

Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit von komplexen Greifprozessen in der Logistik

Method to evaluate the reliability of complex gripping processes in logistics

*Stephan Ulrich
Jan Isermann
Rainer Bruns
Christopher Klitsch
Ilja Dick*

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

Die Anforderungen an zuverlässige automatische Greifsysteme in der Logistik unterscheiden sich fundamental von denen in der Produktion. Statt vielfach gleiche Produkte unter vorhersagbaren Bedingungen zu greifen, müssen im logistischen Umfeld unterschiedlichste Produkte bei variierenden Umgebungsbedingungen gegriffen werden. Diese komplexe Aufgabe erfordert eine systematische Vorgehensweise bei der Planung und Entwicklung von Greifsystemen, die neben dem reinen physischen Greifen auch alle anderen Prozessschritte, wie z.B. das Erkennen von Objekten und die Greifregelung mitberücksichtigt. In dem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, mit der die einzelnen Schritte des Greifprozesses analysiert und statistisch untersucht werden können, um damit die Zuverlässigkeit des eingesetzten Systems für die jeweilige Greifaufgabe quantitativ angeben zu können. Beispielhaft wird die Greifzuverlässigkeit für einen Greifprozess mit einem elastischen Dreifingergreifer bestimmt. Dabei handelt es sich um eine mögliche Greifer-Konfiguration aus dem universellen Greifer-Baukasten, der speziell für den Einsatz in der Intralogistik am Lehrstuhl entwickelt wird. Ziel ist es einerseits, dem Anwender eine Beurteilung des Systems zu ermöglichen und dieses mit anderen vergleichen zu können. Andererseits können dadurch bei der Entwicklung von Greifern systematisch Schwachstellen erkannt werden. Die jeweiligen Prozessschritte können zielgerichtet verbessert und die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Greifsystems ermittelt werden.

[Greifen, Greifsicherheit, Greifzuverlässigkeit, Handhabung, elastische Greifer]

The requirements for reliable automatic gripping systems in logistics are fundamentally different from those in production. Instead of using the same products under predictable conditions, different products have to

be used in the logistical environment under varying ambient conditions. This complex task requires a systematic approach in the planning and development of gripping systems. In addition to pure physical gripping, this also includes all other process steps, such as recognition and gripping control. In this paper, a method is presented to analyze the individual steps of the gripping process statistically. This makes it possible to specify quantitatively the reliability of the system used for the respective gripping task. As an example, the gripping reliability for a gripping process is determined using an elastic universal gripping system developed at the chair. The goal is, on the one hand, to enable the user to make an assessment of the system and to compare it with others. On the other hand, systematic weak points can be detected during the development of a gripping system. The respective process steps can be improved in a targeted manner and the effects on the reliability of the gripping system can be determined.

[Keywords: Gripping, gripping safety, gripping reliability, handling, elastic grippers]

1 EINLEITUNG

Der Bedarf an Greifsystemen, mit denen unterschiedliche Produkte sicher und schonend automatisch gegriffen werden können, wird sich in den kommenden Jahren deutlich erhöhen. Ein Beispiel ist der wachsende Onlinehandel. In den Versandzentren ist der Kommissionierprozess, also das Greifen der Produkte aus einem Regal oder Kiste und das anschließende Verpacken, vielfach der letzte manuell durchgeführte Arbeitsvorgang. Ein Grund für die geringe Automatisierung dieses Bereiches ist das Fehlen eines geeigneten universellen und flexiblen Greifsystems, das den Anforderungen der Intralogistik gerecht wird.

Die Entwicklung von Greifern ist bisher insbesondere durch Anforderungen der Produktion getrieben, wo gleiche Produkte mit hohen Wiederholungsraten präzise gehandhabt werden müssen. Die Greifer sind daher auf die jeweiligen Produkteigenschaften abgestimmt. Wird das Produkt oder der Produktionsprozess verändert, muss auch das Greifsystem umgebaut oder ausgetauscht werden. Sollen jedoch, wie beispielsweise in der Intralogistik, unterschiedliche Produkte von einem Greifsystem gehandhabt werden, versagen diese Greifer häufig. Komplexere Greifsysteme, wie Nachbildungen der menschlichen Hand aus dem Forschungsumfeld, sind für den praktischen Einsatz aufgrund ihrer Komplexität und der damit verbundenen Fehleranfälligkeit ungeeignet.

