



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Husam Al-Sameai

Entwicklung eines Robotergreifers für eine automatisierte Verpackungszelle zum Palettieren von Fruchtverpackungen

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Development & Construction*

Husam Al-Sameai

**Entwicklung eines Robotergreifers für
eine automatisierte Verpackungszelle
zum Palettieren von Fruchtverpackungen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau – Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

Firma mworks GmbH
Abteilung Maschinenfinder
Heinrich-Herz-Straße 26, 25336 Elmshorn

Erstprüferin: Prof. Dr. Birgit Köppen

Zweitprüfer: Dipl. Ing. (FH) Björn Möser

Abgabedatum: 26.10.2022

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Husam Abdulwadod Hazaea Al-Sameai

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung eines Robotergreifers für eine automatisierte Verpackungszelle zum Palettieren von Fruchtverpackungen

Stichworte

Automatisierung, Cobot, UR10e, Roboter, Greifer, Pick & Place, Palettieren, Prozessoptimierung

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst die Entwicklung eines geeigneten Robotergreifers für eine automatisierte Verpackungszelle zum Palettieren von Apfelverpackungen unter Betrachtung der vorgegebenen Anforderungen und natürlich noch vieles mehr wie Nachweis der Taktzeit der Verpackungszelle.

Name of Student

Husam Abdulwadod Hazaea Al-Sameai

Title of the paper

Development of a robot gripper for an automated packaging cell for palletizing fruit packaging

Keywords

Automation, Cobot, UR10e, robots, grippers, pick & place, palletizing, process optimization

Abstract

This bachelor thesis includes the development of a suitable robot gripper for an automated packaging cell for palletizing apple packages, considering the specified requirements and of course much more, such as proof of the cycle time of the packaging cell.



Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn Husam Abdulwadod Hazaea Al-Sameai

Matrikel-Nummer: XXXXXXXXXX

Thema:

Entwicklung eines Robotergreifers für eine automatisierte Verpackungszelle zum Palettieren von Fruchtverpackungen.

Beschreibung:

In einer Verpackungsanlage werden Äpfel auf bestehenden Verpackungslinien für den Einzelhandel verpackt. Der Verpackungsprozess für die Primärverpackung umfasst die Schritte Anlieferung, Reinigung, Sortierung und Verpackung in sog. Foodtainer. Nach dem Verschluss der Fruittainer werden diese in Steigen gepackt und die Steigen für den Versand palettiert. Das Ziel ist hier, die personalintensive Befüllung der Steigen zu automatisieren. Für diesen Anwendungsfall wird ein geeigneter Robotergreifer benötigt. Die Bachelorarbeit umfasst dabei folgende Aufgabenpakete:

- 1. Entwicklung unterschiedlicher Greifkonzepte**
 - 1.1 Funktionsanalyse und Anforderungsliste
 - 1.2 Analyse vorhandener Greifkonzepte
 - 1.3 Entwicklung von Greifkonzepten für den Anwendungsfall
 - 1.4 Fertigung des Greifers
- 2. Funktionsnachweis (PoC) des gewählten Greifkonzeptes**
 - 2.1 Theoretische und praktische Prüfung.
- 3. Konzeption eines geeigneten Versuchsaufbaus**

Inhaltsverzeichnis

I	Formelzeichen	V
II	Abkürzungsverzeichnis	VI
III	Tabellenverzeichnis	VII
IV	Abbildungsverzeichnis	VIII
1	Einleitung	1
1.1	mworks GmbH.....	1
1.2	Problemstellung.....	2
1.3	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	2
2	Stand der Technik	5
2.1	Pneumatische Greifer.....	7
2.1.1	Vakuumgreifer (Flächengreifer).....	9
2.1.2	Softgreifer.....	11
2.1.3	Bionische Greifer.....	13
2.2	Elektrische Greifer	15
2.3	Hydraulische Greifer.....	17
2.4	Zusammenfassung Greifsysteme	18
3	Methodische Lösungsfindung	19
3.1	Funktionsanalyse und Anforderungsliste	19
3.2	Lösungsvarianten	21
3.2.1	Ansatz 1 – Flexibler Flächengreifer (Vakuumgreifer)	23
3.2.2	Ansatz 2 – Formhand-Greifkissen.....	27
3.2.3	Ansatz 3 – Großhubgreifer mit Fingern (Parallelgreifer)	30
4	Taktzeitanalyse	42
4.1	Nachweis der Taktzeit	44
5	Versuchserprobung	53
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	57
6.1	Der entwickelte Greifer	57
6.2	Taktzeit.....	59
7	Fazit und Ausblick	60
7.1	Fazit und Diskussion	60
7.2	Ausblick	61
Anhang		65
Anhang A: Technische Zeichnungen		65
A1 – Technische Zeichnungen der Prototyp-Greiffinger		65
A2 – Technische Zeichnung des Griffs der Lineareinheit.....		67
A3 – Bilder und technische Zeichnung der optimierten Greiferfinger		68
Anhang B: Videos der Greifversuche.....		71

I Formelzeichen

Kürzel	Bezeichnung	Einheit	Formel Nr.
F	Gewichtskraft	N	1
m	Masse	kg	1
g	Erdbeschleunigung	m/s ²	1
M	Moment	Nm	2
h	Hebelarm	m	2
v	Geschwindigkeit	mm/s	-
a	Beschleunigung	mm/s ²	-

II Abkürzungsverzeichnis

Kürzel	Bezeichnung
Cobot	Collaborative robot
UR10e	Universal robot 10e
EE	Endeffektor

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche Lösungsansätze für das Greifen der Foodtainer	22
Tabelle 2: Technische Eigenschaften des Linearschlittens [20]	32
Tabelle 3: Suchergebnisse der Fingerantrieb	37
Tabelle 4: Technische Daten 2F-140 [12]	39
Tabelle 5: Prozessstörung - Auftreten von Untergewicht	43
Tabelle 6: Greifvarianten der Foodtainer	48
Tabelle 7: Simulierte Roboter in RoboDK	48
Tabelle 8: Eingegebene Roboterparameter in der Simulation	49
Tabelle 9: Ergebnisse der Taktzeit	52
Tabelle 10: Ergebnisse der Taktzeit	59

IV Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschiedene Foodtainer	2
Abbildung 2: Umgebung des aktuellen Packprozesses	3
Abbildung 3: Cobot - UR10e [2].....	5
Abbildung 4: Winkelgreifer ASGW [28]	7
Abbildung 5: Pneumatische Greifer – GRIPKIT [7]	8
Abbildung 6: Venturi-Düse [9].....	9
Abbildung 7: Auswahl von typischen Sauggreifern – Saugelemente [5].....	10
Abbildung 8: Vakuum Greifer - ROB-SET FXCB UR O20 [8].....	10
Abbildung 9: SoftGripper [10]	11
Abbildung 10: Softgreifer – Fingeranzahl [10].....	12
Abbildung 11: Softgripping – Beispiele [10]	12
Abbildung 12: Bionische Greifer DHDG - Fin Ray Effekt [17].....	13
Abbildung 13: Fin Ray Effekt [24]	14
Abbildung 14: Schunk Universalgreifer EGH [11]	15
Abbildung 15: Robotiq Parallelgreifer 2F-140 [12]	16
Abbildung 16: OnRobot Vakuumgreifer VGP20 [13].....	16
Abbildung 17: RÖHM hydraulische Greifzange RPP-64 [14]	17
Abbildung 18: Produktionslinie 1	19
Abbildung 19: Greifprozess durch den Werker	20
Abbildung 20: Wichtige Eigenschaften von Greifobjekten für die Auswahl des Greifers [5]21	
Abbildung 21: Folienfoodtainer	22
Abbildung 22: Blitzfoodtainer	22
Abbildung 23: Kenos Vakuumgreifsysteme [18]	23
Abbildung 24: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 1 – Folienfoodtainer	24
Abbildung 25: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 2 – Folienfoodtainer	24
Abbildung 26: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 3 – Blitzfoodtainer	25
Abbildung 27: Hochkant Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG 60 – Blitzfoodtainer	25

Abbildung 28: Verformung der Folie	26
Abbildung 29: Rückstellung der Folie und Rissbildung	26
Abbildung 30: Formhandgreifer FH-R150 [19].....	27
Abbildung 31: Greifversuch mit Formhandgreifer FH-R150 – Folienfoodtainer [29]	28
Abbildung 32: Greifversuch mit Formhandgreifer FH-R150 – Blitzfoodtainer [29].....	28
Abbildung 33: Greifversuch 1 mit kleinem Formhandgreifer [29].....	29
Abbildung 34: Greifversuch 2 Formhandgreifer FH-R80 [29]	29
Abbildung 35: Greiffinger - Variante 1.....	30
Abbildung 36: Greiffinger - Variante 2.....	31
Abbildung 37: Linearschlitten – WW-10-30-08 – [20].....	32
Abbildung 38: Führungsschiene – WS-10-30 – [21].....	33
Abbildung 39: Griff der Lineareinheit + Adapter der Finger.....	33
Abbildung 40: Manuelles Linearsystem mit Fingern – CAD-Modell - V1	34
Abbildung 41: Manueller Quer- und Hochkant-Greifttest mit Fingern – V1+2.....	35
Abbildung 42: Manueller Greifttest mit Fingern – Variante 2.....	35
Abbildung 43: Robotiq 2F-140 [12].....	38
Abbildung 44: Robotiq 2F-140 Greifer ohne Finger	39
Abbildung 45: Adapterstück der Finger.....	40
Abbildung 46: Angepasste Finger + Zusammenbau des Greifers	40
Abbildung 47: Montage des Greifers am Handgelenk des Roboters UR10e [12]	41
Abbildung 48: Prozessstörung - Stauung der Foodtainer.....	42
Abbildung 49: Prozessstörung – Foodtainer Untergewicht	43
Abbildung 50: RoboDk - Benutzeroberfläche.....	44
Abbildung 51: Abmessungen der Förderbänder und der Kiste.....	45
Abbildung 52: Arbeitsplatz des aktuellen Packprozesses	45
Abbildung 53: Vention-Plattform	46
Abbildung 54: RoboDk-Bibliothek	47
Abbildung 55: Verpackungszelle mit dem UR10e	47

Abbildung 56: Greifvariante 1 – Simulation mit Fanuc CRX - 10iA.....	50
Abbildung 57: Greifvariante 1 – Simulation mit Fanuc LR-Mate 200iD/7L.....	50
Abbildung 58: Greifvariante 2 – Simulation mit dem UR10e	51
Abbildung 59: Greifvariante 2 – Simulation mit Fanuc CRX - 10iA.....	51
Abbildung 60: Greifvariante 2 – Simulation mit Fanuc LR-Mate 200iD/7L.....	51
Abbildung 61: Versuchsaufbau in Vention	53
Abbildung 62: Greifversuchsaufbau im Technikum von mworks GmbH.....	54
Abbildung 63: Greifversuch mit dem Robotiq-Greifer.....	55
Abbildung 64: Rheinfolge des Packversuchs mit dem Greifer.....	56
Abbildung 65: Der entwickelte Greifer.....	57
Abbildung 66: Lösungsansatz für das Lascheproblem.....	58
Abbildung 67: Optimierter Greiffinger	58

1 Einleitung

In dieser Bachelorarbeit geht es um die Entwicklung eines Robotergreifers für einen Kunden. Dieser Robotergreifer soll an einem Cobot oder Industrieroboter implementiert werden können und für das Greifen von Apfelverpackungen in einem Packprozess geeignet sein. Dabei müssen die Anforderungen vom Kunden berücksichtigt erfüllt werden. Im ersten Abschnitt wird die Firma mworks vorgestellt, anschließend die Problemstellung und zum Schluss die Zielsetzung und Vorgehensweise.

1.1 mworks GmbH

Mworks ist ein innovativer und in Deutschland einzigartiger Dienstleister für individuelle Sondermaschinen, Produktions- und Automatisierungslösungen. Die Firma wurde im Jahr 2011 gegründet und wurde seitdem mehrmals für den großen Preis des Mittelstandes in der Region Hamburg und Schleswig-Holstein nominiert [22].

