

Design und Konstruktion eines neuen Konzepts für Mehrteilgreifer

Liang Chen, Philipp Wabnitz, Prof. Dr.-Ing. Maik Berger, Fan Yin
Professur Montage- und Handhabungstechnik
Technische Universität Chemnitz, 09126 Chemnitz, Deutschland
liang.chen@s2013.tu-chemnitz.de; philipp.wabnitz@mb.tu-chemnitz.de

Kurzfassung

Im ersten Teil des Beitrags soll das neue methodische Endeffektorsystem bzw. Greifsystem vorgestellt werden. Basierend auf den Begriffen „Handhaben“ und „Greifer“ aus den VDI Richtlinien 2740 werden jetzige Maschinen allgemein neu definiert und entsprechend in drei Stufen klassifiziert. Dort werden alle industriellen Maschinen nicht als Roboter oder Pick&Place-Geräte, sondern nur als eine Greifzelle betrachtet. Jede Greifzelle kann dabei theoretisch beliebig mit anderen kombiniert werden, jedoch sind nicht alle Kombinationen sinnvoll. Der Fokus des Beitrags liegt nun in der Analyse günstiger Kombinationen zur Entwicklung neuer Greifkonzepte.

Im zweiten Teil des Beitrags soll das Konzept eines neuartigen Greifers (abgeleitet vom o. g. Prinzip) für unterschiedliche Werkstückgeometrien bzw. Greifaufgaben vorgestellt werden. Die Drehfunktion wird dabei durch ein Schrittgetriebe realisiert. Alle Einzelteile des Prototyps werden mittels 3D-Druck hergestellt und sind somit leichter und günstiger als herkömmliche Greifer. Der Antrieb erfolgt über zwei Servomotoren. Der Mehrteilgreifer wiegt weniger als 1 kg bei einem Hub von 20 mm pro Backe und ermöglicht es vier verschiedene Objekte zu greifen.

Abstract

In the first part of the offered article a novel methodology of end effector system or gripping system will be introduced. Based on the definitions of “Handling” and “Gripper” from the VDI guidelines 2740 [1], the common machines are re-defined and correspondingly classified in three levels. Then all the industrial machines are not regarded as robots or pick-and-place devices but only as a gripping cell individually. Theoretically each gripping cell can be optionally combined with others, however, not all the combinations are meaningful. This article focuses on the significant combinations for developing the new concept of gripping system.

In the second part of this article a novel gripper which is derived from the aforementioned principle, for different geometric workpieces or gripping tasks will be presented. The driving system is realized by two servomotors, one of which is rotated through intermittent mechanism. All parts of the prototype are produced by 3D printing technology and therefore lighter and cheaper than conventional grippers. The multifunctional gripper weighs less than 1 kg with a stroke of 20 mm per finger and enables four different objects.

1 Einleitung

Intelligent, kollaborativ, flexibel und effizient, das sind die meist verwendeten Begriffe zur Beschreibung einer modernen ‚Smart Factory‘. Demnach gehören auch konventionelle Arbeitsstrukturen, welche Menschen und automatisierte Maschinen strikt voneinander trennen, der Vergangenheit an. Denn eine Kollaboration zwischen Mensch und Maschine nutzt die Vorteile beider Seiten. Die Flexibilität und Intuition eines Menschen ergänzt dabei die Effizienz und Genauigkeit der Maschinen. Ein repräsentatives Szenario dafür ist die Mensch-Roboter-Kollaboration, auf deren Grundlage Menschen neben und zusammen mit diesen kollaborierenden Robotern (englische Abkürzung: *cobot*) sicher und problemlos arbeiten. Die *cobots* erfüllen dabei ihre Aufgaben im alltäglichen Einsatz gut bis sehr gut, jedoch nur ohne Berücksichtigung der eingesetzten Endeffektoren, da diese meist keinen kollaborierenden Betrieb erlauben. Durch die Minimierung der Abmessungen und Gewichte von Industrieprodukten wie Robotern, Handhabungs- und Montagevorrichtungen, elektrischen Geräten und Werkzeugen wird

eine Standardisierung und Modularisierung ermöglicht. Im folgenden Kapitel werden die üblichen Industriemaschinen in drei Stufen eingeteilt, und die sinnvollen Kombinationen jeder Ebene werden ausführlich analysiert.

