

SCHRIFTENREIHE DER FAKULTÄT FÜR TECHNIK DER DUALEN HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG RAVENSBURG

2023/02

Erhöhung der Erfolgsquote beim Bin-Picking von Kleinteilen
durch Optimierung der Greiferbacken beim 2-Finger-Greifer

M.Sc. Wenzheng Cai, M.Sc. Florian Bulander, Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller,
Prof. Dr.-Ing. Lars Ruhbach

**SCHRIFTENREIHE DER FAKULTÄT FÜR TECHNIK
DER DUALEN HOCHSCHULE BADEN-WÜRTTEMBERG
RAVENSBURG**

2023/02

Erhöhung der Erfolgsquote beim Bin-Picking von Kleinteilen
durch Optimierung der Greiferbacken beim 2-Finger-Greifer

M.Sc. Wenzheng Cai, M.Sc. Florian Bulander, Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller,
Prof. Dr.-Ing. Lars Ruhbach

IMPRESSUM

Schriftenreihe der Fakultät für Technik
der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Herausgeber

Prof. Dr. Heinz-Leo Dudek
Prorektor und Dekan der Fakultät für Technik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Baden-Wuerttemberg Cooperative State University
Marienplatz 2
88212 Ravensburg
Deutschland

<http://www.ravensburg.dhbw.de>

2023/02, Juni 2023

ISBN 978-3-945557-14-3

ISSN 2199-238X

DOI 10.12903/DHBW_RV_FN_2023_02_WENZHENG_BULANDER_DIETMUELLER_RUHBACH

© M.Sc. Wenzheng Cai, M.Sc. Florian Bulander, Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller, Prof. Dr.-Ing. Lars
Ruhbach, 2023
Alle Rechte vorbehalten.

Der Inhalt der Publikation wurde mit größter Sorgfalt erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und
Aktualität des Inhalts übernimmt der Herausgeber keine Haftung.

Gestaltung

DHBW Ravensburg
Marienplatz 2, 88212 Ravensburg

Erhöhung der Erfolgsquote beim Bin-Picking von Kleinteilen durch Optimierung der Greiferbacken beim 2-Finger-Greifer

M.Sc. Wenzheng Cai¹, M.Sc. Florian Bulander², Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller³, Prof. Dr.-Ing. Lars Ruhbach⁴

Zusammenfassung:

In der Handhabungstechnik besitzen Greifer als Schnittstelle zwischen Handhabungsgerät (Roboter) und Bauteil eine zentrale Rolle. In der Praxis erfolgt dabei zunächst die Auswahl des Greifers und dann die Anpassung der Greiferbacken. Je nach Bauteil werden die Greiferbacken individuell entwickelt und angepasst. Durch innovative Anwendungen, wie das Bin-Picking, entstehen zusätzliche Anforderungen an die Konstruktion von Greiferbacken. Beispielsweise soll der Behälter beim Bin-Picking trotz der eingeschränkten Zugänglichkeit möglichst vollständig geleert werden. Um speziell die Erfolgsquote beim Bin-Picking mit 2-Finger-Greifer zu erhöhen, wird in diesem Beitrag eine Vorgehensweise entwickelt, mit der Greiferbacken optimiert werden können. Mit Hilfe statistischer Versuchsplanung und dem Software-Tool Mikado werden Einflussfaktoren untersucht und für die Anwendung optimiert. Ziel ist es, die Erfolgsquote beim Bin-Picking von Kleinteilen durch angepasste Greiferbacken zu erhöhen.

Stichwörter:

2-Finger-Greifer, Greiferbacken Bin-Picking, Kleinteile, Erfolgsquote, Mikado, statistische Versuchsplanung

¹ DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen, wissenschaftlicher Mitarbeiter ZDP

² DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen, Forschungsgruppenleiter ZDP

³ DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen, Professor Maschinenbau; Leiter ZDP

⁴ DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen, Studiengangleiter Produktionstechnik; IWT Wirtschaft und Technik GmbH, Geschäftsführer

1 EINLEITUNG

Bin-Picking ist ein aktuelles Thema in der Robotik, das durch neue Ansätze des Machine Learning, verbesserter Kameratechnik sowie größerer Rechenleistung erstmalig breite industrielle Anwendungen findet [1]. Das Greifen von Bauteilen aus einer Kiste (Bin-Picking) wird in verschiedenen Bereichen der Intralogistik, Fertigung und Montage zum Einsatz gebracht, beispielsweise Teileversorgung in der Fabrikautomation, Pick-and-Place in der Lagerautomation, Kommissionierung in der Logistik, Beladen und Entladen von Werkzeugmaschinen [2]. Gerade für einfache, repetitive Handhabungsaufgaben können Bin-Picking-Anlagen die Mitarbeiter entlasten und dem immer stärker werdenden Fachkräftemangel positiv entgegenwirken [3] [4]. Zahlreiche Lieferanten wie Optonic Mikado⁵, Photoneo⁶, Vesio Nerf⁷, Zarian⁸ und Mech-Mind Robotics⁹ bieten hier Lösungen für den industriellen Einsatz an.