Für die Auslegung und Auswahl von Greifern zur Handhabung gleicher Produkte genügt es bisher, den Greifvorgang isoliert zu betrachten und beispielsweise die benötigte Greifkraft für ein bestimmtes Objekt zu berechnen und einen hinreichend starken Greifer auszuwählen. Für die Konzeption eines universellen Greifsystems benötigt man hingegen ein anderes Vorgehen, das es erlaubt, den gesamten Handhabungsvorgang systematisch analysieren zu können. Die alleinige Bestimmung der erforderlichen Greifkraft lässt noch keine Rückschlüsse zu, ob das Greifsystem alle Produkte unter den möglichen Lage- und Umgebungsbedingungen automatisch greifen kann. Vielmehr müssen auch weitere Prozessschritte wie das Erkennen, die Ortung, die Greifregelung usw. berücksichtigt werden. Ein Beispiel ist der viel zitierte „Griff in die Kiste“, bei dem verschiedene Produkte, die lose und chaotisch geschüttet in einer Kiste liegen, automatisch gegriffen werden sollen. Die reine Fähigkeit eines Greifers, die Produkte anheben zu können, ist nur eine Voraussetzung, die für das erfolgreiche autonome Herausnehmen der Produkte aus der Kiste erforderlich ist.

2 GREIFSICHERHEIT UND GREIFZUVERLÄSSIGKEIT

2.1 GREIFSICHERHEIT

Für die Beurteilung, Auswahl und Konstruktion von Greifern wird bisher unter anderem die so genannte Greifsicherheit verwendet. Diese ist in der DIN EN ISO 14539 definiert und berücksichtigt technische Aspekte des Greifens, wie die Fehlersicherheit der Komponenten, die Selbsthaltefunktion sowie die Selbsthemmung und Vermeidung unsicheren Greifens [DIN01]. Hesse [HES11] verwendet einen Sicherheitsfaktor S für das Greifen als Verhältnis der ausgeübten Greifkraft F_G zur notwendigen Greifnormalkraft F_N :

$$S = \frac{F_G}{F_N}$$

Dabei wird, beispielhaft für einen Klemmgreifer, die notwendige Greifkraft aus der Gewichtskraft G und dem Reibwert μ ermittelt (vgl. Abb.1):

$$F_G = F_1 = F_2 = \frac{G}{2\mu}$$

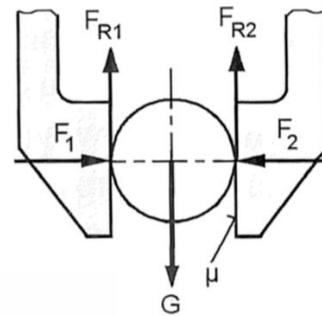


Abbildung 1. Kräfte an einem Parallelgreifer [HES11]

2.2 BEGRIFF DER ZUVERLÄSSIGKEIT

Zur Betrachtung des gesamten Handhabungsvorganges ist eine Erweiterung des Begriffes der Greifsicherheit notwendig. Hierfür wird die **Greifzuverlässigkeit** vorgeschlagen, die eine quantitative Aussage darüber erlaubt, mit welcher Wahrscheinlichkeit der betrachtete Handhabungsprozess erfolgreich durchgeführt wird.

Die Zuverlässigkeit wird im VDI als Oberbegriff für Funktionszuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit, Verfügbarkeit einschließlich Mensch, Organisation, Technik, Umwelt angewendet [VDI07]. Das DIN-Institut definiert die Zuverlässigkeit als: „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen die Zuverlässigkeitsforderung zu erfüllen“ [DIN90]. Die Zuverlässigkeit beschreibt somit die Sicherstellung der richtigen Durchführung eines vorgesehenen Prozesses. Im Folgenden wird dies auf den Handhabungsprozess übertragen und angewandt.