Um die Leistungsfähigkeit von Montage- oder Handhabungsprozessen zu erhöhen, werden vielfältige Greifsysteme, z.B. Mehrfingergreifer, Greifer-Magazine oder Revolver, verwendet. Besonders im Bereich der kollaborierenden Robotik spielen jedoch flexible, leichte und multifunktionale Greifer eine zunehmend wichtigere Rolle. Die derzeit am Markt befindlichen Mehrteilgreifer- oder Revolversysteme besitzen meist ein hohes Gewicht bei gleichzeitig großen Abmessungen und sind aus diesem Grund nicht für Mensch-Roboter-Kollaboration geeignet. Statt einer Revolverbaugruppe mit mehreren Greifern sind die Greifbacken des neuen Mehrteilgreifers drehbar ausgeführt und somit umschaltbar für die jeweilige Aufgabe. In Kapitel drei wird das Konstruktionsdesign dieses Greifers vorgestellt und anschließend optimiert.

2 Die Greiferzellenpyramide

Laut Hesse (2011), bezieht sich die Greiferflexibilität auf die Eigenschaft eines Greifers, insbesondere Werkstücke mit sehr unterschiedlichen Formen und Abmessungen ohne Umbau anfassen zu können. [2] Bild 1 zeigt vier Varianten der Greiferflexibilität: Werkstückform, Größe, Masse und Zusatzfunktionen.

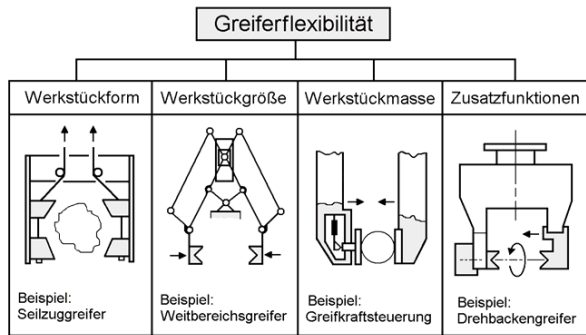


Bild 1 Merkmale flexibler Greifer [2]

Flexible Greiftechniken haben insbesondere bei komplexen Montage- und Handhabungsaufgaben eine große Bedeutung, bei denen Einzelteile mit unterschiedlicher Größe, Form, Masse und Material durch einen Roboter gegriffen und montiert werden. Normalerweise kann dies durch folgende Methoden realisiert werden:

- Wechselsysteme, die spezialisierte Einzelgreifer nacheinander zum Einsatz bringen
- Mehrfachgreifer als kompakte Einheit, wie z.B. Revolvergreifer
- Mehrstellengreifer, dessen Fingerglieder sich an verschiedene Objektkonturen anschmiegen
- Mehrgliedrige Gelenkfingergreifer, dessen Fingerglieder sich an verschiedene Objektkonturen anschmiegen.

[2]

Basierend auf den obigen Definitionen kann im Folgenden ein neuartiges Greifsystem mit der Bezeichnung „Greiferzellenpyramide“ abgeleitet werden.

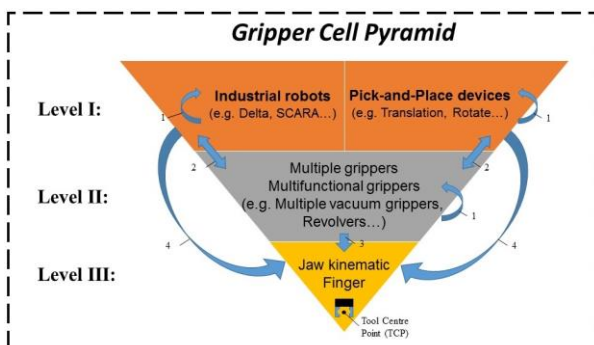


Bild 2 Greiferzellenpyramide

Definitionen:

Level I: Ein Basisterminal, das direkt am Boden montiert werden kann und über mehrere Bewegungsfreiheitsgrade verfügt, wie alle typischen Industrieroboter und Pick & Place Geräte mit translatorischen oder rotatorischen Achsen.

Level II: Eine Zwischenverbindung zwischen Level I und Level III, die die Handhabungskapazität durch „Mehrfachgreifer“ (gleichzeitig [1]) oder „Revolvergreifer“ (zeitlich und funktionell unabhängig [1]) erhöht. Diese Stufe ist optional für das gesamte Greifsystem, bietet jedoch immense Flexibilität für Roboter und erhebliche Effizienz innerhalb der Bearbeitungszykluszeit.