Die Schwierigkeit einer bestimmten Bin-Picking-Aufgabe wird durch die Unsicherheiten in Bezug auf das Aussehen, die Dimension und die Position von Bauteilen sowie die dynamische Umgebung des Szenarios definiert. Als neue Anforderungen an die Greifersysteme beim Bin-Picking können daher die erhöhte Flexibilität bezüglich der Bauteile und die niedrige Komplexität des Aufbaus sein [5]. Ebenfalls sollte ein hoher Entnahmegrad, der gerade durch die Geometrie der Kiste definiert ist, beispielsweise die Zugänglichkeit insbesondere in der Ecke [6].

Neben der Genauigkeit ist die Effizienz für das Bin-Picking eine wichtige Leistungskennzahl [7]. Hierfür ist wiederum eine hohe Erfolgsquote beim Greifen selbst essenziell, d.h. in einem kontinuierlichen Greifvorgang können möglichst mehrere Bauteile erfolgreich bzw. überhaupt kollisionsfrei gegriffen werden. Die Erfolgsquote beschreibt die Anzahl der erfolgreich durchgeführten Bauteile im Verhältnis zu der Gesamtanzahl an Bauteilen im vorliegenden Fall. In einem Bin-Picking-System wird die Erfolgsquote allgemein über die in Abb. 1 beschriebene Faktoren beeinflusst [8] [9].

⁵ Optonic Mikado - <https://www.optonic.com/marken/mikado/>

⁶ Photoneo - <https://www.photoneo.com/bin-picking-studio/>

⁷ Vesio Nerf - <https://www.visionerf.com/de/industrielle-bildverarbeitung/>

⁸ Zarian - <https://zarian.de/bin-picking/>

⁹ Mech-Mind Robotics - <https://www.mech-mind.com/solution/bin-picking.html>

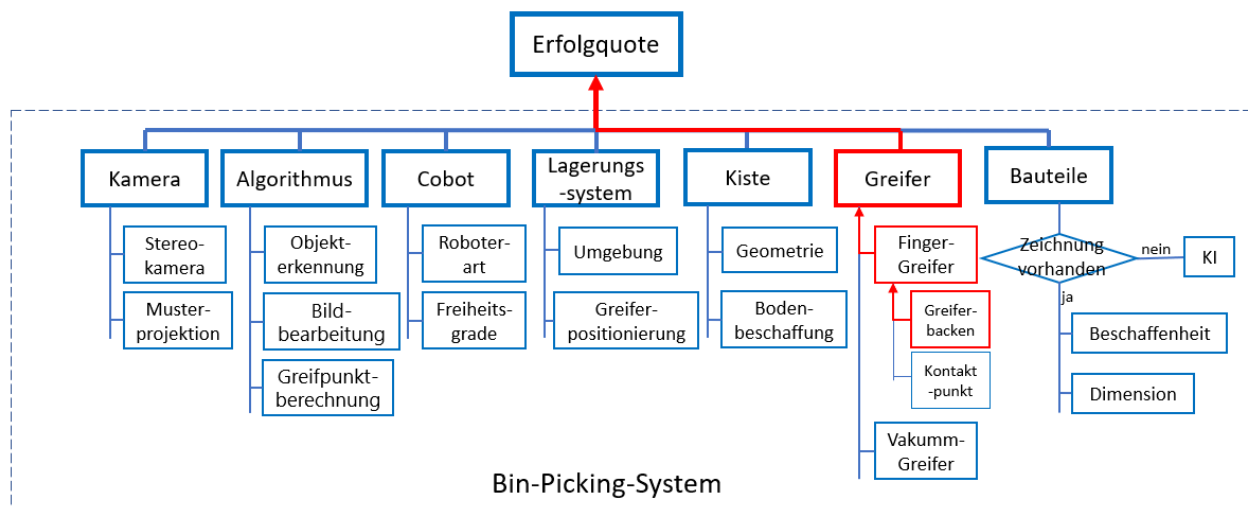


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die Erfolgsquote bei Bin-Picking

Die Erfolgsquote beim Bin-Picking ist somit neben vielen Einflussfaktoren auch abhängig vom Greifersystem, welches durch den Greifer (Greiferbacken in Finger-Greifer) und seiner Interaktion mit dem Lagerungssystem, den Kisten und Bauteilen definiert ist. Im Rahmen dieser Arbeit wird speziell der Einfluss der Greiferbacken auf die Erfolgsquote beim Bin-Picking genauer untersucht. Die Konstruktion von Greiferbacken erfolgt für klassische Greifaufgaben erfahrungsbasiert und teilweise mit einem hohen manuellen Aufwand. Bei der Konstruktion der Greiferbacken handelt es sich um eine vergleichsweise einfach zu realisierende Parametrisierungsaufgabe [10, p. 74]. Einzelne Hersteller bieten hier webbasierte Konfiguratoren für Greiferbacken an, um die Konstruktionsaufwände zu reduzieren bspw. Konfigurator FGR¹⁰ von Schunk. Wissenschaftliche Ansätze zur simulationsbasierten Konstruktion von Greiferbacken finden sich bei ELLEKILDE/PETERSEN [11] und WOLNIAKOWSKI ET AL [12]. Ein weiterer Ansatz beruht auf der Nutzung von Expertensystemen, wie GOURASHI [13] beschreibt. Für die automatisierte Konstruktion von Greifbacken wird in der Regel auf die Negativform des Bauteils zurückgegriffen und bei mehreren Handhabungsobjekten diese auf eine Backe zusammengefasst, wie im Ansatz von HONDARPARDAZ [14] beschrieben wird. Die genannten Ansätze gehen jedoch nicht auf die speziellen Anforderungen des Bin-Picking-Prozesses ein.

