend ist, obliegt der Erfahrung des Anwenders.

Mit Hilfe der Näherungsmatrix aus SPSS gewinnt man einen ersten Eindruck über die Ähnlichkeit der Greifobjekte untereinander. In der Näherungsmatrix sind die Distanzmaße zwischen allen möglichen Objektpaaren abgebildet. Dabei gilt: Je größer der Wert, desto unähnlicher sind die verglichenen Greifobjekte. Bei dem ausgewählten Distanzmaß handelt es sich um einen quadrierten Euklidischen Abstand. Die Besonderheit dieses Maßes besteht darin, dass durch das Quadrieren die großen Differenzen stärker berücksichtigt werden. Die allgemeine Formel für

den p-dimensionalen Fall lautet mit den Randbedingungen für den vorliegenden Fall:

$$d_{j,k} = \sum_{i=1}^p (f_{i,j} - f_{i,k})^2 \wedge p = 5; 1 \leq j, k \leq 122; k \neq j.$$

Als Fusionierungsalgorithmus wurde die Einstellung "Linkage zwischen den Gruppen" gewählt. Hierbei ist die Distanz zwischen den einzelnen Clustern gleich dem Durchschnitt aus den Distanzen von allen möglichen Fallpaaren. Bei einem Fallpaar handelt es sich um zwei Objekte aus zwei verschiedenen Clustern, dessen Abstand zueinander gesucht ist. Somit wird die Information von allen theoretisch möglichen Distanzpaaren bei der Abstandsberechnung hinreichend berücksichtigt. Folgende Abbildung verdeutlicht diesen Zusammenhang:

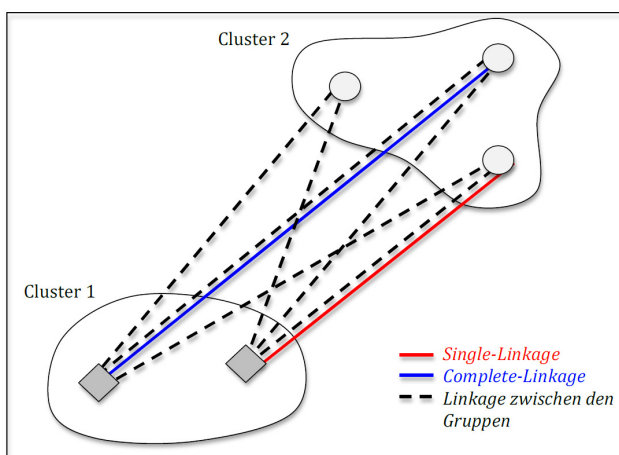


Abbildung 5. Schematische Darstellung der Fusionierung zweier Cluster

Die entscheidende Rolle bei einer Clusteranalyse spielt die Zuordnungsübersicht, die direkt aus SPSS importiert werden kann. Hieraus lassen sich sowohl die Reihenfolge der Clusterbildung als auch die optimale Clusteranzahl entnehmen. So sind im ersten Schritt zwei geometrisch fast identische Tuben Handcreme in einem Cluster zusammengefasst worden, was offensichtlich sinnvoll ist. Diese Gegenstände haben die kleinste Distanz zueinander und sind sich somit sehr ähnlich. Sie werden von nun an als eine Gruppe betrachtet. In anschließenden Schritten werden zu dieser Gruppe noch weitere Objekte der Gruppe hinzugefügt. Die Clusterbildung wird so lange fortgesetzt bis nur noch zwei Gruppen übrig bleiben, die im letzten Schritt fusioniert werden.

Eine grafische Visualisierung des Fusionsprozesses zwischen den Greifobjekten bietet ein Dendrogramm an. Die Entscheidung welche Clusteranzahl als günstigste Lösung anzunehmen ist, kann bspw. graphisch aus dem Dendrogramm ermittelt werden.

Nach hinreichender logischer Überprüfung der Clustergrößen einschließlich eines Vergleichs zwischen den ein-

zelnen Greifobjekten und ihrer Aufteilung auf die Cluster, wird die geeignete Clusteranzahl auf 13 festgelegt.

Man stellt fest, dass die Verteilung zwischen den Clustern sehr ungleichmäßig ist. Es gibt drei große Gruppen, die bereits 75 Prozent des Gesamtassortiments vertreten, während die restlichen Cluster nur wenige Objekte aufweisen. Die erste Gruppe (Cluster 1) beinhaltet 41 Gegenstände, die durch ihre quaderförmige Geometrie auffallen.



Abbildung 6. Artikelauswahl Cluster 1: "Die Quaderförmigen"

Die zweite Gruppe (Cluster 3) wird durch 37 runde Greifobjekte repräsentiert, bei denen die Flächen mit dem prismatischen Kraftgriff erfasst werden können.