Level III: Ein Werkzeugterminal, das in einem Greifsystem einfach an der Endposition positioniert wird. Eine Seite ist mit der Schnittstelle einer höheren Ebene verbunden und die andere muss ein Tool-Centre-Point (TCP) sein, z.B. Backen und Finger

2.1 Die Symbologie des Greifsystems

Theoretisch können die Greifeinheiten beliebig und unendlich kombiniert werden, die meisten dieser komplexen Kombinationen sind jedoch bedeutungslos. Daher ist ein offensichtlicher und genauer Ausdruck vorteilhaft für das Verständnis, die Klassifizierung und die Ableitung des komplexen Greifsystems. Zunächst werden die Schreibsymbole definiert, die zur Darstellung eines Greifsystems verwendet werden.

‘I, II, III’, bezeichnen die Greifeinheiten aus jeder Stufe.

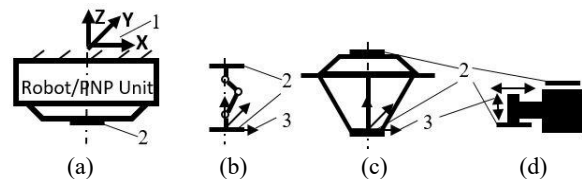
‘/’, bezeichnet eine zusammengesetzte (parallele) Kombination mit zwei Greifeinheiten.

‘-’, bezeichnet eine (serielle) Standardkombination mit zwei oder mehr Greifeinheiten.

‘//’, unterscheidet die verschiedenen Greifeinheiten in einer niedrigeren Klasse, wenn in der oberen Klasse „/“ erscheint.

Zusammen mit den Schreibsymbolen können grafische Symbole das System explizit veranschaulichen.

Level I wird als ‘I’ geschrieben und als Basistyp und Einheitstyp gezeichnet.



1-universal frame, 2-flange, 3-reference frame

Bild 3 I: Industrieroboter + PNP Geräte

(a) Allgemeiner Basistyp von Level I

(b) Einheitstyp der Serienkinematik

(c) Einheitstyp der Parallelkinematik

(d) Einheitstyp der Pick & Place Geräte.

Ein Greifsystem muss zunächst mit einem allgemeinen Basistypen (Bild 3a) als ersten Ausgangspunkt gekennzeichnet sein. Dieses Zeichen wird nicht nur durch ein Gestell, sondern auch durch den universellen Koordinaten-

tenrahmen gebildet. (1-universal frame) Im Gegensatz zum Universal-Frame bezeichnet 3 einen Referenz-Frame und damit (b), (c) und (d) den Einheitstyp von serieller Manipulatoren, paralleler Manipulatoren und Pick & Place Geräten. 2 ist eine Standardschnittstelle, die allgemein als Flansch bezeichnet wird. Level II wird als „II“ geschrieben und bildlich als passiver Typ und aktiver Typ dargestellt.

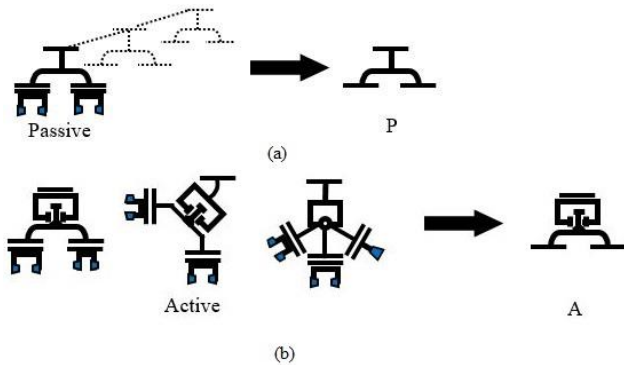


Bild 4 II: Mehrfachgreifer + Revolvergreifer
 (a) Mehrfachgreifer (passive Betätigung)
 (b) Revolvergreifer (aktive Betätigung)

Bild 4 zeigt die typischen Doppelgreifer mit zwei Schnittstellen. Die können möglicherweise als gestrichelte Linie auf mehrere Greifer erweitert werden. Diese Art wird aus Mangel an Stellgliedern als „P“ bezeichnet (kurz für Passiv) und als rechte Seite des Pfeils vereinfacht. In gleicher Weise sind die Revolvergreifer aktive Einheiten und werden in einem Symbol (Bild 4b) zusammengefasst. Das grafische Symbol des Revolvers ist für fast alle Fälle geeignet, obwohl sie normalerweise komplizierter und mit mehr Schnittstellen gestaltet sind. Level III wird als „III“ geschrieben und ebenfalls mit einem Symbol (Bild 5) dargestellt.