Basierend auf den Problemen der vorhandenen Greiferbacken beim Bin-Picking wird ausgehend von einer statistischen Versuchsplanung (DoE¹¹) ein Lösungsansatz angewendet, um die Korrelation zwischen den Faktoren zu ermitteln und die optimale Lösung zu finden. Die DoE ist eine systematische und effiziente Methode, die es Wissenschaftlern und Ingenieuren ermöglicht, Beziehung zwischen mehreren Eingangsvariablen (Faktoren) und wichtigen Ausgangsvariablen (Reaktionen) zu untersuchen. Es handelt sich um einen strukturierten Ansatz für die Sammlung von Daten und die Gewinnung von Erkenntnissen [15].

¹⁰ Schunk Konfigurator FGR - <https://andugo.io/news-blog/schunk-finger-configurator-fgr/show>

¹¹ DoE - Design of Experiment

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Abschnitt 2 beschreibt das vorhandene Bin-Picking System und den Greifer sowie die Probleme im Zusammenhang mit dem Bin-Picking-System. In Abschnitt 3 werden der entwickelte Ansatz und die Versuchsergebnisse im Detail erläutert. Schließlich werden in Abschnitt 4 das Fazit sowie der Ausblick für zukünftige Arbeiten beschrieben.

2 BIN-PICKING SYSTEM, GREIFSYSTEM UND PROBLEME

Bei Bin-Picking-Prozessen sind Objekterkennung, Lokalisierung und Bahnplanung die zentralen Prozessschritte. Die Objekterkennung erfolgt in erster Linie mit Hilfe vonameratechnik, die das Bild der Teile mit den importierten 3D-Modellen des bekannten Bauteils abgleicht. Durch Kamerakalibrierung werden die Positionen von Objekten und Robotern erkannt. Die Greifer als eine Schnittstelle bestimmen die Greifpunkte zwischen den Objekten und Endeffektoren von Robotern. Die Bahnplanung wird durch Algorithmen berechnet, damit ein kollisionsfreies und sicheres Greifen erreicht werden kann [16].

Als Basis der Untersuchung wird das Bin-Picking-System des ZDPs¹² von der DHBW¹³ Ravensburg verwendet. Dieses ist wie folgt im PTZ¹⁴-Labor am Campus Friedrichshafen aufgebaut (Abb. 2).