Die Firma mworks hat den Untertitel „die Maschinenfinder“. Sie hat sich auf die Planung, Konzeption und Beschaffung von Produktionsanlagen und Sondermaschinen aller Art spezialisiert. Sie findet entweder die benötigten Maschinen, passt Standardmaschinen oder Einzelkomponenten durch entsprechende Konstruktionsleistungen an den jeweiligen Produktionsprozess des Kunden an. Zu Ihren Kunden zählen u. a. VW, Siemens und BASF.

Im Fokus steht die technologisch und wirtschaftlich beste Lösung für jeden individuellen Produktionsprozess zu finden oder bestehende Anlagen effizient zu modernisieren oder zu automatisieren.

Durch den stetigen Erfolg konnte das Unternehmen weiterwachsen und hatte über die Jahre zwei weitere Standorte in Erfurt und in den USA verzeichnen können.

Des Weiteren hat mworks ein Schwesterunternehmen namens „msteel“ und die Abteilung mworks - Industrieservice, um weitere industriebezogene Aufgaben von der Firma abdecken zu können. Zu diesen Aufgaben gehören unter anderem Logistik und Herstellung. Die Fertigung und Montage der Maschinen für mworks werden bei msteel durchgeführt [22].

1.2 Problemstellung

Ein Anwendungsfall bei mworks ist die Automatisierung von bestehenden Applikationen beim Kunden. Eines der bekanntesten Applikationen ist die Pick and Place Anwendung. Das Grundprinzip dieser Applikation ist das Greifen und Bewegen eines Objekts von einem Punkt zum Anderen. Für einen Kundenauftrag der Firma Elbe-Obst soll eine Automatisierungslösung für vorhandene Verpackungsanlagen entwickelt werden.

In dieser Verpackungsanlage werden Äpfel auf bestehenden Verpackungslinien für den Einzelhandel verpackt. Der Verpackungsprozess für die Primärverpackung umfasst die Schritte Anlieferung, Reinigung, Sortierung und Verpackung in sog. Fruittainer. Nach dem Verschluss der Foodtainer werden diese in Steigen gepackt und die Steigen für den Versand palettiert. Aufgrund der personalintensiven Tätigkeit und dem aktuellen Fachkräftemangel wird eine wirtschaftliche, automatisierte Lösung angestrebt.

Eine automatisierte Lösung soll mit einem Roboter realisiert werden und für diesen wird ein geeigneter Robotergreifer benötigt.

1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, einen Robotergreifer zu entwickeln, der das Greifen von Apfelverpackungen unter Berücksichtigung der vorgegebenen Anforderungen ermöglicht. Apfelverpackungen werden im Folgenden auch Fruittainer oder Foodtainer genannt. Eine Darstellung von unterschiedlichen Foodtainern ist in Abbildung 1 zu sehen.



Abbildung 1: Verschiedene Foodtainer

Hierfür wird für den zur Verfügung stehenden Cobot UR10e ein geeigneter Greifer entwickelt, der sowohl die geforderten Anforderungen als auch die Funktionen zum Greifen der Fruittainer erfüllt.

Der zu entwickelnde Greifer soll auf dem UR10e implementiert werden, kann aber auch mit einem anderen Cobot oder Roboter verwendet werden. Als erstes wird untersucht, ob der aktuelle Prozess mit dem Roboter durchführbar ist. Dazu wird der Prozess per Video dokumentiert und die Bewegung des Werkers analysiert, um die Anforderungen bzw. die Funktion des Greifers zu definieren. Des Weiteren werden verschiedene Greifkonzepte für das fruchtschonende Handling der Fruittainer in erster Linie analysiert und anschließend entwickelt. Nach der Entwicklung der Konzepte werden diese manuell getestet. In Abbildung 2 wird das aktuelle Setup des Packprozesses mit dem Werker dargestellt.



Abbildung 2: Umgebung des aktuellen Packprozesses

Die Aufgabe des Greifers ist es, die verschiedene Varianten der Foodtainer stabil und ohne Beschädigung zu greifen. Dazu soll der Greifer in der Lage sein, die Foodtainer nicht nur in Längsrichtung, sondern auch hochkant greifen können. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, werden verschiedene Greifkonzepte untersucht und das passende Konzept entwickelt.

Im nachfolgenden Kapitel 2 wird ein Ausblick auf den Stand der Technik hinsichtlich der am Markt vorhandenen Greifkonzepte gegeben. Darauf folgen im Kapitel 3 Erläuterungen zu den Lösungsvarianten sowie die Funktionsanalyse und Anforderungsliste des zu erprobenden Greifers. In Kapitel 4 wird erläutert, wie die Analyse und der Nachweis der Taktzeit durchgeführt wird. Die Versuchserprobung und der Versuchsaufbau werden in Kapitel 5 beschrieben. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse dokumentiert und ausgewertet. Kapitel 7 enthält ein Fazit und einen Ausblick auf die vorliegende Arbeit.

2 Stand der Technik

Bei den meisten Automatisierungsaufgaben im Pick & Place-Bereich wird ein Roboter mit einem Endeffektor (EE) eingesetzt.

Das Wort Cobot steht als Abkürzung für kollaborativer Roboter und ist aus dem Englischen „collaborative Robot“ abgeleitet. Mit einem Cobot wird ein Leichtbauroboter bezeichnet, der mit Menschen gemeinsam arbeitet und im Produktionsprozess nicht durch Schutzeinrichtungen von diesen getrennt ist. Der Grund dafür sind die empfindlichen Sensoren in Cobots, die Berührungen sofort erkennen und den Cobot zum Anhalten veranlassen. Daher sind Schutzvorrichtungen wie Zäune und Käfige nicht mehr notwendig. Bei drohender Gefahr für Menschen unterbricht er seine Arbeit und kann somit problemlos zwischen Menschen eingesetzt werden. [1].

Ein Beispiel für einen Cobot ist der UR10e der Firma Universal Robot in Abbildung 3. Der UR10e ist ein kollaborierender Leichtbauroboter mit einer hohen Traglast von 12,5 kg in Kombination mit einer Reichweite von 1,300 mm. Diese Eigenschaften qualifizieren den Cobot für zahlreiche Aufgaben wie das Palettieren, Verpacken und Bestücken von CNC-Werkzeugmaschinen [2].

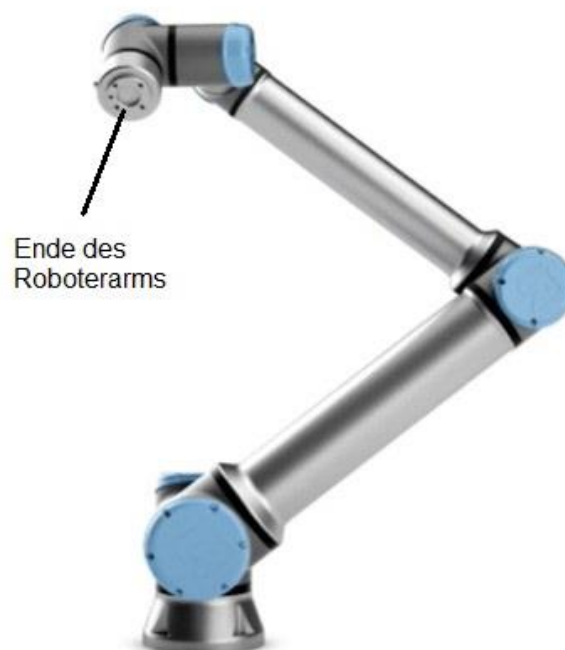


Abbildung 3: Cobot - UR10e [2]

Roboter müssen auch mit einem Endeffektor ausgestattet werden. Ein Endeffektor ist das letzte Glied am Roboter, das am Ende eines Roboterarms angebracht ist und ihm ermöglicht, seine Aufgabe zu erfüllen. Die genaue Art dieses Endeffektors hängt in der Regel von der Anwendung des Roboters ab.

Die meisten Endeffektoren sind mechanisch oder elektromechanisch und dienen als Greifer, Messgeräte oder Sensoren. Sie reichen von einfachen Zweifingergreifern für Pick & Place-Aufgaben, über komplexe Sensorsysteme für die Inspektion bis hin zu industrietauglichen Schleifwerkzeugen für Roboter. Diese Systeme müssen betriebssicher sein und dürfen keine scharfkantigen Oberflächen aufweisen, da sie am Roboter fest installiert werden [1].

Was macht einen Greifer aus? Ein Greifer ist ähnlich wie die menschliche Hand am Arm. Daher kann der Greifer wie folgt definiert werden: Der Greifer ist der Teil des Roboters, der die eigentliche Aufgabe ausführt und den Roboter damit erst zu einer funktionsfähigen Maschine macht. Laut der VDI-Richtlinie 2740 sind die wesentlichen Aufgaben eines Greifers das Herstellen, Festhalten und Auflösen der Verbindung zwischen dem gegriffenen Objekt und dem Handlingsystem [4]. Industrieroboter und Cobots werden hier vor allem als Handhabungssysteme eingesetzt. Je nach Anwendungsfall können jedoch weitere spezielle Funktionen für den Greifer hinzukommen wie z.B. die Positionsänderung des Greifobjekts und Änderung der Orientierung des Greifobjekts. Der Antrieb eines Greifers kann dabei variieren.

Ein Greifer muss Kräfte und Momente auf das Objekt ausüben bzw. aufnehmen, um seine Aufgabe zu erfüllen. Deswegen sind Kräfte und Momente wichtig und müssen bekannt sein oder zumindest abgeschätzt werden können, um einen Greifer auszuwählen oder auszulegen [5].

In diesem Kapitel werden verschiedene vorhandene Greifkonzepte und Anwendungsbeispiele vorgestellt. Im Schlussteil werden die Vor – und Nachteile dieser Greifkonzepte für den betrachteten Anwendungsfall in dieser Arbeit aufgelistet.

Als Versuchsroboter steht der UR10e zur Verfügung und soll beim Kunden eingesetzt werden. Daher werden nur kompatible Greifsysteme für diesen Robotertyp untersucht und präsentiert.

2.1 Pneumatische Greifer

Mehr als 95 % der Greifer werden pneumatisch angetrieben [23]. Ein pneumatischer Greifer verwendet Druckluft, um seine Backen, auch Finger genannt, zu betätigen. Diese Greiffinger funktionieren ähnlich wie menschliche Finger, indem sie Objekte an der gewünschten Stelle halten und greifen. Pneumatische Greifer haben in der Regel 2 Finger (Parallelgreifer oder Winkelgreifer) oder 3 Finger, die einen einfach oder doppelt wirkenden Zylinder zur Steuerung verwenden. Als Beispiel für einen Winkelgreifer ist in Abbildung 4 der Greifer ASGW der Firma ASUTEC GmbH dargestellt.



Abbildung 4: Winkelgreifer ASGW [28]

Es existieren zwei Hauptarten von Greifern. Der Winkelgreifer und Parallelgreifer, der auch als Klemmgreifer bezeichnet wird. Parallelgreifer sind die beliebtesten und am verbreitetsten aufgrund ihres einfachen Designs und ihrer Fähigkeit, mit verschiedenen Dimensionen zu arbeiten. Pneumatische Greifer werden oft in Automatisierungsprozessen eingesetzt, in denen Einzelteile wie winzige Halbleiter bis hin zu viel größeren Teilen wie Automotoren hergestellt werden. Greifer werden ebenso häufig in der Robotik eingesetzt, um bei Pick-and-Place-Anwendungen und anderen Interaktionen zu assistieren. [6]

Beispiele hierfür sind die in Abbildung 5 dargestellten pneumatischen Greifer der Firma WEISS ROBOTICS. Links in der Abbildung ist der GRIPKIT P Pro S und Rechts der Greifer GRIPKIT PZ Pro M mit drei Fingern zu sehen.