Bild 5 III: Backenkinematik, Finger oder Werkzeug

Um bestimmte Aufgaben zu erfüllen, werden wahrscheinlich die Basiseinheiten aus Level II und III integriert um neue Varianten abzuleiten, die als „Integrated Units (IU)“ gruppiert und benannt werden. Aufgrund der möglichen Redundanz des Freiheitsgrads und Singularität werden die integrierten Einheiten von Level I nicht diskutiert. Im Allgemeinen sollte eine sinnvolle Integration nur einmal erfolgen, ansonsten bringt sie eine ähnliche Komplexität wie die serielle Kinematik und kann durch andere optimale Methoden ersetzt werden. Offenbar gibt es nur drei Möglichkeiten durch die Permutationen und Kombinationen von II und III: II mit II, III mit III sowie II mit III.

Integrierte Einheiten II mit II werden als „IIII“ geschrieben, als drei Arten dargestellt: aktiv + aktiv (AA), aktiv + passiv (AP) und passiv + aktiv (PA). Die Art von passiv + passiv ist eigentlich gleich dem passiven Level II (Bild

4a). Alle drei Grafiksymbbole können zufällig angewendet werden und gehören einheitlich zum Level II.

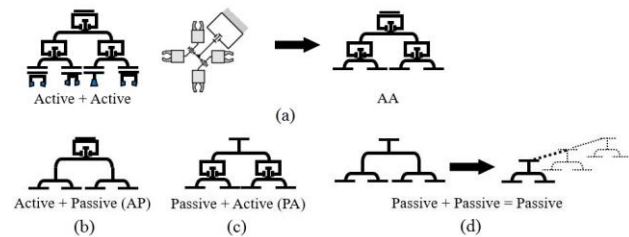


Bild 6 IU Level III

Integrierte Einheiten III mit III werden als „IIIII“, die zum Level III gehören, wobei es vier Typen gibt: parallel + parallel (PP), angular + angular (AA), parallel + angular (PA), angular + parallel (AP). Die Grafiksymbbole sind frei verwendbar und können auch als PP Typ dargestellt werden. Mit einem weiteren Stellantrieb in den oberen Klassen haben IUs von IIIIII die Fähigkeit, den Hub zu vergrößern. (Bild 7)

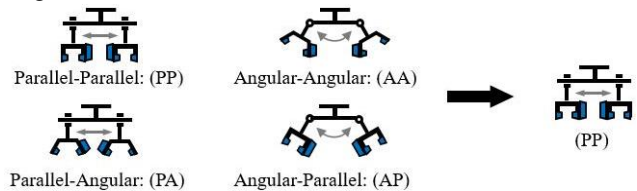


Bild 7 IU Level IIIIII

Inspiziert von IU Level IIIIII und IIIIII sollte es die dritte integrierte Einheit geben, die als „IIIII“ bezeichnet wird. Jedoch abweichend von den herkömmlichen Anwendungsfällen: Level II um Level III angehängt (Bild 4), muss IU Level IIIIII integriert sein, damit es als Einheit kompakt funktioniert.

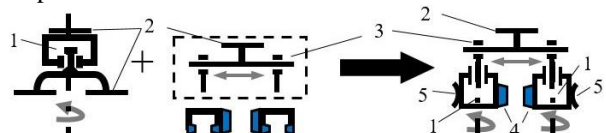


Bild 8 IU Level IIIIII

IU Level IIIIII wird als einheitliches Symbol dargestellt (Bild 8). Parallel werden zwei Drehachsen der Greifachse zugeordnet, durch die 4~6 Fingerpaare für unterschiedliche geometrische Objekte verändert werden können. Aufgrund der unlösbaren Struktur zwischen Level II und Level III funktionieren die integrierten Einheiten von Level IIIIII als vollständiger Endeffektor und werden daher in Level III klassifiziert.