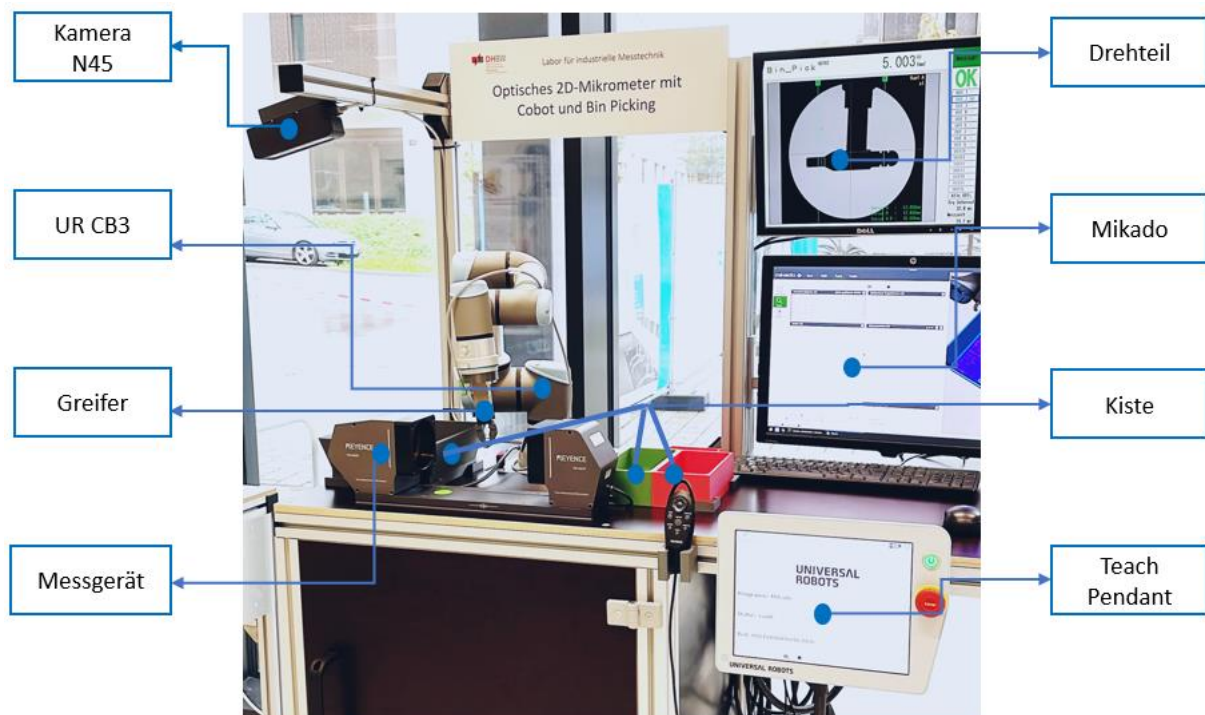


Abbildung 2: Das Bin-Picking-System des ZDPs am Campus Friedrichshafen

¹² ZDP – Zentrum für Digitalisierung in Produktion und Produktentwicklung

¹³ DHBW - Duale Hochschule Baden-Württemberg

¹⁴ PTZ – Produktionstechnisches Zentrum

gemessen. Nach der Rückmeldung des Messgeräts werden die Bolzen, welche innerhalb der gültigen Toleranz liegen, in die grüne Kiste übergeben. Bei Messungen mit inakzeptabler Toleranz werden die Bolzen in die rote Kiste gegeben.

Als Schnittstelle zum Drehteil ist der Roboter mit den Schunk Greifer EGP ausgestattet, wobei zwei Greiferbacken wie in Abb. 4 gezeigt vorentwickelt sind.

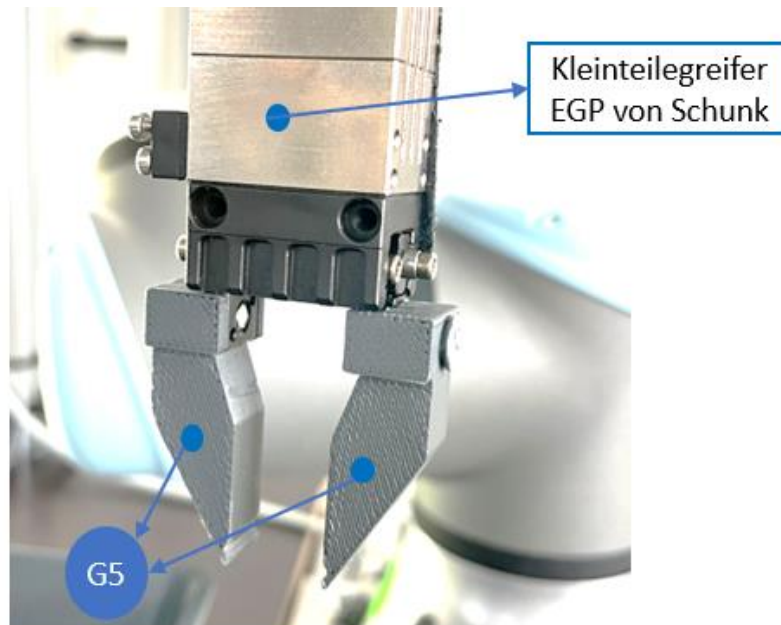


Abbildung 4: Das Greifsystem für Cobot: Vorentwickelte Greiferbacken G5 aus [17, p.62]

Um die Erfolgsquote mit dem Greifsystem in der Praxis zu untersuchen, werden Experimente basierend auf der Greiferbacken G5 durchgeführt. Beispielsweise zeigt ein Experiment in Abb. 5, dass zwei Punktwolken vor und nach dem Greifen darstellen, die von der 3D-Kamera Ensenso N45 aufgenommen werden. Vor dem Greifen werden die zwei Teile 1 und 2a (grün) als kollisionsfrei zu greifen erkannt. Die roten Teile konnten zwar erkannt, aber nicht gegriffen werden. Die Teile mit einer Multi-Farbe und einer unregelmäßigen Form sind im Gegenteil als unbekannt definiert. Nach dem Greifen von Teil 1 ist die Punktwolke aktualisiert geworden. Teil 2b wurde fortan als rot und somit, nicht greifbar definiert. Ein Grund dafür ist, dass das neben Teil 2b liegende Teil unbekannt gekennzeichnet wurde und somit die Berechnung für einen sicheren Abstand nicht mehr zuverlässig stattfinden kann.

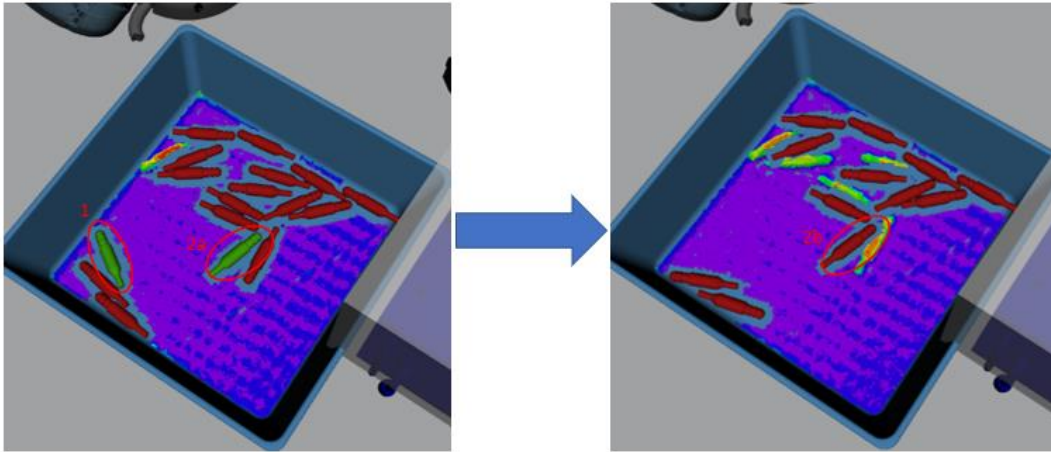


Abbildung 5: Greifvorgang eines Experiments: Vor (links) und nach (rechts) Greifen

Ein weiteres Problem zeigt sich darüber hinaus mit nicht greifbaren Teilen, die ebenfalls die Erfolgsquote reduzieren. Gründe dafür sind Kollisionen mit den Wänden der Kiste und mit den nah aneinander liegenden Teilen.