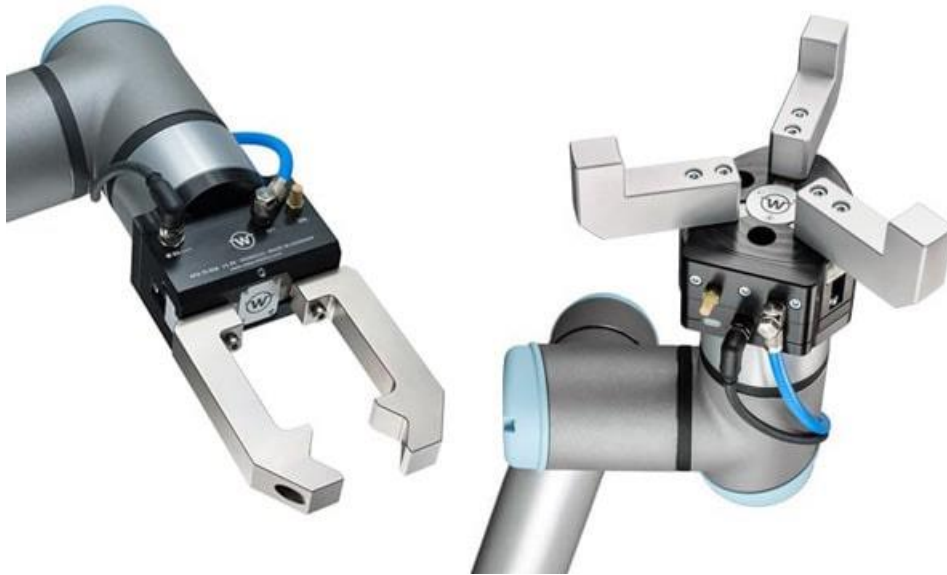


Abbildung 5: Pneumatische Greifer – GRIPKIT [7]

Die Greiffinger werden unterschiedlich gestaltet, um der Anwendung optimal gerecht zu werden. Auf dem Markt gibt es viele verschiedene Varianten von Greifern, die nach dem pneumatischen Prinzip angetrieben sind. Unter dem pneumatischen Prinzip versteht man die Umsetzung von Druck- in Bewegungsenergie, wobei Kräfte übertragen und weitergeleitet werden [3]. In Abschnitt 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.3 werden einige Beispiele dazu präsentiert.

2.1.1 Vakuumgreifer (Flächengreifer)

Für große Objekte mit großen und relativ ebenen Oberflächen eignen sich zum Beispiel Saug- oder Vakuumgreifer, die primär für Palettierungsaufgaben eingesetzt werden.

Ein Vakuumgreifer funktioniert durch die Erzeugung eines Unterdrucks zwischen Greifer und Werkstück. Dazu wird der Greifer an einen Vakuumerzeuger (Ejektor) angeschlossen, der die Luft aus dem Raum zwischen Vakuumgreifer und Werkstück evakuiert.

Um das Funktionsprinzip eines Vakuumerzeugers zu erläutern, wird die Venturi-Düse in Abbildung 6 betrachtet. Zur Vakuum-Erzeugung wird Druckluft durch den Anschluss (A) in die Düse eingeleitet (B), wodurch die Druckluft dabei beschleunigt und komprimiert wird. In der Kammer dahinter kann sich die beschleunigte Luft wieder ausdehnen, was einen Unterdruck (Vakuum) erzeugt. Dadurch wird Luft durch den Vakuum-Anschluss (D) in den Ejektor gesaugt [9].

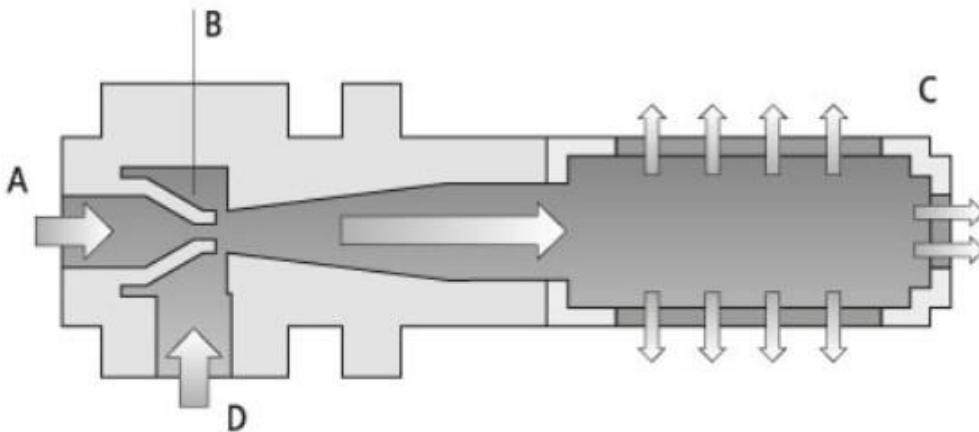


Abbildung 6: Venturi-Düse [9]

Greifkräfte sind bei Greifern sehr wichtig, da sie Druck auf das zu greifende Objekt ausüben. Die Greifkraft beim Sauggreifen ist proportional zur Fläche des Saugnapfs und zum Vakuumniveau und wird durch unterschiedliche Formen des Saugelements erzeugt [5]:

1. Saugnapf bzw. Saugbalg: Es besteht eine große Bandbreite an Formen, Größen und Materialien für den Saugnapf. Die Saugnapfe werden häufig zu Saugspinnen kombiniert.

Bei großen Objekten können auch mehrere Saugnäpfe verwendet werden, um die wirksame Fläche und damit die Kraft zu erhöhen (Abbildung 7 links und mittig).

2. **Flächensauger:** Dieser Sauger dichtet komplexere Oberflächen mit Schaum ab (Abbildung 7 rechts).



Abbildung 7: Auswahl von typischen Sauggreifern – Saugelemente [5]

Es gibt viele verschiedene Varianten von Vakuumgreifern. Als Beispiel wird in Abbildung 8 das Vakuumgreifsystem FXCB der Firma Schmalz Robotics dargestellt. Hier wird als Saugelement ein Flächensauger eingesetzt.



Abbildung 8: Vakuum Greifer - ROB-SET FXCB UR O20 [8]

Für das Greifen von kleinen Objekten gibt es neben den kleinen Vakuumgreifern zum Beispiel auch die Softgripping-Variante, die in Abschnitt 2.1.2 ausführlich beschrieben wird.

2.1.2 Softgreifer

Der Softgreifer ist pneumatisch angetrieben. Er wurde von der Firma SoftGripping entwickelt und besteht aus einem Flanschadapter, einer Basis, den Fingern und einem optionalen Saugnapf mit Abstandshalter, wie in Abbildung 9 zu erkennen ist.

Die Finger des Greifers werden durch Luftdruck betätigt. Durch die besondere Form der Finger können diese so verformt werden, dass sie sich wie menschliche Finger bewegen. Dabei umschließen die Finger das Objekt und es wird eine angenehme Handhabung des Objekts erreicht.



Abbildung 9: SoftGripper [10]

Das Herzstück des Softgreifers sind die Finger. Durch die Werkstoffwahl und der geometrischen Auslegung können diese Objekte umschließen, ohne die Oberfläche zu beschädigen. Diese werden bei Pick and Place Aufgaben eingesetzt.

Der Greifer existiert mit verschiedener Basis, Fingeranzahl und verschiedenen Basiswinkeln, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Die Form des zu greifenden Objekts bestimmt die Basis. Ein rundes Objekt benötigt eine zentrische Basis, ein kubisches oder langes Objekt eine Parallele. [10]



Abbildung 10: Softgreifer – Fingeranzahl [10]

Die wichtigsten Vorteile sind das geringe Gewicht, die Geschwindigkeit und die Fähigkeit, mit zahlreichen Arten von Lebensmitteln zu arbeiten.

Ein weiterer Vorteil ist das Greifen von Objekten mit undefinierten Formen, wie in Abbildung 11 als Beispiel dargestellt.



Abbildung 11: Softgripping – Beispiele [10]

2.1.3 Bionische Greifer

Ein ähnliches Greifkonzept wie das Softgripping ist der von der Festo AG entwickelte bionische Greifer DHDG. Er arbeitet mit dem Fin Ray Effekt. Dieser Effekt lässt sich mit dem Verhalten von Fischflossen erklären.

„Fischflossen verhalten sich unter seitlicher Druckeinwirkung unerwartet. Drückt man zum Beispiel mit dem Finger leicht gegen die Schwanzflosse einer Forelle, so knickt diese nicht in Druckrichtung weg, sondern die Flosse bewegt sich entgegen der Druckrichtung zum Finger hin. Diesen Effekt bezeichnet man als Fin Ray Effekt“ [17].

Der in Abbildung 12 dargestellte adaptive bionische Greifer besteht aus einem pneumatischen Antrieb in einem robusten Grundkörper sowie drei Greiffingern.



Abbildung 12: Bionische Greifer DHDG - Fin Ray Effekt [17]

Die Finger passen sich also der Kontur des zu greifenden Teils an, wie in Abbildung 12 dargestellt ist, und können deshalb multifunktional eingesetzt werden. Durch das großflächige Greifen wird sehr wenig Kraft benötigt und zusätzlich ist durch den Finger Werkstoff das Greifen so schonend, dass dadurch sehr feinfühlig gegriffen werden kann und die Oberfläche nicht beschädigt wird. Deswegen ist der adaptive Greifer für die Lebensmittelindustrie genauso geeignet wie beispielsweise für Sortierarbeiten von unregelmäßigen und empfindlichen Produkten wie Eier, Blumenzwiebeln oder Früchten. Dieses Greifkonzept ist für das Greifen von leichten und empfindlichen Objekten konzipiert.

Der Unterschied zum Softgripping besteht darin, dass die Finger beim Greifen durch die Greifkraft verformt werden. Die Kraft bewirkt, dass sich die Seiten der Struktur biegen, was dazu führt, dass sich die Basis und die Spitze in Richtung der einwirkenden Last verformen. Während beim Softgripping erfolgt die Verformung der Finger durch Leitungen im Finger. Für eine bessere Darstellung wird Abbildung 13 links eine unbelastete Fin Ray® Struktur und rechts eine belastete Fin Ray® Struktur dargestellt [24].

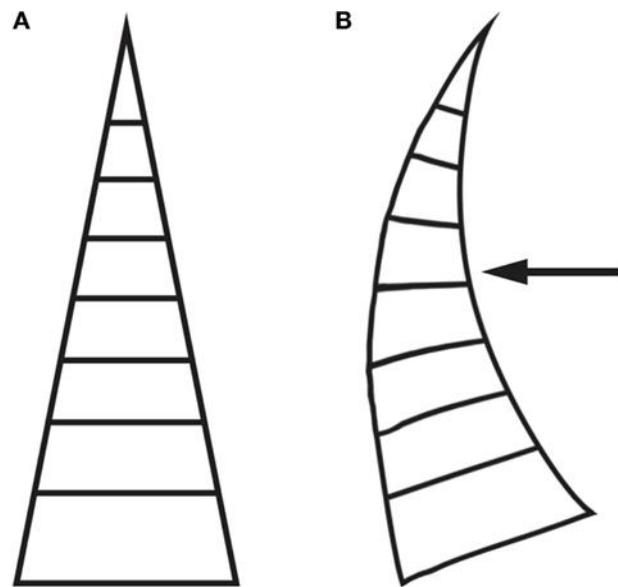


Abbildung 13: Fin Ray Effekt [24]

2.2 Elektrische Greifer

Die elektrischen Greifer sind eine beliebte Wahl für viele Installationen mit Cobots. Sie können im Vergleich zu den pneumatischen Greifern mehr leisten, sind aber teurer. Sie arbeiten viel leiser als pneumatische Greifer und können im Allgemeinen mehr Feedback an das Steuersystem liefern.

Das Besondere an einem elektrischen Greifer ist die hochpräzise Steuerung von Greifkraft, Position und Geschwindigkeit, die mit üblichen pneumatischen Modellen nur schwer zu erreichen sind. Daneben verfügen viele elektrische Greifer über eine Funktion, die anzeigt, ob ein Teil erfolgreich aufgenommen wurde. Sie geben ein HOLD-Signal aus, das prüft, ob die Werkstücke gegriffen oder während des Transfers fallengelassen wurden. Es ist daher kein externer Sensor erforderlich [15].

Auf dem Markt gibt es viele Anbieter für elektrische Greifer wie z.B. Schunk, Destaco, OnRobot und Robotiq. Ein Beispiel ist der Schunk Universalgreifer EGH in Abbildung 14 und der elektrische 2-Finger-Greifer 2F-140 von Robotiq in Abbildung 15.