2.3 DEFINITION DER GREIFZUVERLÄSSIGKEIT

Ein beliebiger Handhabungsvorgang wird zunächst als Folge von Teilprozessen betrachtet. Die Anzahl der Teilprozesse sowie deren mögliche Ausprägungen sind durch die *Handhabungsaufgabe* zu definieren. Diese kann nur aus wenigen einfachen Schritten bestehen, beispielsweise wenn in einer Produktionslinie ein immer gleiches Objekt, sobald es am Entnahmepunkt auftaucht, gegriffen und an

einem festen Ort abgelegt werden soll. Für das Beispiel des autonomen Kommissionierens unterschiedlicher Produkte können die Teilprozesse jedoch auch sehr zahlreich und komplex sein.

Durch die Handhabungsaufgabe ist auch das Greifobjekt beschrieben. Bei dem Greifobjekt kann es sich um ein klar definiertes Produkt handeln, das eine immer gleiche Kontur, Gewicht und Oberfläche hat, wie beispielsweise ein Buch. Es können aber auch Abweichungen in den Objekteigenschaften zugelassen werden, wie z.B. bei Äpfeln. Hierunter fallen alle greifrelevanten Objekteigenschaften wie Größe, Gestalt, Gewicht, Oberfläche, Verformbarkeit, Farbe usw.

Die möglichen Teilprozesse der Handhabungsaufgabe können sein:

1. *Übermittlung des Greifauftrages P_1* : Über eine Schnittstelle wird dem Greifsystem ein Handhabungsauftrag mitgeteilt.
2. *Objektidentifikation P_2* : Das zu greifende Objekt wird beispielsweise über einen Scanner oder ein Kamerasystem identifiziert.
3. *Lokalisierung P_3* : Die Lage und Ausrichtung des Objektes wird ermittelt, um daraus die Zugriffsposition zu berechnen. Dabei muss berücksichtigt werden, ob das Objekt frei zugänglich oder verdeckt ist.
4. *Bewegung in die Zugriffsposition P_4* : Das Handhabungssystem, das z.B. aus Knickarmroboter und Greifer bestehen kann, wird aus der Startposition in die Zugriffsposition geführt. Hierbei müssen die Bewegungsbahnen nach der Zugänglichkeit des Objektes berechnet werden.
5. *Herstellung des Greifzustandes P_5* : Das Handhabungssystem stellt über eine Ansteuerung der Greifaktoren den Greifzustand her. Dies kann gesteuert geschehen oder durch eine Regelung, die über sensorielles Feedback reaktives Greifen ermöglicht. Insbesondere die Eigenschaften des Greifobjektes, wie Nachgiebigkeit, Größe, Form und Gewicht haben Einfluss auf diesen Prozessschritt.
6. *Bewegung in den Zwischenzustand P_6* : Das Handhabungssystem bewegt das Objekt vom Zugriffszustand in den Zwischenzustand. Dies kann z.B. eine Position sein, an der das Produkt ein Label bekommt. Bei der Bewegung wirken Beschleunigungskräfte auf das

Objekt, die berücksichtigt werden müssen. Auch muss die Bewegungsbahn derart berechnet werden, dass es zu keinen Kollisionen kommt.

7. *Zusatzprozess P_7* : Das Objekt kann im Zwischenzustand z.B. ein Label erhalten, geprüft oder anderweitig manipuliert werden. Dazu muss das Objekt definiert ausgerichtet werden. Auch ein Umgreifen kann erforderlich sein.
8. *Bewegung in die Ablageposition P_8* : Das Objekt wird in die Ablageposition bewegt.
9. *Ablegen P_8* : Das Objekt wird an dem vorgesehenen Ort und in der gewünschten Ausrichtung abgelegt.

Diese Aufzählung verdeutlicht, dass das sichere Greifen nur ein Aspekt für die Erfüllung der Handhabungsaufgabe ist. Eine Aussage über die Eignung des Gesamtsystems ist nur möglich, wenn all diese Schritte analysiert und beurteilt werden können.