Um die Kollisionen mit dem Greifsystem ausführlich analysieren zu können, werden unter den gleichen Randbedingungen von Kameratechnik und Robotansteuerung mit Mikado weitere Experimente durchgeführt. Zusammengefasst mit dem Greifsystem kommen überwiegend folgende drei typische Kollisionen, wie in Abb. 6 dargestellt, zu Stande:

- i. Die Teile liegen in der Kiste sehr nah beieinander. Wird beim Prozess senkrecht gegriffen kommt es zur Kollision zwischen den Teilen und den Greiferbacken wie in der Abb. 6 links, da der 2-Finger-Greifer mit geöffnetem Stand eine große Breite hat.
- ii. Ebenfalls in der Abb. 6 mitten zu erkennen. Wenn die zu greifenden Teile zu nah an der Wand der Kiste liegen, kommt es zu Kollisionen mit dem Oberteil der Greiferbacken.
- iii. Wenn der Greifer die Teile nahe an der Kistenwand schräg greift, kommt es zu Kollisionen, wie in Abb. 6 rechts dargestellt. Wenn das Teil waagrecht in der Kiste liegt, kann es passieren, dass die scharfe Ecke der Greiferbacke zuerst mit dem Boden kollidiert. Dies passiert, wenn die Position des Teils nicht zu der Nut der Greiferbacken passt.

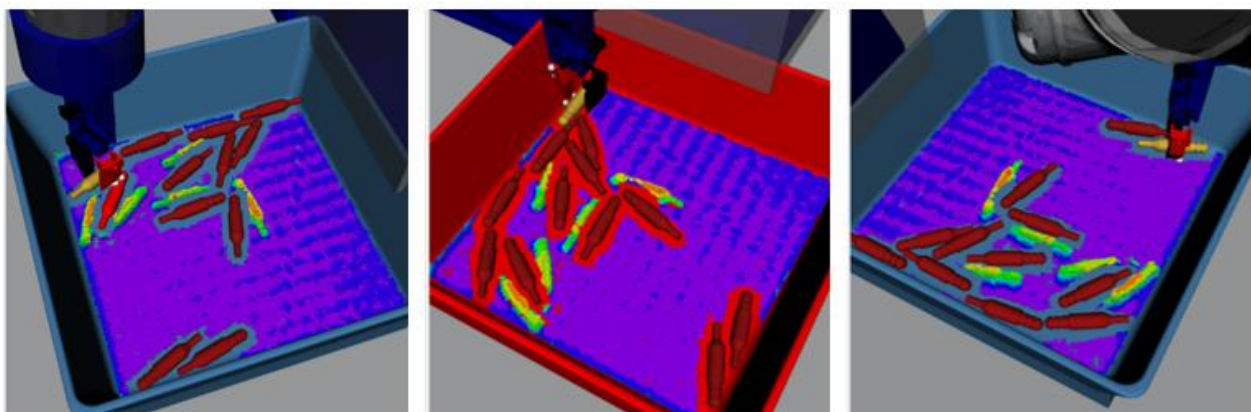


Abbildung 6: Typische Kollisionsfälle mit dem Greifsystem; Fall i (links), ii (mitten) und iii (rechts)

Insgesamt gibt dieses Szenario in Abb. 6 mit dem Greifer (G5) eine geringe Erfolgsquote wieder. Hierbei konnten von den 30 in der Kiste liegenden Bolzen lediglich 13 erfolgreich gegriffen werden. Dies führt zu einer Erfolgsquote von nur 43,3%.

3 LÖSUNGSANSATZ

Zur Optimierung der Erfolgsquote im Bin-Picking-System wird ein DoE-basierter Lösungsansatz entwickelt. Für die Konstruktion der Greiferbacke G5 gibt es eine Vielzahl konstruktiver Parameter, welche es zu beachten gilt. Die Dicke, Geometrie wie auch das Material können hierbei variiert werden.

In Abb. 6 hängen die Kollisionen nicht nur mit dem Greifer sondern auch mit dem Bauteil und der Kisten zusammen ab. Deshalb wird der Optimierungsprozess der Greiferbacke G5 unter Berücksichtigung der mit Kollisionen relevante Randbedingungen durchgeführt.