Abbildung 7. Artikelauswahl Cluster 3 "Die Rundflächigen"

Die drittgrößte Gruppe (Cluster 6) besteht aus 14 Objekten. Diese sind flach und unnachgiebig und weisen ein geringes Volumen auf.



Abbildung 8. Artikelauswahl Cluster 6 "Die Flächen"

Auf diese drei größten Cluster folgen diverse kleinere Cluster mit elf bis einem Objekt. Insgesamt werden fünf ein-Objekt-Cluster gebildet. Diese werden als statistische Ausreißer betrachtet, da sie aufgrund ihrer einzigartigen Beschaffenheit den anderen Clustern nicht zuzuordnen sind was sich in einer starken Ausprägung eines bestimmten Merkmals äußert.

Folgende weitere Clusterbezeichnungen konnten gefunden werden:

- "Die Langen und Flächen" (Cluster 2)
- "Die Mehrteiligen, nachgiebig und unempfindlich" (Cluster 5)
- "Komplizierte Geometrie" (Cluster 8)
- "Keine Ecken - viele Kanten, viele Werkstoffe" (Cluster 10)
- "Mehrteilig und großvolumig" (Cluster 12)

4 ABLEITUNG DER GREIFERCHARAKTERISTIK ANHAND DER CLUSTER

Im Folgenden wird anhand der gebildeten 13 Cluster untersucht, welche Greifermerkmale man ausschließen kann, weil sie für den jeweiligen Einsatzfall ungeeignet sind. Dazu wurden die sechs größten Cluster in absteigender Reihenfolge (1, 3...10) aufgelistet und einer Bewertung unterzogen. Diese ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt:

Tabelle 4. Bewertung der sechs größten Objektcluster

Greifermerkmale		Cluster-Nr.					
		1	3	6	5	2	10
Wirkpaarung	kraftschlüssig	●	●	●	●	●	●
	formschlüssig	◐	◐	◐	◐	○	◐
	stoffschlüssig	○	○	○	○	○	○
Art des Greiforgans	Fingergreifer	●	●	●	●	●	●
	Klemmgreifer	○	◐	◐	○	○	○
	Zangengreifer	◐	●	●	●	◐	◐
	Haftgreifer/ Vakuumbreifer	●	◐	◐	◐	◐	○
Zugriffsart	außen	●	●	●	●	●	●
	innen	○	○	○	○	○	○
	zwischen	○	○	○	○	○	○
Legende		●=möglich	◐=teilweise möglich	○=nicht möglich			

Es wird deutlich, dass die nach dem Prinzip der Stoffpaarung arbeitenden Greifer für die Handhabung der Gegenstände in den aufgeführten Clustern gänzlich ungeeignet sind, da i.d.R. eine notwendige Benetzung der Oberfläche nur unzureichend möglich ist. Die Innengreifer sind ebenfalls auszuschließen, weil die Greifobjekte die dazu erforderlichen geometrischen Bedingungen nicht erfüllen. Der Einsatz von Klemmgreifern ist nur bedingt bei dem Cluster 3 und 6 möglich, da eine Beschädigung bei federbelasteten oder gewichtsbelasteten Greifern möglich und daher unvorteilhaft wäre. Zudem ist insbesondere bei Cluster 3 aufgrund der zylinderförmigen, glatten Geometrie ein sicherer Zugriff bei den typischerweise eingesetzten zwei Backen bei Klemmgreifern nur schwer zu realisieren.

Die Haftgreifer decken einen Großteil der Objekte ab, stoßen jedoch bspw. beim Cluster 10 an ihre Grenzen, weil die in diesem Cluster befindlichen Objekte aufgrund der komplexen Geometrie und des Werkstoffmix keine zuverlässige Haftunterlage gewährleisten können.

Bei allen untersuchten Objekten stellen sich die kraftschlüssigen Zangengriffe und Fingergriffe als geeignete Möglichkeiten heraus, wobei der Fingergreifer als einziges Greifertyp ohne Einschränkungen für alle Greifobjekte nutzbar ist. Darüber hinaus ist als weitere Erkenntnis die Zugriffsart von außen ohne Einschränkungen exklusiv anwendbar.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die mit der Clusteranalyse gewonnenen Erkenntnisse bilden eine Grundlage für die Konzeption und Entwicklung eines Greifersystems, das in der Lage ist, selbstständig die Kommissionieraufgaben gemäß Aufgabenstellung zu übernehmen. Da wie eingangs beschrieben die Frage des Greifprinzips ein Wesentliches ist und dies überwiegend

gend durch die Greifobjekte entschieden wird, lohnt eine eingehende Analyse jener.