2.2 Kombinationsmethoden: Zusammengesetzt und Standard

Bis hier hin wurden die Grafik- und Schriftsymbole aller Einheiten inklusive Basis und Integrierte aufgezeigt. Sie sind Level I, Level II, IU Level IIIIII, Level III, IU Level IIIIII und IU Level IIIIII. Die Beziehungen dieser sechs Level Einheiten sind in Bild 9 dargestellt. Unter Verwendung der Symbole „/“ und „-“ werden die Kombinations-

methoden einfach in zusammengesetzte Typen bzw. parallele Konstruktionen und Standardtypen bzw. serielle Strukturen unterteilt.

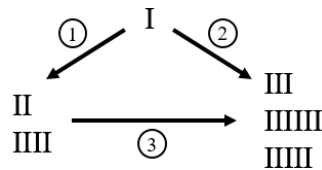


Bild 9 Beziehungen von sechs Level Einheiten

• Kombinationsmethode des zusammengesetzten Typs mit dem Schriftsymbol „/“

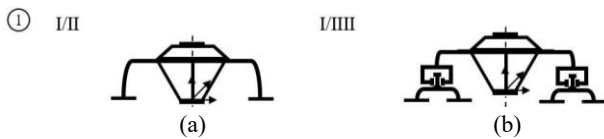


Bild 10 Zusammengesetzte Typen von Level I und II
(a) I/II Komposition
(b) I/III Komposition

Hier können die Einheiten von Level I also serielle Manipulatoren, parallele Manipulatoren oder Pick & Place Geräte genauso wie bei den anderen Level kombiniert werden. Bild 10a zeigt den zusammengesetzten Typ zwischen parallelem Manipulator aus Level I und der passiven Einheit aus Level II. Bild 10b veranschaulicht den zusammengesetzten Typ zwischen parallelem Manipulator aus Level I und PA-Einheit aus Level III (Bild 6c).

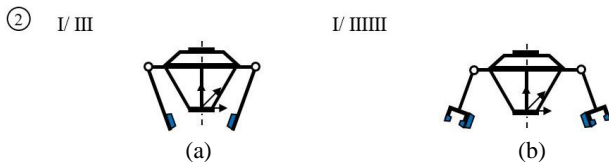


Bild 11 Zusammengesetzte Typen von Level I und III
(a) I/III Komposition
(b) I/III/III Komposition

Ähnlich wie bei den Kompositionen der Gruppe ① zielen die Einheiten, die aus Level I und III zusammengesetzt werden, darauf ab, die Greifobjekte zu diversifizieren. Eine bemerkenswerte Eigenschaft von Gruppe ① und ② ist, dass die Einheit aus Level I durch die parallele Konfiguration eine kollaborative Unteraufgabe ausführen kann, wodurch die Betriebszeit äußerst verkürzt werden kann. Aufgrund des ausgeklügelten Aufbaus werden IUs aus Level III/III vom zusammengesetzten Typ ausgeschlossen. Im Gegensatz zu den beiden vorherigen Gruppen scheint der letzte zusammengesetzte Typ ③ nicht sinnvoll genug zu sein. Ein Hauptgrund ist, dass das Level II eine ähnliche Wirkung wie parallele Kompositionen für die Flexibilität der Greifer hat. Außerdem fehlt es beiden an Freiheitsgraden, weshalb die meisten Kompositionen nicht unersetzlich sind (genauso wie bei Level III/III).

• Kombinationsmethode des Standardtyps mit dem Schriftsymbol „-“

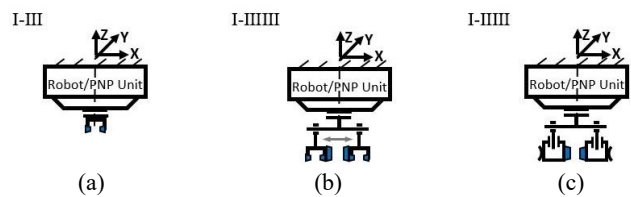


Bild 12 Standardtypen von Level I und III
(a) I/III Standardverbindung
(b) I/III/III Standardverbindung
(c) I/III/III Standardverbindung

Das klare Merkmal des Standardtyps ist die Flanschkupplung, die strukturell wie die serielle Kinematik ist. Bild 12a zeigt die gängigste Standardverbindung mit Roboter und Greifer (I-III). Offensichtlich kann diese einfache Kombination die flexiblen Roboter nicht voll ausnutzen. Daher werden die neuartigen multifunktionalen Greifer mit einem weiteren Freiheitsgrad wie (b) oder (c) entwickelt.