Abbildung 14: Schunk Universalgreifer EGH [11]



Abbildung 15: Robotiq Parallelgreifer 2F-140 [12]

Auch Vakuumgreifer können elektrisch angetrieben werden, wie der in Abbildung 16 gezeigte Greifer VGP20 der Firma OnRobot.



Abbildung 16: OnRobot Vakuumgreifer VGP20 [13]

2.3 Hydraulische Greifer

Hydraulische Greifer arbeiten mit einer Flüssigkeit (meist Hydrauliköl), die unter Druck gesetzt wird und dadurch Kraft überträgt. Der Einsatz von hydraulischen Greifern im Bereich der Robotik ist aber nicht sehr verbreitet. Die Gründe dafür sind ihr Wartungsaufwand und die Komplexität ihrer Systeme. Außerdem besteht bei der Kopplung von Hydraulikleitungen das Risiko von Leckagen. Dies wäre bei der Handhabung von Lebensmitteln oder medizinischen Gegenständen unzulässig.

Die Verwendung von hydraulischen Greifern kann ein Vorteil sein, wenn höhere Greifkräfte bei geringem Eigengewicht und kompakter Bauweise erforderlich sind. In kollaborativen Anwendungen werden hydraulische Greifer jedoch nur selten eingesetzt, da ihre Greifkraft für die typischen Nutzlasten eines Cobots von bis zu 20 kg zu groß ist [16].



Abbildung 17: RÖHM hydraulische Greifzange RPP-64 [14]

Als Beispiel wird die in Abbildung 17 dargestellte Greifzange der Firma RÖHM betrachtet. Sie ist hydraulisch angetrieben und hat eine minimale Greifkraft von 316 N bis 932 N und einen Hub von 3 bis 6 mm [14].

2.4 Zusammenfassung Greifsysteme

Jedes Greifsystem hat seine Vor- und Nachteile. Die in der Robotik am häufigsten verwendeten Greifsysteme sind pneumatisch und elektrisch, und zusammenfassend lässt sich Folgendes sagen. Pneumatische Greifer sind aufgrund ihrer guten Leistung und niedrigen Kosten verbreitet und beliebt.

Elektrische Greifer hingegen sind präziser und leistungsfähiger als pneumatische Greifer, haben aber im Allgemeinen einen höheren Preis als pneumatische Greifer.

Während sich die elektrischen und pneumatischen Greifer gut für die Zusammenarbeit mit Cobots eignen, haben die hydraulischen Greifer kaum Vorteile. Sie eignen sich nicht für den Einsatz mit Cobots, da bei ihnen die Gefahr von Leckagen durch das Hydrauliköl besteht und ihr eigentliches Potenzial in Bezug auf die Greifkraft nicht genutzt wird.

3 Methodische Lösungsfindung

Vor der Entwicklung eines passenden Greifers muss die Funktion und Anforderung definiert werden. Die beiden Punkte werden im Folgenden näher beschrieben und verschiedene Lösungsvarianten untersucht.

3.1 Funktionsanalyse und Anforderungsliste

Für die Funktionsanalyse wird der Packablauf per Video dokumentiert. Der zu entwickelnde Greifer soll die Handgriffe des Werkers nachimitieren. Dafür wird die Bewegung vom Werker und seine Handgriffe beobachtet und per Video aufgenommen, um zu analysieren, wie er die Apfelverpackungen greift, wie viel er händelt und wie schnell er diese greift. In Abbildung 18 wird das aktuelle Setup der Produktionslinie und die Position des Werkers dargestellt.



Abbildung 18: Produktionslinie 1

In Abbildung 19 werden die drei Schritte des Greifvorgangs von dem Werker gezeigt. Wenn die Apfelpakete am Ende der Linie ankommen, greift der Werker sie fest, transportiert sie zur Kiste und lässt die Äpfel schließlich los. Dies wird so lange wiederholt, bis die Kiste vollständig beladen ist.



Abbildung 19: Greifprozess durch den Werker

Die Anforderungen an den Greifer lauten wie folgt:

- Minimale Greifkraft, um Objekte nicht zu quetschen.
- Fest genug, um die Objekte bei hohen Geschwindigkeiten mit wiederholbarer Genauigkeit zu positionieren.
- Kurze Öffnungs- und Schließzeiten, da diese einen Einfluss auf die Taktzeit haben.
- Adaptionmöglichkeit an UR10e

3.2 Lösungsvarianten

Um eine passende Lösung zu finden, werden die wichtigen Einflussfaktoren betrachtet. In Abbildung 20 wird eine Übersicht der Faktoren gezeigt, die einen Einfluss auf die anzuwendende Greiftechnik haben. Die Objekteigenschaften üben den größten Einfluss auf die Wahl der Greiftechnik aus. Sie bestehen aus Form, Größe und Abmessungen, Gewicht, greifbaren Flächen, Drucksteifigkeit und Porosität.

Die Form des Objekts ist entscheidend für die Kontur der Greiferfinger oder die Anordnung der Saugnäpfe. Im Falle eines Parallelgreifers 3.2.3 nimmt die Form auch Einfluss auf den erforderlichen Hub des Greifers. Ebenso spielen die Abmessungen eine Rolle für die Größe des Klemmgreifers oder die Auswahl des Saugers. Bei Sauggreifern bestimmt das Gewicht des Objekts die notwendige Saugkraft und damit die Fläche und das Vakuumniveau. Beim Klemmgreifer muss die Greifkraft entsprechend dem Objektgewicht gewählt werden. Generell kann die Gewichtsverteilung beim Greifen von Objekten exzentrisch sein, so dass das Kippmoment des Objekts durch angeordnete Saugstellen bzw. genügend große Greifkräfte aufgefangen werden kann [5].

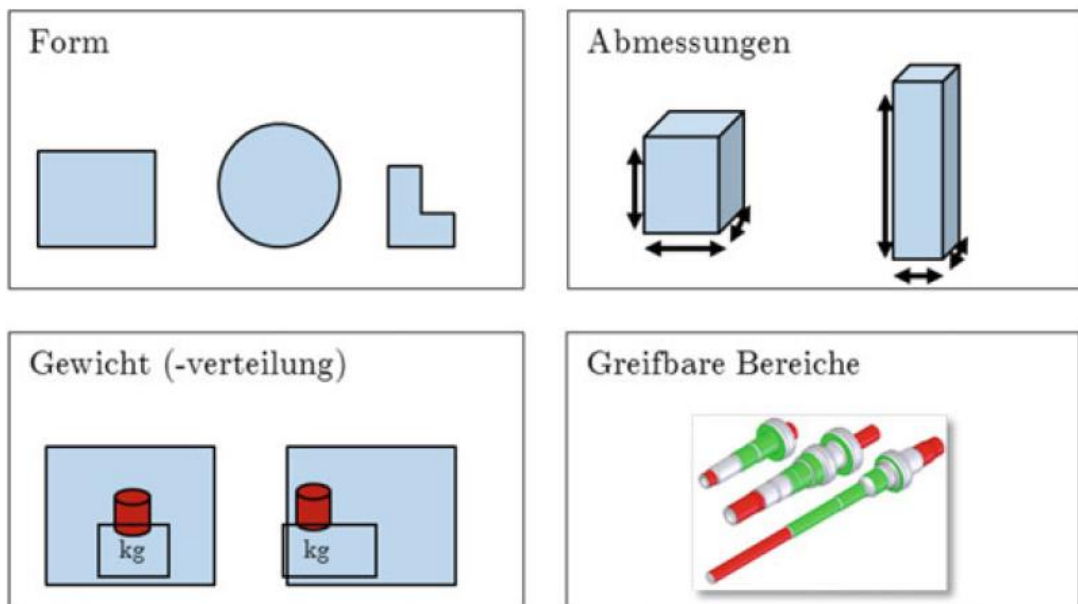


Abbildung 20: Wichtige Eigenschaften von Greifobjekten für die Auswahl des Greifers [5]

Nach eigenen Recherchen werden aus verschiedenen Lösungsansätzen die drei am zielführendsten erscheinenden Ansätze als mögliche Lösungen in Betracht gezogen. Diese Ansätze werden in den folgenden Abschnitten ausführlicher beschrieben.

Als Übersicht werden die drei Ansätze in Tabelle 1 kurz vorgestellt:

Ansatz 1	Ansatz 2	Ansatz 3
Flächengreifer	Formhand-Greifkissen	Parallelgreifer

Tabelle 1: Mögliche Lösungsansätze für das Greifen der Foodtainer

Für die nächsten Kapitel wird im Nachfolgenden die Benennung der Foodtainer festgelegt:

1. Foodtainer mit Folie überzogen: **Folienfoodtainer** – (Abbildung 21).



Abbildung 21: Folienfoodtainer

2. Foodtainer mit geklebtem Pappdeckel: **Blitzfoodtainer**– (Abbildung 22).



Abbildung 22: Blitzfoodtainer

3.2.1 Ansatz 1 – Flexibler Flächengreifer (Vakuumgreifer)

Als erster Ansatz wird die Verwendung eines flexiblen Flächengreifers betrachtet. Die Funktion eines Vakuumgreifers wurde bereits im Abschnitt 2.1.1 beschrieben.

Zur Erprobung dieses Ansatzes wurden die Kenos Vakuum-Greifsysteme der Firma Piab Vakuum GmbH in Abbildung 23 betrachtet [18]. Diese großflächige Vakuumgreifer sind u.a. für Anwendungen in der Verpackungsindustrie entwickelt worden. Sie sind sowohl mit Industrierobotern als auch mit Cobots kompatibel.

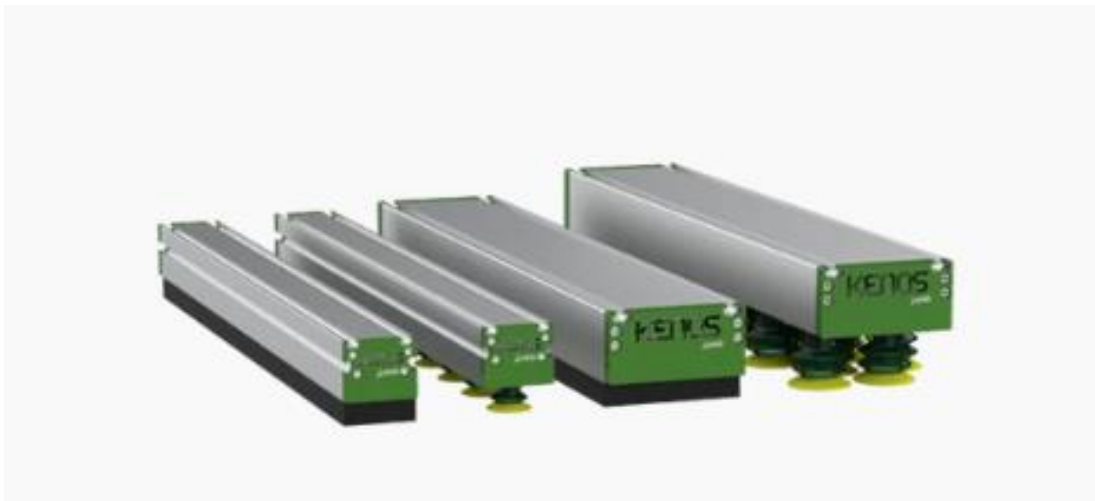


Abbildung 23: Kenos Vakuumgreifsysteme [18]

Die Baureihe in Abbildung 23 bietet eine flexible Lösung für die Behandlung verschiedener Produkte mit unterschiedlichen Formen und Größen. Das für den Versuch betrachtete KVG-Greifsystem ist mit einer Saugmatte aus einem technischen Schaumstoff (FDA-zugelassen) ausgestattet [18].

Um die Greiffunktion des Vakuumgreifers zu testen, werden im Technikum der Firma mworks Greifversuche durchgeführt. Der Test wird sowohl für den Folien-Foodtainer als auch für den Blitz-Foodtainer mit unterschiedlichen Packungsgrößen ausgeführt.