Definiert man nun die *Greifzuverlässigkeit G als Wahrscheinlichkeitswert, mit der die Handhabungsaufgabe erfolgreich ausgeführt wird*, kann diese als Produkt aus den Einzelwahrscheinlichkeiten für die korrekte Abarbeitung der Teilprozesse P_i ermittelt werden:

$$G = \prod_i^n P_i.$$

Dabei steht der Index i für die Nummer und n für die Anzahl der Teilprozesse. Wird ein Teilprozess nie korrekt ausgeführt, beispielsweise weil das Objekt nicht lokalisiert werden kann, nimmt P_3 den Wert Null an, wodurch auch die Greifzuverlässigkeit zu null wird. Wird ein Teilprozess hingegen mit 100%iger Wahrscheinlichkeit richtig ausgeführt, wird das entsprechende P_i zu eins. In diesem Fall ist die Zuverlässigkeit des Gesamtprozesses nicht negativ beeinflusst. Ebenso können diejenigen Teilprozesse mit dem Wert eins belegt werden, wenn sie in der betrachteten Handhabungsaufgabe nicht vorkommen.

2.4 BESTIMMUNG DER GREIFZUVERLÄSSIGKEIT

Die Ermittlung der Einzelwahrscheinlichkeiten kann beispielsweise mithilfe von Beobachtungen des Systems im Realbetrieb oder Experiment erfolgen. Hierbei wird aufgezeichnet, wie oft die einzelnen Schritte erfolgreich bzw. nicht erfolgreich ausgeführt wurden. Dabei müssen die Experimente ausreichend oft wiederholt werden, um statistisch gesicherte Aussagen zu erhalten. Hilfreich für die Beurteilung der benötigten Versuchsanzahl kann die

Bestimmung von Konfidenzintervallen und Varianzen sein [ARN09, SIE10]. Die Ergebnisse geben nicht nur Auskunft über die Zuverlässigkeit des Gesamtprozesses, sondern es können auch direkt die Schwachstellen in der Prozesskette erkannt werden.

Nun ist es nicht immer möglich ein System hinreichend im realen Betrieb zu beobachten. Sei es, weil die notwendigen Beobachtungszeiten zu lang wären oder weil es das System so noch nicht gibt. Hier bietet es sich an, die Teilprozesse möglichst unabhängig voneinander zu untersuchen. Dabei können Methoden der statistischen Versuchsplanung genutzt werden [VDI97, SIE10], um mit einer möglichst geringen Anzahl von Experimenten statistisch gesicherte Aussagen zu erhalten und die wesentlichen Einflussgrößen auf die Ergebnisse zu extrahieren.

Nach der genauen Prozessbeschreibung werden dabei diejenigen Teilprozesse ausführlicher betrachtet, die für das Ergebnis als besonders signifikant einzustufen sind und deren Einflussparameter die größten Variationen aufzeigen.

Als Beispiel sei angenommen, dass unterschiedliche Schrauben von einem Greifsystem automatisch gegriffen und in einen Behälter abgelegt werden sollen. Der Greifer wird als gegeben betrachtet. Die Teilprozesse *Objektidentifikation*, *Lokalisierung* und *Herstellung des Greifzustandes* werden als kritisch eingeschätzt und sollen zunächst unabhängig voneinander untersucht werden. Als Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Erfolgswahrscheinlichkeit für die *Herstellung des Greifzustandes* können nun die Schrauben an immer dem gleichen Ort platziert werden und der Greifvorgang kann ohne Objektidentifikation und Lokalisierung von einem konstanten Zugriffspunkt erfolgen. Der einzige verbleibende variable Parameter, die Schraubensorte, muss dann entsprechend der zu erwartenden statistischen Verteilung variiert werden. Die statistische Verteilung der unterschiedlichen Objekte ist ein wesentlicher Parameter, der durch die Handhabungsaufgabe definiert sein muss und für den dann die so ermittelte Greifzuverlässigkeit gilt. In weiteren Schritten können dann isoliert die weiteren kritischen Teilprozesse untersucht werden. Die faktorielle Zusammenfassung der Ergebnisse ermöglicht abschließend die Angabe der Zuverlässigkeit für diese Greifaufgabe und ermöglicht direkt die Analyse der Schwachstellen.

Selbstverständlich ist es praktisch nicht immer mögliche die einzelnen Prozesse isoliert voneinander zu untersuchen. Hier ist eine Zusammenfassung der Teilprozesse zu einem Parameter möglich.

Zudem bietet es sich insbesondere im Entwicklungsprozess an, bestimmte Versuche simulativ durchzuführen, wie das Greifen unterschiedlicher Produkte durch eine Mehrkörpersimulation [ISE16].