2.3 Anwendungsfälle des hierarchischen und modularen Greifsystems

Durch die Standardverbindung mit dem Symbol „-“ lassen sich die Greifeinheiten als hierarchisches System leicht analysieren. Beispielsweise können die Kombination in Bild 12 als zweistufiges Greifsystem I-III oder I-III/III definiert werden, jedoch ist die Verwendung dieser Symbole für eine einfache Konstruktion eher umständlich. Dennoch, mit der Realisierung der redundanten Verbindung von zwei oder mehr Robotern, der Entwicklung hin zur intelligenten Industriefabrik sowie folglich mehr Hierarchien des Greifsystems, werden sogar schon dreistufige Systeme zu einer Herausforderung. Wie bereits erwähnt, ist die Hierarchisierung und Modularisierung des Greifsystems vorteilhaft, um neue Strukturgreifer abzuleiten oder zu nutzen.

Derzeit sind fünf oder mehr Stufen noch nicht für die Forschung interessant, daher werden drei- und einige vierstufige Systeme detailliert beschrieben.

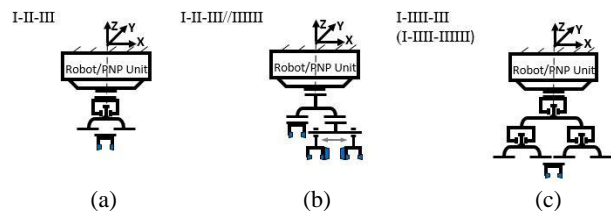


Bild 13 Normale dreistufige Greifsysteme

Bild 13a zeigt ein typisches dreistufiges Symbol eines normalen industriellen Falls, bei dem es sich um einen Roboter mit Revolver plus Greifern handelt. Wenn sich einer der Endeffektoren von anderen Einheiten unterscheidet, kann er als Bild 13b symbolisiert werden. Level III und IU Level III/III müssen jedoch durch „/“ getrennt werden, was bedeutet, dass diese beiden Einheiten sich

wird ein halbes Malteserkreuz¹ angewendet wie in Bild 18 dargestellt.

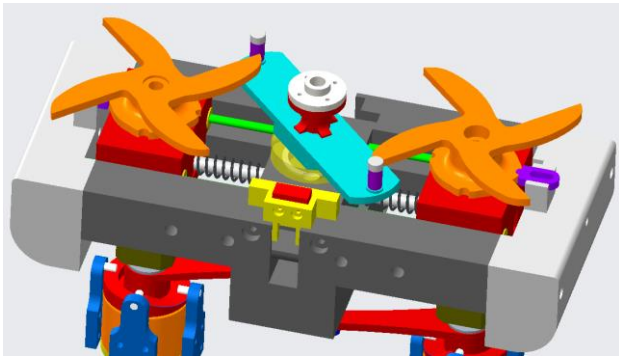


Bild 18 Halbes Malteserkreuz

Der Hauptgrund für die Verwendung des Malteserkreuzes ist die große Toleranz, die den Nachteil der fehlenden Positionsregelung der Servomotoren ausgleichen kann. Demgegenüber stehen die Vorteile des PDI-6221MG Servomotors: sein geringes Gewicht bei großem Drehmoment von 20 kg.cm und die Fähigkeit um 360 Grad unbegrenzt drehen zu können. Wie in Tabelle 1 gezeigt, sind die Gesamtkosten aller Komponenten geringer als 120 €.

Komponenten	Preis	Gewicht
Servo Brick	49,99 €	18 g
IO-16 Bricklet	8,99 €	30 g
2×Servomotor	<2×10 €	2×62 g
Gleitlager	< 20 €	
PLA Material	< 20 €	
Summe	< 120 €	< 1 kg

Tabelle 1 Preisliste der wichtigen Komponenten

Um die Kollision zwischen den Greif- und Drehbewegungen zu vermeiden, ist eine Nut so gestaltet, dass sich der Finger während des Greifens nicht automatisch drehen kann (Bild 19a). Außerdem wird die Positionierkonstruktion des Malteserkreuzes von innen nach außen verschoben (Bild 19b).