Die Ausgangsbasis für diese Arbeit bildete die ausführliche Charakterisierung von 123 Greifobjekten anhand von 18 Greifmerkmalen. Diese Merkmale bestehen aus metrischen und nominalen Objekteigenschaften, und sind für den Greifprozess signifikant, da sie die Greifobjekte hinreichend gut beschreiben. Die gesammelten Informationen (Messwerte bei den metrischen Daten, ja/nein-Abfrage bei nominalen Daten) bildet die anfängliche Datenbasis. Aufgrund dieser sehr heterogenen Datenstruktur wurde vorab die Notwendigkeit zur Durchführung einer Faktorenanalyse offensichtlich.

Im Ergebnis konnten fünf interpretierbare und verbal benennbare Faktoren gebildet werden, die die 18 Objektmerkmale unter sich aufteilen. Diese Faktoren bilden eine neue Datenbasis für die darauffolgende hierarchische Clusteranalyse. Als Ähnlichkeitsmaß zwischen den Greifobjekten wird die quadrierte Euklidische Distanz gewählt und im Programm berechnet. Die im Anschluss stattfindende Fusionierung zu den Clustern findet nach dem Prinzip Linkage zwischen den Gruppen statt. Die geeignete Clusteranzahl für die 123 untersuchten Greifobjekte beträgt 13. Die mengenmäßige Aufteilung der Objekte unter den Clustern ist sehr unregelmäßig, so repräsentieren bereits die drei größten Cluster 75% aller Objekte. Diese sind quaderförmig, zylinderförmig sowie flach und unnachgiebig.

Weiterhin wurde eine Charakterisierung des erforderlichen Greifers bzw. eine Überprüfung der Annahme vorgenommen, welche den Fingergreifer als den optimalen Greifertyp für den Anwendungsfall ausweist. Hierzu wurde die Anwendbarkeit von bestimmten Greiforganen, Wirkpaarungen und Zugriffsarten für die Handhabung von den Gegenständen in den jeweiligen Clustern überprüft. Nach Abschluss der Bewertung konnte die oben formulierte Vermutung bestätigt werden, dass der Fingergreifer auf alle gefundenen Cluster, und damit auf alle untersuchten Greifartikel anwendbar ist.

Schlussfolgernd kann man festhalten, dass die Clusteranalyse der Greifobjekte trotz dünner Literaturbasis für den Anwendungsfall "gleichzeitige Verwendung metrischer und nominaler Daten" erfolgreich durchgeführt werden konnte. So konnten schon früh mittels der Faktorenanalyse sinnvolle Zusammenhänge und Gemeinsamkeiten zwischen den Greifobjekten mittels der errechneten Faktoren gefunden werden. Abschließend konnten mit der Clusteranalyse nachvollziehbare Cluster gebildet werden. Ferner konnte gezeigt werden, dass die Artikel so unterschiedlich in ihrer Beschaffenheit sind, dass 13 Cluster bei 123 untersuchten Artikeln von Nöten sind, um diese sinnvoll zu gruppieren. Sie sind daher eben nicht hinreichend ähnlich genug für einen Standardgreifer - sowohl von ihrer Gestalt als auch von ihren Oberflächeneigenschaften aus betrach-

tet. Der Einsatz eines universellen Greifprinzips ist daher angezeigt.

Die Clusteranalyse ist damit ein interessantes Verfahren zur systematischen Untersuchung von Objekten, die auf einer verschiedenartig belastbaren Datenbasis beruhen. Bei entsprechendem Umgang mit den Daten ist sie somit auch für technische Belange brauchbar. Für zukünftige Betrachtungen wird eine Erhöhung der Genauigkeit der Ergebnisse darin gesehen, dass ausschließlich metrische, also reine Messdaten, zur Analyse verwendet werden.

LITERATUR

- [BÜH12] Bühl, Achim: *SPSS 20 - Einführung in die moderne Datenanalyse*. 13. Auflage, Pearson Verlag, München, 2012
- [DGU09] Wakula, Juri et al.: *BGIA Report 3/2009 - Der montagespezifische Kraftatlas*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Berlin, 2009
- [HES98] Hesselmann, Ulrich: *Werkstückanalyse auf Basis multivariater statistischer Verfahren*. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2: Fertigungstechnik, VDI Verlag, Düsseldorf, 1988
- [MAR99] Martens, Jul: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1999
- [PIE12] Piepenburg, Björn: *Geometrieunabhängige automatisierte Kommissionierung mithilfe von industrieller Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz*. Dissertation, Helmut Schmidt Universität, Shaker Verlag Aachen, 2012
- [WOL04] Wolf, Andreas; Steinmann, Ralf: *Greifer in Bewegung*. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2004

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

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