3 BEISPIEL FÜR DIE BESTIMMUNG DER GREIFZUVERLÄSSIGKEIT

An einem Beispiel soll die praktische Ermittlung der Greifzuverlässigkeit im Folgenden demonstriert werden. Dafür wird ein elastischer Dreifingergreifer verwendet. Dieser ist aus Elementen des elastischen universellen Greiferbaukastens zusammengesetzt, der am Lehrstuhl für die universelle Handhabung von Produkten in der Logistik entwickelt wird. Die Funktionsweise und Eigenschaften des Systems werden zunächst kurz beschrieben.

3.1 GREIFERBAUKASTEN FÜR UNIVERSELLES GREIFEN

Mit dem Greiferbaukasten können elastische Greifer einfach den Anforderungen entsprechend konfiguriert werden (Abb. 2 und 3). Die elastischen Elemente sind dabei derartig geformt, dass sie bei Veränderung des Innendruckes eine gewünschte Bewegung ausführen und beispielsweise eine Greifkraft aufbringen können [ULR12, ISE14]. Dadurch kommen sie im Gegensatz zu klassischen Greifern ohne Gelenke oder kraftübertragende Seilführungen aus und sind deutlich leichter. Die Elemente lassen sich aufgrund eines standardisierten Anschlusses leicht zu unterschiedlichsten Greifern oder Multi-Aktorsystemen kombinieren.

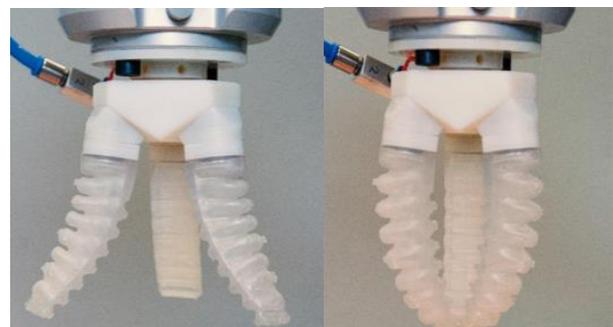


Abbildung 2. Elastischer Dreifingergreifer unter Vakuum (links) und Überdruck (rechts)

Das System besteht aus Biege-, Längungs- und Greifaktoren, die über eine standardisierte Bajonettkupplung mitei-

nander verbunden werden können. Mit Anschlusselementen und Greiferbasen können sie beliebig zu verschiedenen Greif- oder Handhabungssystemen kombiniert werden (Abb. 3, 4, 5). Dabei hat sich bei den Versuchen die besondere Eignung der weichen Oberflächen herausgestellt. Diese ermöglichen die Handhabung auch sehr empfindlicher Objekte und das sichere Greifen komplexer Geometrien.

Neben der großen Anzahl unterschiedlicher Greiferkonfigurationen ist das System auch hinsichtlich der Kraftbereiche und der Baugröße sehr gut skalierbar. Durch

Verwendung unterschiedlich harter Elastomere können sehr feinfühligere Greifer für die schonende Handhabung leichter Produkte aber auch sehr starke Greifer aus harten Elastomeren hergestellt werden. Die Kraftdichte, also die erzeugbare Greifkraft im Verhältnis zum Greifergewicht, ist dabei deutlich höher als bei konventionell elektrisch angetriebenen Greifern. Dies ermöglicht die Herstellung sehr kleiner und leichter Greifer, die dennoch schwere Produkte anheben können, so dass sie beispielsweise für unterstützende Arbeiten mit dem Menschen eingesetzt werden können.