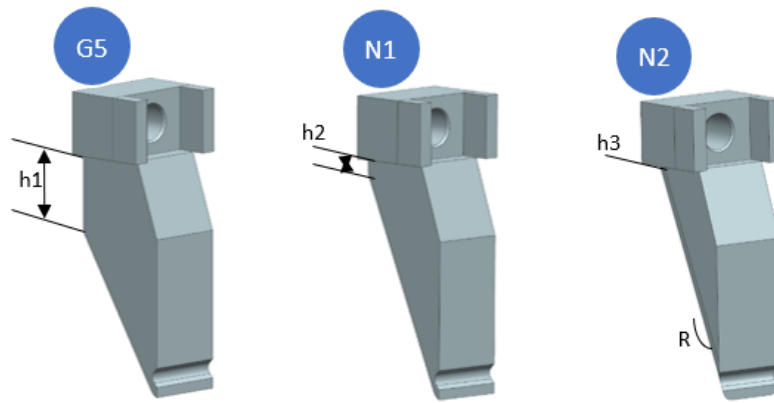
Die Vorgehensweise der DoE wird wie im Folgenden gemäß LUNAU [18, p. 376] beschrieben.

- Schritt 1: Einflussfaktoren festlegen

Die Geometrie der Backe (Länge x Breite x Höhe) wird unter Berücksichtigung der Festigkeit und der Stabilität beim Greifen konzipiert. Basierend auf den Kollisionen in Abb. 6 kann hierbei die Dicke der Backe verändert werden, z.B. schlanker werden durch Änderung der Stirnhöhe wie in Abb. 7 dargestellt. Die Randbedingungen können aus der Anzahl von Teilen und der Teileposition durch Mischung aktualisiert werden. Die Anzahl der Teile beeinflusst die Entfernung zwischen den in der Kiste liegenden Teilen und durch Mischung wird die Position aller Teile wieder aktualisiert. Dadurch kann z.B. das in Abb. 5 resultierende Problem vermieden werden. Die Greiferbacken werden einheitlich mit Hilfe additiver Fertigung angefertigt. Das verwendete Material bei der Herstellung für allen identisch.

- Schritt 2: Faktorstufen bestimmen

Die Faktorstufen werden wie in Abb. 7 dargestellt. Basierend auf der Greiferbacke G5 wird die Stirnhöhe h_1 von G5 auf h_2 in N1 verkürzt (siehe Abb. 7 Greiferkonstruktion). Damit wird die Greiferbacke N1 schlanker und die Kollisionen in der Mitte von Abb. 6 können reduziert werden. Im Weiteren werden die beiden scharfen Ecken des Backenfußes abgerundet ($R = 2,50\text{mm}$), damit die Kollisionen beim leicht schrägen Greifen (siehe Abb. 6 rechts) zusätzlich vermieden werden können. Der Faktor Mischung kann die Werte ohne Mischung (= 0) und mit Mischung (= 1) haben. Die Anzahl der Teile ist wegen ihrer Gesamtsumme auf 30 Stück eingeschränkt. Die Greiferbacken G5, N1 und N2 werden mit den Randbedingungen vergleichsweise untersucht.



Faktor	Stufe		
Greiferbacke	G5 Stirnhöhe h1 = 10,00 mm	N1 Stirnhöhe h2 = 2,00 mm	N2 Stirnhöhe h3 = 0 mm, mit zusätzlich R = 2,50 mm
Mischung	Ohne (0)		Mit (1)
Anzahl von Teilen	10	20	30

Abbildung 7: Greiferkonstruktion und Faktorstufen

- Schritt 3: Versuchsstrategie ableiten

Im Gegensatz zur allgemeinen Anwendung der faktoriellen Methode der DoE liegen hier zwei zusätzliche Randbedingungen vor. In diesem Fall kommt das sogenannte Taguchi-Design zum Einsatz, welches auf dem faktoriellen Design basiert. Das Taguchi-Design ist in der Regel stark fraktioniert, was es für Praktiker sehr attraktiv macht [19].

- Schritt 4: DoE durchführen und Daten erheben

Das Taguchi-Design der DoE wird in Tab. 1 durchgeführt und die Daten „erfolgreich gegriffene Teile“ werden erfasst. Um die Abweichung zu überwachen und zu beobachten, werden die Versuche drei mal wiederholt.

	Anzahl erfolgreich gegriffene Teile																	
	10						20						30					
	Ohne Mischung			Mit Mischung			Ohne Mischung			Mit Mischung			Ohne Mischung			Mit Mischung		
G5	3	2	1	7	7	9	2	5	3	7	11	11	8	9	8	11	10	8
N1	4	4	6	10	9	9	4	5	4	20	16	19	6	6	9	29	28	29
N2	4	4	8	10	10	10	10	7	8	20	19	20	8	14	10	29	30	30

Tabelle 1: Taguchi-Design der DoE mit Ergebnissen

- Schritt 5: Ergebnisse analysieren und Maßnahmen ableiten

Die Erfolgsquote wird als erfolgreich gegriffene Teile durch die gesamten Teile (hier die Anzahl aller Teile) in einem kontinuierlichen Bin-Picking-Prozess definiert. Nach der Datensammlung werden die Ergebnisse wie in Abb. 8 visualisiert.