Abbildung 24: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 1 – Folienfoodtainer



Abbildung 25: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 2 – Folienfoodtainer



Abbildung 26: Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG Teil 3 – Blitzfoodtainer



Abbildung 27: Hochkant Greifversuch mit Vakuumgreifer KVG 60 – Blitzfoodtainer

In den Abbildungen 24 bis 27 sieht man den Kenos Vakuumgreifer-KVG im Einsatz. Das Greifen vom Blitzfoodtainer funktioniert jedoch nicht immer. Das Hochkant-Greifen ist ebenfalls eingeschränkt möglich. Der Grund dafür ist, dass der Vakuumgreifer genau an der größten Fläche greifen muss und nicht dort, wo die Aussparung ist, sonst reicht der Saugdruck nicht aus, um die Foodtainer fest zu greifen. Dieses Problem tritt auch beim normalen Greifen des Blitz-Foodtainer auf, da durch die Aussparungen kein ausreichender Saugdruck aufgebaut werden kann.

Beim Test wurde zusätzlich festgestellt, dass sich die Folie beim Greifen des Folienfoodtainer verformt und dabei Risse entstehen, wie in Abbildung 28 zu erkennen ist. Das bedeutet, dass die Verpackung beschädigt wird und dieses Greifsystem ausgeschlossen wird. Die Verformung der Folie bildet sich nach etwa 15 Sekunden zurück, aber die kleinen Risse bleiben wie in Abbildung 29 deutlich sichtbar.



Abbildung 28: Verformung der Folie



Abbildung 29: Rückstellung der Folie und Rissbildung

3.2.2 Ansatz 2 – Formhand-Greifkissen

Der zweite Ansatz ist die Verwendung von Formhand-Greifkissen. Die hohe Adaptionfähigkeit der Greifkissen macht die Formhand-Technologie zu einem universell einsetzbaren Greifsystem, das viele produktspezifische Lösungen ersetzt. Deswegen wurde dieser Lösungsansatz als einer der am zielführendsten Ansätze betrachtet.

Der in Abbildung 30 dargestellte Formhandgreifer besteht aus einem Rahmen und einem Greifkissen. Das Formhand-Greifkissen ist mit Granulat gefüllt und passt sich optimal an die Geometrie und Oberfläche des Greifobjektes an. Beim Greifen kommt es nach der Formanpassung zu einer Evakuierung des runden Greifkissens, was zu einem formschlüssigen Anliegen an der Oberfläche führt. Beim Greifen wird die Greifkraft auf die gesamte abgedeckte Oberfläche des zu greifenden Objekts übertragen, was aufgrund der geringen Druckdifferenz eine schonende Objektbehandlung gewährleistet [19].



Abbildung 30: Formhandgreifer FH-R150 [19]

Nach einer Kontaktaufnahme mit der Firma Formhand Automation GmbH, um Greifversuche zu führen, wurde ein Test im Formhand-Technikum durchgeführt und uns eine Videoaufnahme zur Verfügung gestellt. Das Video ist im Anhang B4 zu finden.

In dem Video ist zu sehen, dass das Greifen von dem Folienfoodtainer problemlos funktioniert.



Abbildung 31: Greifversuch mit Formhandgreifer FH-R150 – Folienfoodtainer [29]

Jedoch war das Greifen von dem Blitzfoodtainer nicht erfolgreich. Das Problem war identisch wie beim Vakuumbreifer. Die Aussparungen in der Verpackung verhindern das feste Greifen, wie in Abbildung 32 rechts zu sehen ist.



Abbildung 32: Greifversuch mit Formhandgreifer FH-R150 – Blitzfoodtainer [29]

Es wurden auch weitere Versuche mit kleinerem Formhandgreifer durchgeführt, um zu sehen, ob das Greifen nur an den abgedeckten Verpackungsflächen ausreichend ist. Die Versuche blieben erfolglos, wie in Abbildung 33 zu sehen ist, so dass auch diese Variante als mögliche Lösung ausscheidet.

Der kleine Formhandgreifer FH-R80 erzeugt nur einen festen Griff, wenn er einen der Äpfel direkt an den Ecken greift. Wie man aber in Abbildung 34 sieht, werden die Foodtainer schräg angehoben, und das ist kein sicherer Griff, wenn dazu die schnelle Bewegung des Roboters beim Transportieren betrachtet wird.



Abbildung 33: Greifversuch 1 mit kleinem Formhandgreifer [29]



Abbildung 34: Greifversuch 2 Formhandgreifer FH-R80 [29]

3.2.3 Ansatz 3 – Großhubgreifer mit Fingern (Parallelgreifer)

Der dritte Ansatz ist die Verwendung eines Großhubgreifers mit parallelen Fingern. Der Erfolg dieses Ansatzes hängt von der Gestaltung der Finger und dem Antrieb des Greifers ab. Die Finger müssen so dünn wie möglich, stabil und lang genug sein, um ein Hochkant-Greifen zu ermöglichen. Auch eine leichte Krümmung am Ende der Finger könnte von Vorteil sein, so dass der Griff sowohl kraftschlüssig als auch formschlüssig funktioniert. Es werden daher zwei verschiedene Varianten entworfen:

- **Variante 1:** Zwei flache Finger ohne Krümmung mit zusätzlicher Greif-Oberfläche (Haftmatten), wie in Abbildung 35.
- **Variante 2:** Zwei dünne Finger in Form einer Hand mit einer leichten Krümmung am Ende der Finger, wie in Abbildung 36.

Die beiden Varianten werden mit dem CAD-Programm Inventor konstruiert und anschließend als Prototyp gefertigt. Die technischen Zeichnungen der Greiffinger sind im Anhang A1 enthalten.

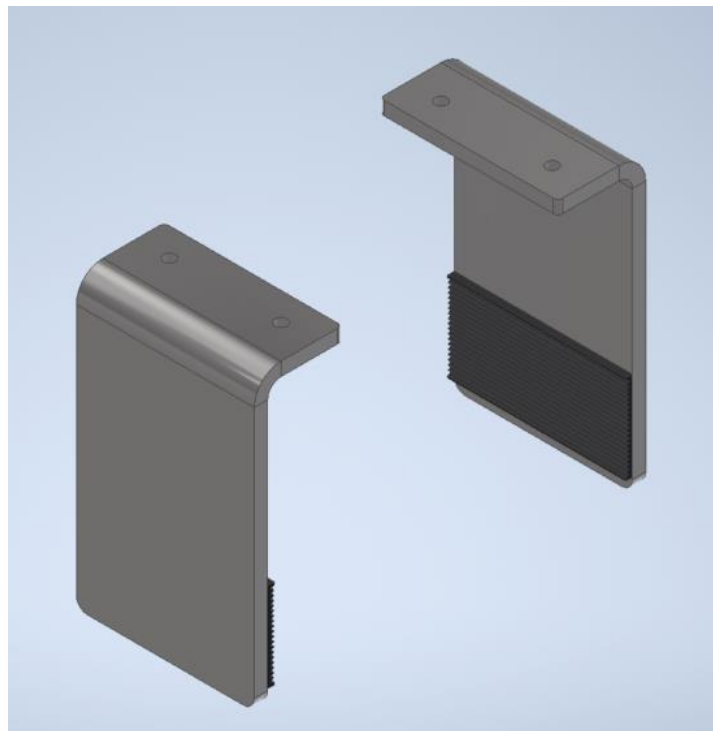


Abbildung 35: Greiffinger - Variante 1

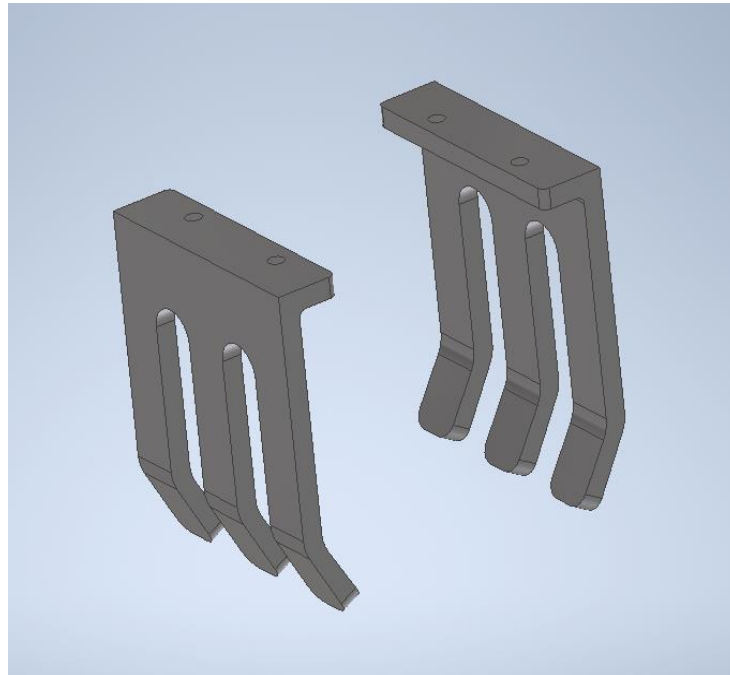


Abbildung 36: Greiffinger - Variante 2

Bevor der Antrieb ausgewählt wird, müssen die Finger noch getestet werden. Um die Greiffinger während des Tests manuell steuern zu können, wird eine Lineareinheit gebraucht. Unter Lineareinheiten versteht man translatorische Bewegungsachsen zur linearen Bahnführung und genauen Positionierung, die zum Verfahren eines Schlittens als Werkstückträger oder Werkzeughalter mit einer geradlinigen Bewegung dienen.

Dazu werden eine Führungsschiene, Linearschlitten, ein Handgriff und Adapter für die Finger benötigt. Der Linearschlitten in Abbildung 37 und die Führungsschiene in Abbildung 38 werden bei Igus bestellt. Der Handgriff wird in Inventor entworfen und bei msteel gefertigt.

Bei der Auswahl und Bestellung der Komponenten wurde sowohl auf die Größe als auch auf die technischen Daten geachtet, so dass sie miteinander kompatibel sind. Es sind hier keine Berechnungen erforderlich, da man in der Website von Igus sehen kann, welche Bauteile miteinander kompatibel sind. Wichtig ist nur zu beachten, welche mechanische Eigenschaften der Linearschlitten hat, sodass die Nutzlastkapazität für das Tragen der Foodtainer ausreicht.

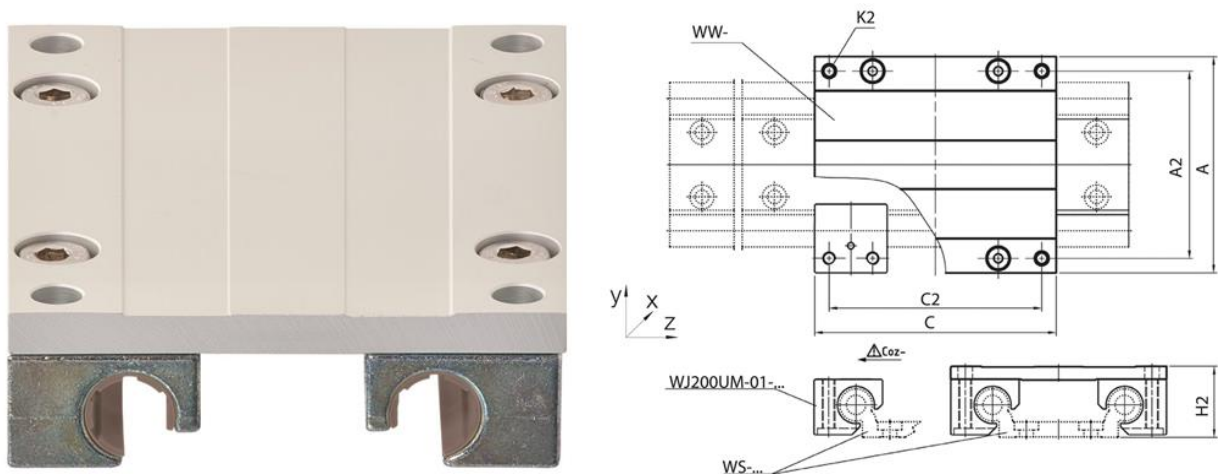


Abbildung 37: Linearschlitten – WW-10-30-08 – [20]

In Tabelle 2 sind die Lastkapazitäten aufgelistet, die der Linearschlitten in Abbildung 37 tragen kann. Das maximale Gewicht des Foodtainers sollte 2 kg betragen. Berechnet man daraus die Kraft in Gleichung (1), wobei F die Kraft, m die Masse und g die Erdbeschleunigung darstellen, und das Moment in Gleichung (2), wobei M das Moment und h der Hebelarm ist, der der Länge des Fingers entspricht, ergibt sich folgendes:

$$F = m \cdot g = 2 \text{ Kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 19,62 \text{ N} \quad (1)$$

$$M = F \cdot h = 19,62 \text{ N} \cdot 0,13 \text{ m} = 2,55 \text{ Nm} \quad (2)$$

Mechanical properties

Static load capacity Coy	1,079 lbs (4,800 N)
Static load capacity Coz	540 lbs (2,400 N)
Static load capacity Mox	53 ft·lb (72 Nm)
Static load capacity Moy	89 ft·lb (120 Nm)
Static load capacity Moz	89 ft·lb (120 Nm)

Tabelle 2: Technische Eigenschaften des Linearschlittens [20]

Vergleicht man die Berechnungsergebnissen mit den Werten aus der Tabelle 2Tabelle 2, so wird festgestellt, dass die Tragfähigkeit des Linearschlittens ausreichend ist, um einen Greifversuch damit durchzuführen.