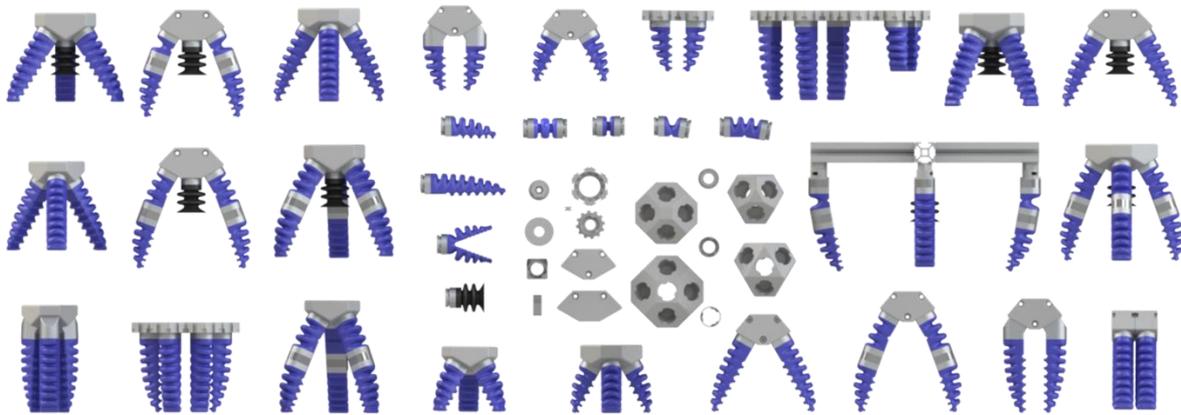


Abbildung 3. Elemente und Konfigurationen des elastischen Greifer-Baukastens [soft-gripping.com]

Die weichen Oberflächen erlauben einen schonenden Griff, verzeihen Positioniergenauigkeiten des Greifers zum Objekt und ermöglichen die gefahrlose Interaktion mit dem Menschen. Die Nutzung von lebensmittelechten Silikonen und das leicht zu reinigende Design ermöglichen zudem den Einsatz in hygienisch sensiblen Bereichen.



Abbildung 4. Adaptierbare Greifer-Konfiguration



Abbildung 5. Greifbeispiel mit elastischem Dreifingergreifer

3.2 EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER GREIFZUVERLÄSSIGKEIT

Die Handhabungsaufgabe für dieses Beispiel besteht darin, mit dem entwickelten elastischen Dreifingergreifer eine Kaugummidiase automatisch zu greifen und in einem Behälter abzulegen (Abbildung 6). Dabei soll insbeson-

dere die Robustheit des Greifsystems auf Positioniergenauigkeiten untersucht werden [MAS16]. Der Begriff Robustheit beschreibt in diesem Zusammenhang die Toleranz des Systems, trotz Abweichungen in der Positionierung und Ausrichtung des Objektes, sicher zuzugreifen.

Im Fokus steht also die Bestimmung der Erfolgswahrscheinlichkeit für die *Herstellung des Greifzustandes* P_5 .



Abbildung 6. Nicht zentral gegriffene Kaugummidose

Die weiteren Teilprozesse sind bei dieser Handhabungsaufgabe entweder nicht vorhanden, wie die Identifikation und Lokalisierung oder werden bei der Durchführung der Experimente so weit möglich konstant gehalten. Diese Wahrscheinlichkeitsparameter P_i können somit bei der Bestimmung der Greifzuverlässigkeit für diese spezielle Handhabungsaufgabe zu eins gesetzt werden.

Für den Versuch wird der elastische Dreifingergreifer an einem Knickarmroboter befestigt, der mit einer fest vorgegebenen Bahn wiederholt denselben Greifpunkt ansteuert. An dem Greifpunkt wird durch Druckerhöhung in allen drei Fingern die Greifbewegung ausgelöst. Nach dem Greifen bewegt der Roboter das Objekt zu dem Abgabepunkt, wo das Objekt anschließend abgelegt wird. Variiert wird bei den Experimenten nur die Positionierung des Greifobjektes auf der ebenen Fläche relativ zum Greifzentrum.

Hierzu wird eine Fläche in jeweils 15x15 Kästchen mit einer Kantenlänge von 5 mm unterteilt (vgl. Abbildung 7). Das Greifobjekt wird dann wiederholt auf eines dieser Kästchen gestellt und der Handhabungsvorgang gestartet.

Der Greifer ist dabei immer zentrisch über dem mittleren Kästchen ausgerichtet. Beobachtet wird nun, ob das Objekt gegriffen und hochgehoben werden kann.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse für die Wahrscheinlichkeiten des erfolgreichen Greifens für jedes einzelne Kästchen $p_{5,ij}$ dargestellt. Die Indizes i und j stehen für die Nummer des Kästchens in horizontaler bzw. vertikaler Ausrichtung. Der Index 5 referenziert den Prozess *Herstellung des Greifzustandes*.