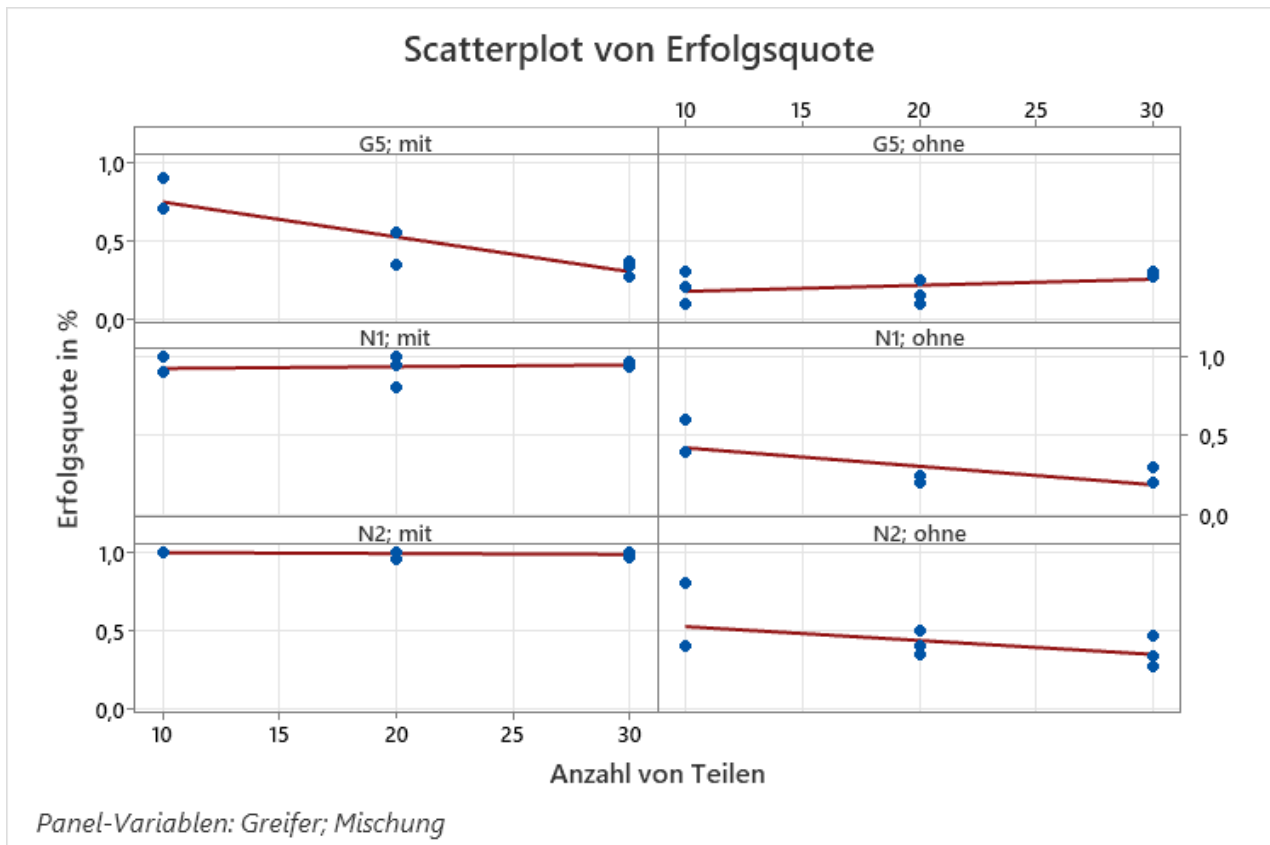


Abbildung 8: Visualisierung der Versuchsergebnisse für Greiferbacken G5, N1 und N2

Es wird deutlich, dass für jede Greiferbacke mit Mischung die Erfolgsquote höher ist, als ohne Mischung. Des Weiteren wird ersichtlich, dass die Greiferbacken N1 und N2 erheblich höhere Erfolgsquoten als G5 vorweisen können. Die Greiferbacke N2 erreicht mit Mischung sogar eine Erfolgsquote nahe 100%. Mit gleichen Randbedingungen sind die Erfolgsquoten mit wenigen Teilen besser als mit vielen Teilen.

4 FAZIT UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde ein Optimierungsprozess von Greiferbacken zur Erhöhung der Erfolgsquote bei einem vorhandenen Bin-Picking-System mit Hilfe des Taguchi-Designs durchgeführt. Experimentell wird gezeigt, dass mit gleichen Randbedingungen der Greifer mit den schlanken Greiferbacken und abgerundeten Ecken eine höhere Erfolgsquote hat, wobei es zu wenigen Kollisionen mit der Kiste während des Greifvorgangs kommt. Als Einflussfaktoren konnten zudem die Anzahl der Teile sowie die Mischung bestätigt werden, da die Erfolgsquote sich

mit Mischung erheblich erhöht und es mit weniger Anzahl der Teile hilft, die Erfolgsquote zu steigen.

Andererseits musste festgestellt werden, dass die Durchführung der Greiferbackenoptimierung zu keinem eindeutigen Ergebnis in Bezug auf den Zusammenhang zwischen der Kamera und den Kollisionen definierenden Algorithmen geführt hat. Durch den Fokus auf Greiferbacken konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer auf den Zusammenhang mit derameratechnik eingegangen werden. Dieser könnte jedoch einen bedeutenden Ansatz für zukünftige Forschung bieten, z.B. die Optimierung von Kamera-Einstellungen, bei diesen es um die Kameraposition, die Anzahl der Aufnahmen von Punktwolken sowie die Lichtstärke geht. Diese beeinflussen alle die Fähigkeit zur Objekterkennung, wie in Abb. 6 visualisiert wurde. Hier waren in der zweiten Aufnahme der Punktwolke einige Teile nicht mehr greifbar, obwohl der Griff bei der ersten Aufnahme möglich gewesen wäre. Zudem können Teile nicht mehr erkannt werden, wenn diese zu nah an der Kistenwand liegen.