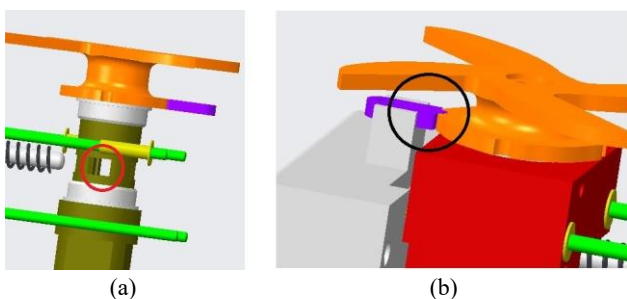


Bild 19 Interne Struktur des Mehrteilgreifers

Ein endgültiger echter Prototyp wird in Bild 20 dargestellt. Dieser ermöglicht es Objekte mit vier verschiedenen Geometrien zu greifen: die Schmalseite eines Radiergummis, ein hohles Rohr und einen Legostein.

die Breiteseite eines Radiergummis, ein hohles Rohr und einen Legostein.

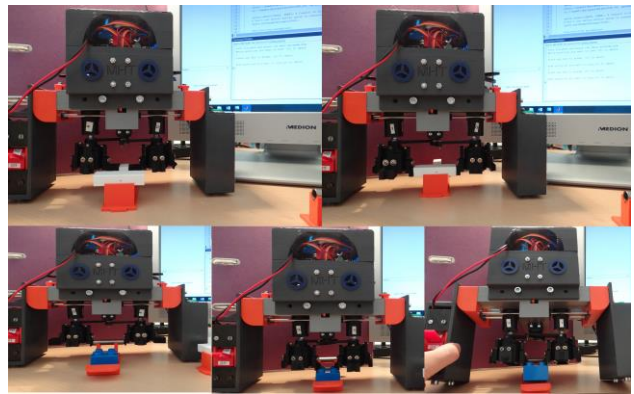


Bild 20 Prototyp des Mehrteilgreifers mit ge Griffenen Objekten

Dieser Mehrteilgreifer kann noch weiter optimiert und das Gewicht auf maximal 500 g reduziert werden. Wie Bild 21 zeigt, kann er mit zwei Einweg-Freilauflagern von nur einem Servomotor realisiert werden.

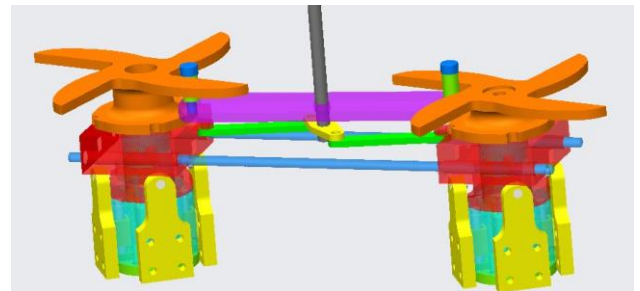


Bild 21 Optimierter Mehrteilgreifer

4 Zusammenfassung

Dieser Artikel enthält eine neuartige Symbologie und Definition für das Greifsystem, die eine einfache Erklärung für das komplexe Greifsystem ermöglicht. Im folgenden Kapitel wird ein Mehrteilgreifer (Minirevolver) für kollaborative Roboter entwickelt, optimiert und vorgestellt, der aus der Symbologie abgeleitet wird. In Zukunft wird die integrierte Einheit aus Level IIIIII entwickelt und getestet. Danach wird das dreistufige Greifsystem I-I/III-III erforscht, um die Produktivität des Pick & Place Prozesses zu steigern.

5 Literaturverzeichnis

- [1] VDI-Richtlinie 2740, Blatt 1: *Greifer für Handhabungsgeräte und Industrieroboter in Mechanische Einrichtungen in der Automatisierungstechnik*, Berlin, Beuth Verlag, 1995, S. 1-8
- [2] Hesse, S.: *Greifertechnik-Effektoren für Roboter und Automaten*, München: Carl Hanser, S. 149-152, 2011
- [3] Yin, F.: *Entwurf eines Mehrteilgreifers für ein neues Greifsystem*, Technische Universität Chemnitz, Bachelorarbeit, 2019

¹ Konstruktive Ausführung siehe [3]