Im rot dargestellten Außenbereich konnte das Objekt nie gegriffen werden, in den grün dargestellten Bereichen hingegen liegt die Erfolgswahrscheinlichkeit bei 100 %.

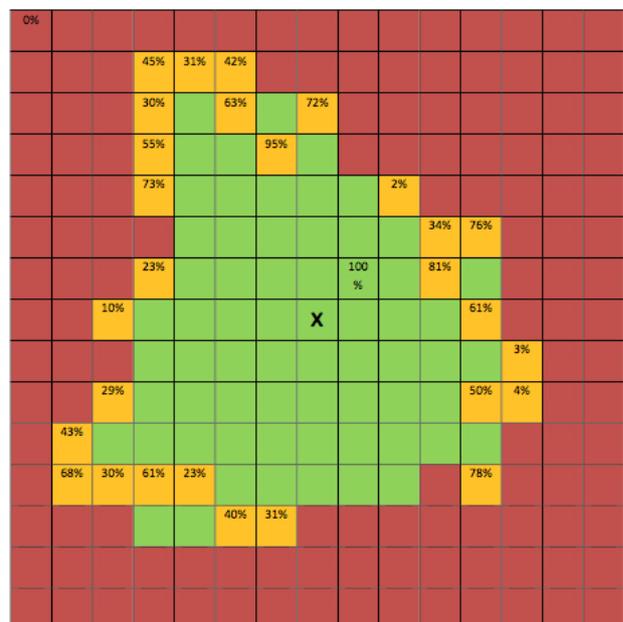


Abbildung 7. Darstellung der Positionierfläche mit den Erfolgswahrscheinlichkeiten für das sichere Greifen

Die Anzahl der durchgeführten Versuche pro Kästchen variiert von mindestens 20 bis zu 91 Wiederholungen. Die Versuche wurden jeweils abgebrochen, wenn die Standardabweichung der Ergebnisse unter 1 % gefallen ist.

Auffallend ist, dass trotz des zentrischen Griffes des Dreifingergreifers und der Zylinderförmigkeit des Objektes keine um das Griffzentrum orientierte Symmetrie zu erkennen ist (vgl. Abbildung 7). Dies liegt an den leichten nichtsymmetrischen Hinterschneidungen des Deckels der Kaugummidose (vgl. Abbildung 6), an denen in bestimmten Positionen die Rippen des Greiffingers hängen bleiben und ein Greifen ermöglichen.

Die Abbildung 7 verdeutlicht auch vorteilhaft die Robustheit des Greifers bezüglich Positioniergenauigkeiten des Greifobjektes im Zugriffszustand im Gegensatz zu konventionellen Parallelgreifern. Dies wird insbesondere durch die elastischen Greiffinger ermöglicht.

Soll nun schlussendlich aus diesen Versuchsergebnissen die Erfolgswahrscheinlichkeit für den Teilprozess *Herstellung des Greifzustandes* P_5 sowie die Greifzuverlässigkeit G bestimmt werden, müssen die durch die Greifaufgabe spezifizierte Verteilungsfunktion für die Positionierung des Greifobjektes auf dieser Fläche verwendet werden. Diese kann sich beispielsweise aus dem Anwendungsfall ergeben und durch Beobachtung festgestellt werden. Häufig kann hier eine Normalverteilung um das Greifzentrum angenommen werden.

Die Erfolgswahrscheinlichkeit für diesen Teilprozess kann dann aus den Einzelwahrscheinlichkeiten $p_{5,ij}$ und der Positionierwahrscheinlichkeit für jedes Kästchen x_{ij} entsprechend der zugrunde liegenden Verteilungsfunktion ermittelt werden:

$$P_5 = \sum_i \sum_j p_{5,ij} x_{i,j}.$$

Für dieses Beispiel erhält man für den Spezialfall einer Gleichverteilung der Positionierung des Objektes über die Fläche von $7,5 \times 7,5 \text{ cm}^2$ die Erfolgswahrscheinlichkeit und die Zuverlässigkeit $G = P_5 = 0,35$. Durch Erhöhung der Positioniergenauigkeit ist nun direkt berechenbar, in welchem Maße sich die Greifzuverlässigkeit des Gesamtprozesses ändert, ohne dass neue Versuche durchgeführt werden müssen. Wird sichergestellt, dass das Greifobjekt nicht weiter als $1,5 \text{ cm}$ vom Greifzentrum platziert ist, wird eine 100%ige Greifzuverlässigkeit erreicht.