5 LITERATUR

- [1] M. Alonso, A. Izaguirre und M. Graña, „Current Research Trends in Robot Grasping and Bin Picking,“ *International Joint Conference SOCO'18-CISIS'18-ICEUTE'18*, Bd. 771, p. 367–376, 2018.
- [2] M. Fujita, Y. Domae, A. Noda, G. A. Garcia Ricardez, T. Nagatani, A. Zeng, S. Song, A. Rodriguez, A. Causo, I. M. Chen und T. Ogasawara, „What are the important technologies for bin picking? Technology analysis of robots in competitions based on a set of performance metrics,“ *Advanced Robotics*, Bd. 34, Nr. 7-8, pp. 560-574, 2019.
- [3] C. Martinez, R. Boca, B. Zhang, H. Chen und S. Nidamarthi, „Automated bin picking system for randomly located industrial parts,“ in *2015 IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*, Woburn, 2015.
- [4] R. B. Consultant, „Random bin picking: has its time finally come?,“ *Assembly Automation*, Bd. 34, Nr. 3, pp. 217-221, 2014.
- [5] K. Wegener, Ein flexibles Greifsystem für Roboterassistenten im Haushalt (Dissertation), Stuttgart: Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb; Fakultät Maschinenbau der Universität Stuttgart, 2007.
- [6] T. Mattern, D. Hänschke, B. Riedmiller und A. Mundt, „Vorrichtung zum automatisierten Entnehmen von in einem Behälter angeordneten Werkstücken,“ *Deutsches Patent- und Markenamt (10 2013 013 114.6)*, p. 2, 20 Feb. 2014.

- [7] J. Marvel, R. Eastman, G. Cheok, K. Saidi, T. Hong and E. Messina, "Technology Readiness Levels for Randomized Bin Picking," in *Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS) 2012 Workshop Special Session, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR)*, New York (NY), 2012.
- [8] G. A. G. Ricardez, L. E. Hafi und F. v. Drigalski, „Standing on Giant’s Shoulders: Newcomer’s Experience from the Amazon Robotics Challenge 2017,“ in *Advances on Robotic Item Picking*, Springer, 2020, p. 87–100.
- [9] D. Morrison, A. W. Tow, C. McTaggart, R. Smith, N. Kelly-Boxall, S. Wade-McCue, J. Erskine, R. Grinover, A. Gurman, T. Hunn, D. Lee, A. Milan, T. Pham, G. Rallos, A. Razjigaev, T. Rowntree, K. Vijay, Z. Zhuang, C. Lehnert, I. Reid, P. Corke und J. Leitner, „Cartman: The Low-Cost Cartesian Manipulator that Won the Amazon Robotics Challenge,“ in *2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Brisbane, 2018.
- [10] J. K. B. Schmalz, *Rechnergestützte Auslegung und Auswahl von Greifersystemen (Dissertation)*, Technische Universität München, : Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), 2019.
- [11] L.-p. Ellekilde und H. G. Petersen, „Design and Test of Object Aligning Grippers for Industrial Applications,“ in *2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Beijing, 2006.
- [12] A. Wolniakowski, K. Miatliuk, N. Krüger und J. A. Rytz, „Automatic Evaluation of Task-Focused Parallel Jaw Gripper Design,“ in *Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots*, International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, 2014, p. 450–461.
- [13] N. S. E.-D. Gourashi, „Knowledge-based conceptual design of robot grippers,“ (Dissertation) Cardiff University, Cardiff , 2003.
- [14] M. Honarpardaz, M. Tarkian, D. Sirkett, J. Ölvander, X. Feng, J. Elf und R. Sjögren, „Generic Automated Multi-function Finger Design,“ in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 157*, Singapore, 2016.
- [15] M. Uy und J. K. Telford, „Optimization by Design of Experiment techniques,“ in *IEEE Conference on Aerospace*, Big Sky, MT, USA, 2009.
- [16] S. Fur, C. Scheifele, A. Pott und A. Verl, „HiL-Simulator für den industriellen ‘Griff in die Kiste’,“ *WT Werkstattstechnik*, pp. 1-6, 2007.
- [17] S. Forster, L. Huben und J. Sailer, „Bin Picking am UR3,“ in *Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) Ravensburg*, Friedrichshafen, 2022.
- [18] S. Lunau, C. Staudter, C. Hugo, P. Bosselmann, J. P. Mollenhauer, R. Meran und O. Roenpage , *Design for Six Sigma+Lean Toolset*, Springer Gabler Wiesbaden, 2013.

[19] K. Siebertz, D. v. Bebber und T. Hochkirchen, Statistische Versuchsplanung, Berlin: Springer , 2010.

Herausgeber

Prof. Dr. Heinz-Leo Dudek
Prorektor und Dekan der Fakultät für Technik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Baden-Wuerttemberg Cooperative State University
Marienplatz 2
88212 Ravensburg

ISBN 978-3-945557-14-3

ISSN 2199-238X

DOI 10.12903/DHBW_RV_FN_2023_02_WENZHENG_BULANDER_DIETMUELLER_RUHBACH