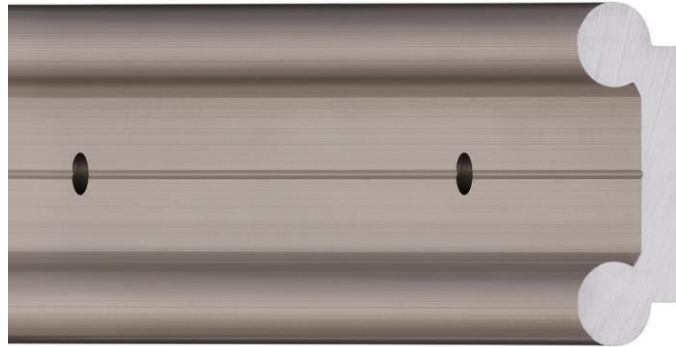


Abbildung 38: Führungsschiene – WS-10-30 – [21]

Der Griff in Abbildung 39 wird auch als Adapterstück für die Finger ausgelegt. Daher hat er zwei Funktionen. Die untere Platte, wo die Bohrungen sind, dient als Adapter zwischen den Fingern und dem Linearschlitten und die obere dient als Griff für den Betätiger, um den Linearschlitten bewegen zu können. Der Griff hat eine Dicke von 8 mm und wird aus Stahl gefertigt. Eine technische Zeichnung ist im Anhang A2 zu finden.

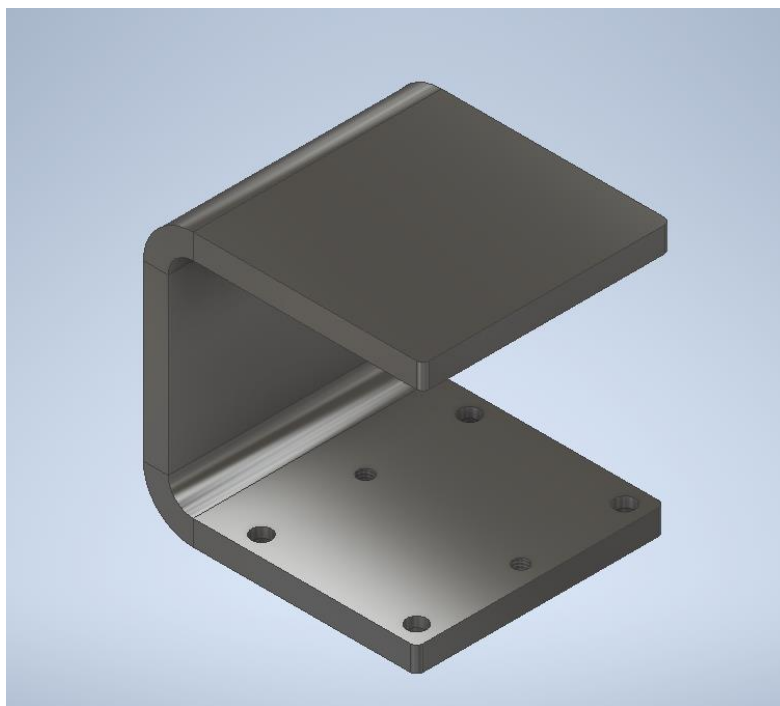


Abbildung 39: Griff der Lineareinheit + Adapter der Finger

Der Zusammenbau der Lineareinheit mit den Fingern ist in Abbildung 40 dargestellt. Jeder Finger ist mit zwei M6x12-Schrauben an dem Adapter befestigt und der Adapter ist mit dem Linearschlitten verschraubt. In den Linearschlitten sind Kunststoffgleitlager eingebaut, die das Gleiten mit der Führungsschiene ermöglichen [20]. An den beiden Enden der Führungsschiene sind zwei M10x16-Schrauben mit zwei Muttern angebracht, um ein Herausrutschen der Linearschlitten zu verhindern.

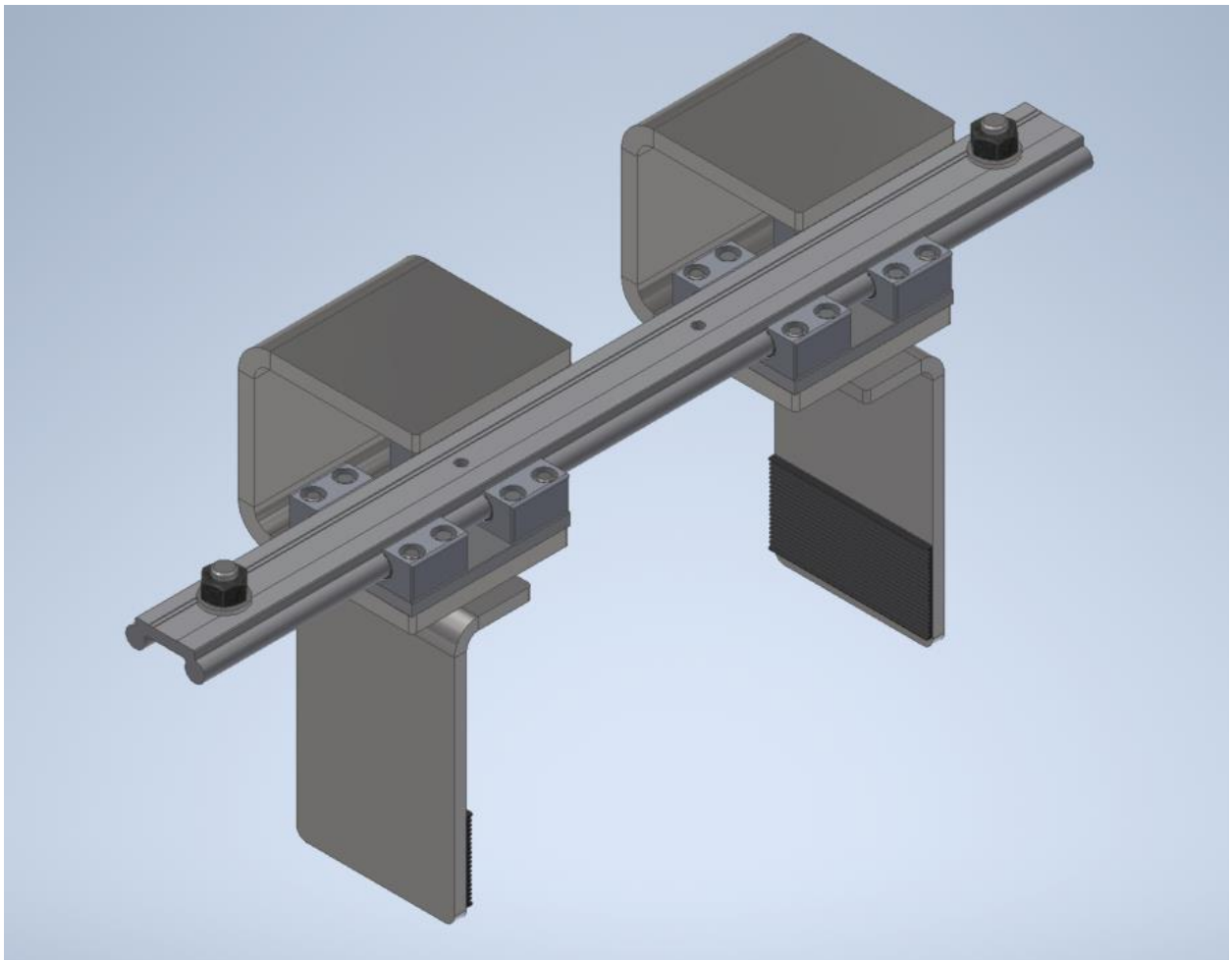


Abbildung 40: Manuelles Linearsystem mit Fingern – CAD-Modell - V1

Nachdem das Linearsystem nun fertiggestellt ist, können die Greiffunktionen getestet werden. Ziel ist es, einen festen, stabilen Griff zu erhalten, ohne die Foodtainer zu beschädigen. In Abbildung 41 erkennt man, dass die Finger die Foodtainer sehr gut greifen. Das gleiche Ergebnis wurde für die Folienfoodtainer erzielt. Beim Hochkant-Greifen fiel auf, dass die Finger nicht lang genug sind. Daher sollte die Länge der Finger optimiert werden.



Abbildung 41: Manueller Quer- und Hochkant-Greiftest mit Fingern – V1+2

Bei der Variante 2 wurde ein Problem festgestellt. Durch die Krümmung am Ende der Finger brauchen die Finger beim Loslassen des Foodtainers mehr Platz als bei Variante 1, sonst kommt es zu einer Kollision mit den Kanten der Kiste (Siehe Abbildung 42). Deswegen eignet sich die Variante 1 besser. Eine leichte Krümmung von 5 Grad könnte noch eingeführt werden, sodass keine Platzprobleme entstehen.

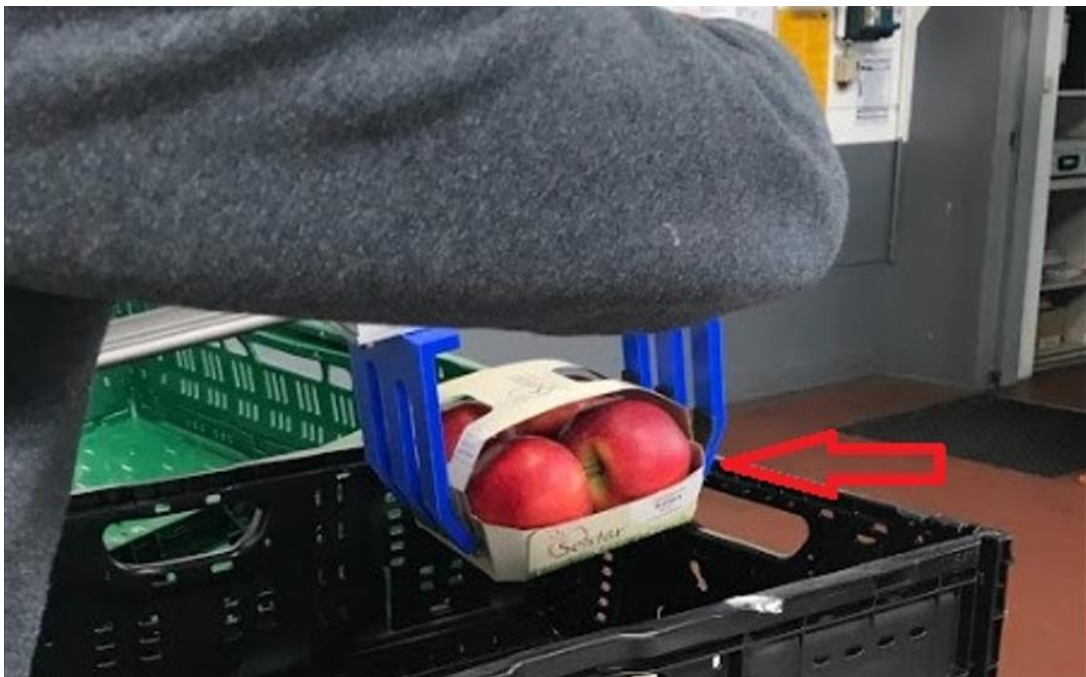


Abbildung 42: Manueller Greiftest mit Fingern – Variante 2

Im Überblick haben sich folgende Ergebnisse aus dem Test ergeben:

- Beide Varianten der Finger sind geeignet, um ohne große Greifkraft die Produkte in beiden geforderten Ausrichtungen sicher zu greifen.
- Es sind keine Beschädigung der Verpackungen beim Greifen entstanden.
- Um Hochkant besser greifen zu können, sollten die Finger länger als 150 mm sein.
- Die Krümmung der Finger sollte möglichst gering sein, sodass keine Platzprobleme beim Loslassen des Foodtainers entstehen.
- Auf die Fingeroberflächen sollen Grip (Moosgummi) geklebt werden, um die Reibung zu erhöhen.