Ist es aus praktischen Gründen nicht möglich, die Positioniergenauigkeit zu erhöhen, könnte der Einsatz eines anderen Greifers, der eine noch höhere Robustheit gegenüber Positioniergenauigkeiten aufweist, zu einer Verbesserung der Zuverlässigkeit führen. Dieses Vorgehen eignet sich somit sehr gut, um auch verschiedene System- oder Prozesskonfigurationen miteinander vergleichen zu können.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde eine Methode für die quantitative Bestimmung der Greifzuverlässigkeit vorgestellt. Hierunter wird die Wahrscheinlichkeit für die erfolgreiche

Erfüllung einer Handhabungsaufgabe verstanden. Diese Definition ist eine Erweiterung des Greifsicherheitsbegriffes, der das reine Greifen eines Objektes als Kern hat, auf den Gesamtprozess der Handhabung.

Die Methode ermöglicht einerseits dem Anwender verschiedene Greifsysteme und Prozesse miteinander zu vergleichen und andererseits den Einfluss von Systemänderungen auf die Zuverlässigkeit abzuschätzen. Gerade für universelles Greifen mit seiner hohen Prozesskomplexität, kann diese Methode ein hilfreiches Werkzeug bei Entwicklung und Analyse sein.

Beispielhaft wurde die Bestimmung der Greifzuverlässigkeit für eine einfache Greifaufgabe dargelegt, die mit einem elastischen Dreifingergreifer durchgeführt wurde. Dieser besteht aus Elementen des am Lehrstuhl entwickelten Baukastensystems für das universelle Greifen in der Intralogistik.

In weiteren Schritten soll die Methodik auch auf komplexere Greifprozesse angewandt und erweitert werden, um hiermit ein möglichst praktikables Werkzeug für die Entwicklung, Analyse und Auswahl von universellen Greifsystemen zur Verfügung zu stellen.

LITERATUR

- [ARN09] Arnold, D.; Furmans, K.: *Materialfluss in Logistiksystemen*, Springer, Berlin Heidelberg, 2009.
- [DIN01] Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 14539: Industrieroboter: Werkstückhandhabung mit Fingergreifern*. Beuth Verlag, Hamburg, 2001
- [DIN90] Deutsches Institut für Normung: *DIN 40041: Zuverlässigkeit: Begriffe*. Beuth Verlag, Berlin, 1990
- [HES11] Hesse, S.: *Greifertechnik: Effektoren für Roboter und Automaten*, Carl Hanser Verlag, München, 2011
- [ISE14] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Konstruktive Gestaltung eines bio-inspirierten Kommissioniergreifers für intralogistische Handhabungsaufgaben*. In: Tagungsband zum 10. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL), S. 177-188, München 2014.
- [ISE16] Isermann, J.; Ulrich, S.; Bruns, R.: *Modellierung, Regelung und Erprobung eines pneumatischen Biegeaktors für den Antrieb eines flexiblen Intralogistikgreifers*. In: Tagungsband zum 12. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL), S.225-232, Stuttgart 2016.
- [MAS16] Masdorf, V.: *Experimentelle Bestimmung der Greifzuverlässigkeit für ein modulares elastisches Greifsystem*, Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg, 2016.
- [SIE10] Siebertz, K.; van Bebber, D.; Hochkirchen, T.: *Statistische Versuchsplanung*, Springer, Berlin Heidelberg, 2010.
- [ULR12] Ulrich, S.; Bruns, R.; Freyer, H.: *Complex Motions with Anisotropic Elastomeric Actuators*. In: Proceedings 13. International Conference on New Actuators, Bremen, P. 595-598, Bremen 2012
- [VDI97] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen*, Beuth Verlag, München, 1997.
- [VDI07] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 4003: Zuverlässigkeitsmanagement*, Beuth Verlag, München, 2007.

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

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