Nach dem Testergebnissen und die daraus gewonnenen Erkenntnisse muss nun ein passender Aktor gefunden werden.

Auf dem Markt gibt es viele verschiedene Antriebe wie pneumatisch, hydraulisch, elektrisch. Um den passenden Antrieb zu finden, müssen noch die Anforderungen definiert werden. Der Antrieb muss die folgenden Aspekte erfüllen:

- Parallelgreifer (Eine Öffnungs- und Schließmechanismus ist wichtig).
- Greifkraft soll einstellbar und möglichst gering sein (minimale Greifkraft max. 10N), sodass die Äpfel nicht beschädigt werden können.
- Zwei Finger werden benötigt.
- Die Finger müssen austauschbar sein.
- Der Hub muss mindestens 80 mm pro Finger beinhalten, da die min. Breite des Foodtainers bei Längsgreifen 160 mm beträgt.
- Greifsystem Traglast 2 kg.
- Wird an Universal Roboter (UR10e) montiert.

Es werden verschiedene Hersteller diesbezüglich kontaktiert. Daraus haben sich folgende Ergebnisse in Tabelle 3 ergeben:

Lieferant	SMC	Festo	Schunk	PHD in Europe	onRobot	RobotIQ
Greiffunktion	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel	Parallel
Antriebsart	Magnetisch	Elektrisch	Elektrisch	Pneumatisch	Elektrisch	Elektrisch
Kraftsteuerung (von – bis) [N]	Max. 120	Max. 49	Ab 50	-	25-120	10-125
Anzahl der Finger	2	2	2	-	2	2
Greif Weg pro Finger [mm]	-	6	40	-	80	70
UR Kompatibel?	nein	nein	Ja	-	Ja	Ja
Max. Traglast	-	3,6 kg	0,5 kg	-	6 kg	2,5 kg
Modelbezeichnung	MHM-X6400	DHPC 16	EGH	GRH 12-5	RG6	Robotiq 2F-140
Passende Version vorhanden?	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja

Tabelle 3: Suchergebnisse der Fingerantrieb

Von allen Suchergebnissen in Tabelle 3 erfüllt der in Abbildung 43 dargestellte Aktuator 2F-140 von Robotiq die erforderlichen Anforderungen mit Ausnahme des erforderlichen Hubs. Dies ist kein Problem, da der Hub des Greifers durch die Gestaltung der Finger zusätzlich vergrößert werden kann. In Abbildung 46 wird der Greifer mit den Fingern mit einem Gesamthub von 214 mm dargestellt. Für die Greifer von SMC und PHD konnten nicht alle Daten gefunden werden, deswegen werden diese Greifsysteme ausgeschlossen.

Der Robotiq Greifer 2F-140 bietet eine anpassungsfähige Lösung für das Greifen mit zwei Fingern. Die Finger sind wechselbar und können je nach Anwendungsfall angepasst werden. Der Greifer bietet einen Hub von 140 mm aber durch die Anpassung der Finger kann der Greifweg erhöht werden.

Der Greifer ist für Cobots entwickelt und verfügt über eine einfach zu bedienende Software-Schnittstelle mit dem Cobot. Daher ist er einfach zu integrieren und programmieren [12].



Abbildung 43: Robotiq 2F-140 [12]

Der Greifer ist elektrisch angetrieben und verfügt über eine kleine Version mit einem Hub von bis zu 85 mm. Die Spezifikationen und technischen Daten sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

TECHNISCHE DATEN	2F-85	2F-140
Hub (einstellbar)	85 mm	140 mm
Greifkraft (einstellbar)	20 - 235 N	10 - 125 N
Nutzlast bei formschlüssigem Greifen	5 kg	2,5 kg
Nutzlast bei Reibschluss	5 kg	2,5 kg
Greifermasse	0,9 kg	1 kg
Positionsauflösung (Fingerspitze)	0,4 mm	0,6 mm
Schließgeschwindigkeit (einstellbar)	20 - 150 mm/s	30 - 250 mm/s
Kommunikationsprotokoll	Modbus RTU (RS-232)	
Schutzklasse (IP)	IP40	IP40
* Alle technischen Daten dienen ausschließlich als Referenz. Die offiziellen technischen Daten entnehmen Sie bitte dem Benutzerhandbuch, das Sie unter support.robotiq.com finden.		

Tabelle 4: Technische Daten 2F-140 [12]

Für den Greifversuch mit dem Cobot in Abschnitt 5 konnte der Greifer von der Firma Freise Automation GmbH gemietet werden. Der Greifer wurde für eine Woche an mworks GmbH vermittelt und damit wurden Greifversuche durchgeführt. Vor dem Test werden die Finger an den Greifer angepasst. Der Greifer ohne Finger wird in Abbildung 44 dargestellt. Um die Finger am Greifer zu befestigen, wird eine Schraube M5x10 DIN 6912 mit zwei Zentrierstiften 2 x 5 - A DIN EN ISO 7834 benötigt, um jeden Finger zu zentrieren.



Abbildung 44: Robotiq 2F-140 Greifer ohne Finger

Die Finger werden durch eine Durchgangsbohrung für die M5 x 10 Schraube nach DIN EN 20273 und 2 Bohrungen für die Zentrierstifte nach DIN EN ISO 8734 an den Greifer angepasst. Die Länge der Finger wird auf 160 mm angepasst. Dadurch können die Greiffinger die gesamte Länge der Foodtainer abdecken, so dass ein besseres Hochkant-Greifen erfolgt. Abbildung 45 zeigt das Adapterstück der Finger und die Verbindungselemente im Greifer.



Abbildung 45: Adapterstück der Finger

In Abbildung 46 sieht man den angepassten Finger und den Zusammenbau mit den Robotiq Greifer.

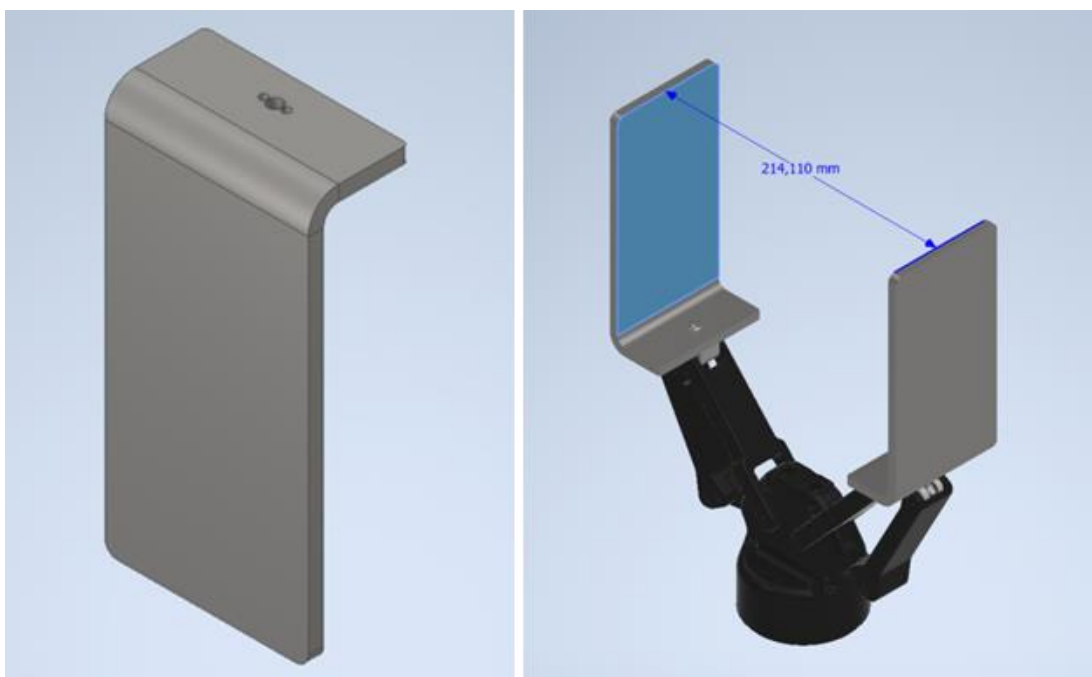


Abbildung 46: Angepasste Finger + Zusammenbau des Greifers

Der 2F-140 Greifer bietet Plug + Play-Integration mit allen Universal Robots-Modellen und ist daher einfach am UR10e anzubringen und in Betrieb zu nehmen.

Abbildung 47 zeigt die Montage des Greifers mit dem Cobot, wofür eine Kupplung erforderlich ist. Eine Montageanleitung sowie alle weiteren relevanten Informationen zum Greifer 2F-140 sind im Anhangsdokument B1 zu finden.

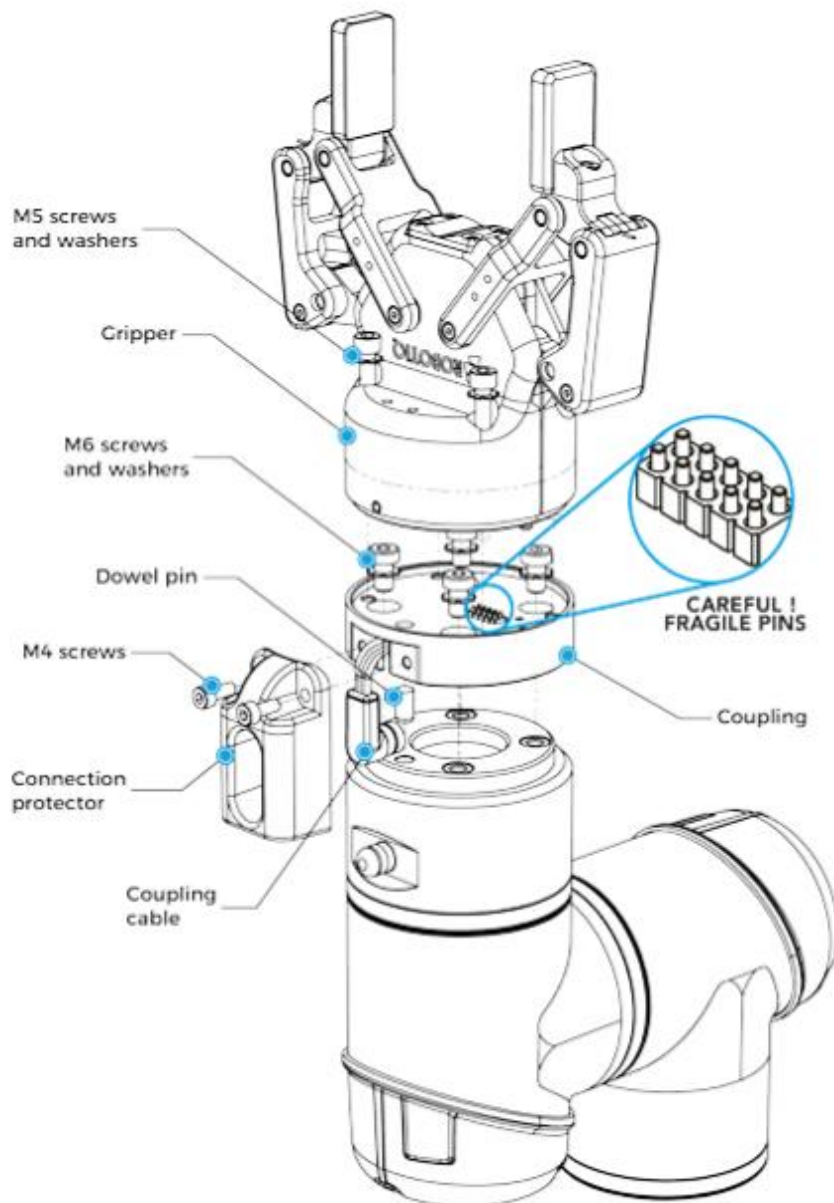


Abbildung 47: Montage des Greifers am Handgelenk des Roboters UR10e [12]

Der Test mit dem Greifer sowie der Versuchsaufbau werden in Abschnitt 5 näher beschrieben.

4 Taktzeitanalyse

Die Betätigung des Greifers hat bei einer Applikation meist wenig Einfluss auf die Taktzeit, da die Greif- und Lösezeiten eines Greifsystems beim Klemmen und Saugen kurz sind. Übliche Werte der Öffnungs- und Schließzeiten bewegen sich im Bereich von einer Sekunde und weniger [5]. Hier soll jedoch die Taktzeit analysiert werden, die von der Länge des Transportweges und der zulässigen Beschleunigung und Geschwindigkeit des Handhabungssystems beeinflusst wird. In unserer Anwendung ist der Cobot UR10e das Handhabungssystem.

Um die aktuelle Taktzeit des Packprozesses zu ermitteln, wird der Packprozess beobachtet und per Video dokumentiert. Aus den Beobachtungsvideos wird im Idealfall eine Taktzeit von ca. 47 Verpackungen pro Minute ermittelt. Berücksichtigt man jedoch die Prozessstörungen, so wird eine Taktzeit zwischen 35 und 45 Verpackungen pro Minute erwartet. Diese Taktzeit sollte bei der Automatisierung eingehalten werden, da sonst die Automatisierung des Prozesses keinen wirtschaftlichen Vorteil hätte. Die höchste Anforderung des Kunden ist es, die kürzere Taktzeit von 47 Verpackungen pro Minute zu erreichen. Die Mindestanforderung ist die Einhaltung der Taktzeit von 1,7 s, was 35 Packungen pro Minute entspricht.

Folgende Prozessstörungen wurden identifiziert:

- **Stau von Foodtainern:** Die Foodtainer stauen sich am Ende der Rollenbahn. Der Grund dafür ist, dass das Band schnell läuft und der Werker nicht schnell genug ist, um jeden Foodtainer einzeln zu greifen. Als Folge davon kommt es zum Stau und der Werker greift 2 bis 3 Foodtainer gleichzeitig, wie in Abbildung 48 dargestellt, um die Taktzeit einzuhalten.

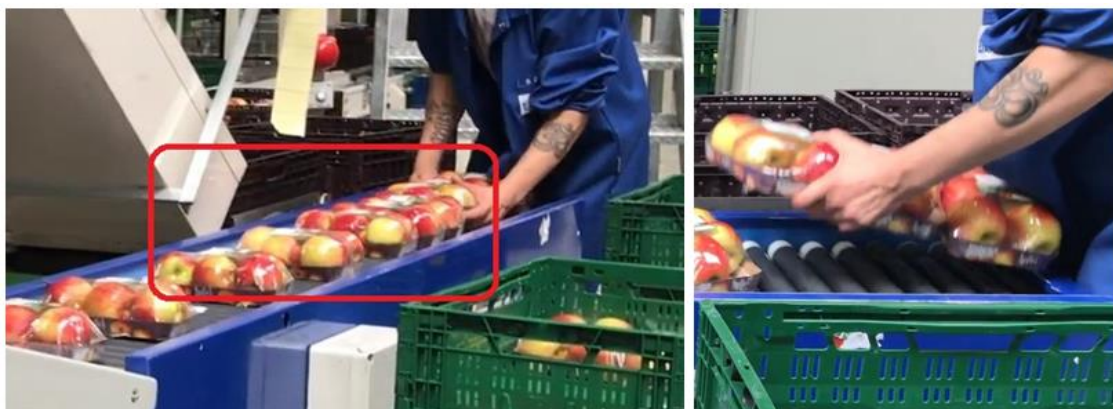


Abbildung 48: Prozessstörung - Stauung der Foodtainer

- **Foodtainer Untergewicht:** Die Foodtainer werden an einer Stelle des Förderbandes mit einer integrierten Waage gewogen. Wenn ein Gewicht von weniger als 1 kg festgestellt wird, öffnet sich ein Auswurfband und die Foodtainer werden abgesondert, wie in Abbildung 49 dargestellt ist. Tabelle 5 zeigt, wie häufig das Untergewicht auftritt und welchen Einfluss das für die Durchflussmenge der Foodtainer hat. Die Durchflussmenge ist die Anzahl der Foodtainer pro Minute, die an den Werker geliefert werden. Nach 9 Messungen hat sich ein Mittelwert von 41 Verpackungen pro Minute im realen Betrieb des Packprozesses ergeben.

Runden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mittelwert
Rundenzeit [s]	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Auftreten von Untergewicht	2	1	1	2	3	6	4	5	0	3
Durchflussmenge [Verpackung/min]	41	43	43	41	42	38	40	39	45	41

Tabelle 5: Prozessstörung - Auftreten von Untergewicht

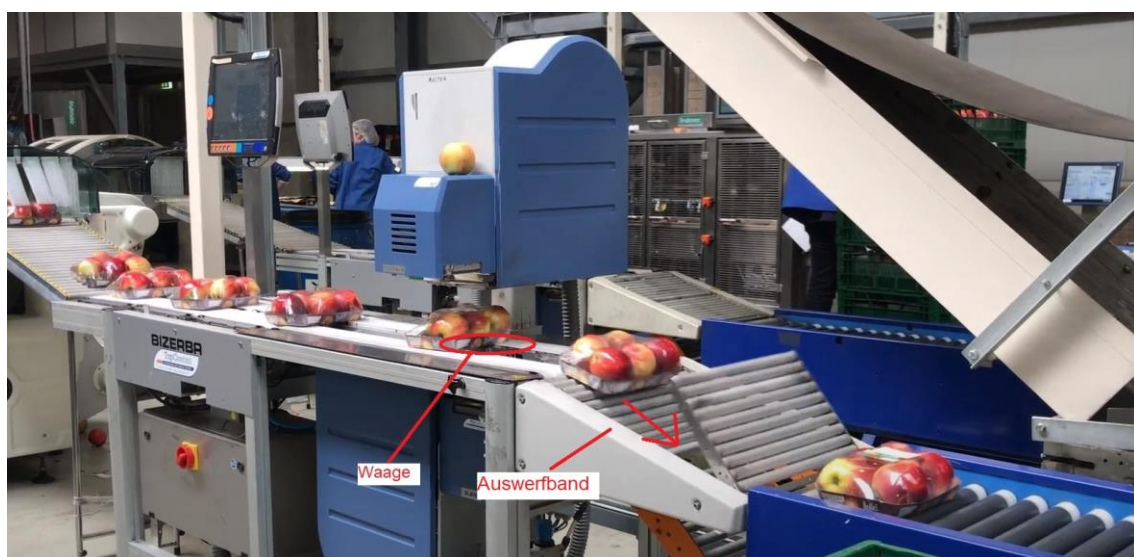


Abbildung 49: Prozessstörung – Foodtainer Untergewicht

4.1 Nachweis der Taktzeit

Nach der Ermittlung der Taktzeit und der Prozessstörungen wird nun eine Simulation mit dem Cobot durchgeführt, um die tatsächliche Taktzeit zu ermitteln. Für den Nachweis der Taktzeit wird das Simulationsprogramm RoboDK verwendet.

RoboDK ist eine Simulationssoftware zum Simulieren von Roboterbewegungen und wird auch zur Offline-Programmierung von Robotern verwendet. Das Programm hat eine umfangreiche Bibliothek mit über 600 Roboterarmen und wird für die Simulation von vielen Anwendungen wie Schweißen, Fräsen, Schneiden, Lackieren, Prüfen, Bestücken, Palettieren, Roboterkalibrierung und vieles mehr eingesetzt. Mit RoboDK kann die Taktzeit eines Prozesses ermittelt werden. Dafür sind keine Programmierkenntnisse erforderlich [25]. Abbildung 50 zeigt die Benutzeroberfläche von RoboDK. RoboDK bietet eine Einsteigerhandbuch und ein kostenloses Schulungsprogramm für den professionellen Einsatz von RoboDK [26]. In diesem Abschnitt werden nicht alle Schritte zu dem Aufbau der Simulation erläutert, sondern nur die wichtigsten Voraussetzungen. Zum besseren Programmverständnis ist das Einsteigerhandbuch und das Schulungsprogramm im Anhang B2 enthalten.

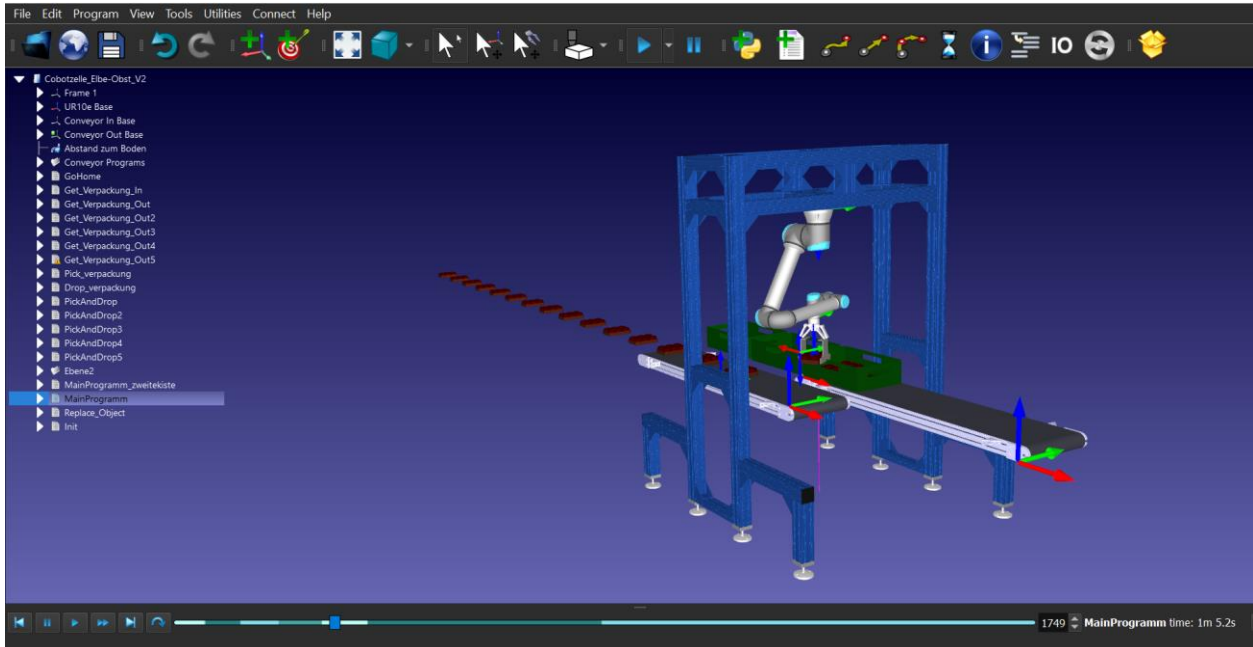


Abbildung 50: RoboDK - Benutzeroberfläche

Für die Simulation werden die Abmessungen der Förderbänder und der Abstand zwischen ihnen benötigt. Neben den Roboterparametern ist zusätzlich die Roboterbewegungsbahn wichtig. Eine optimale Bewegungsbahn führt zu einer kürzeren Taktzeit und wertvoller Produktivität.

In Abbildung 51 werden die benötigten Dimensionen für den Simulationsaufbau gezeigt.

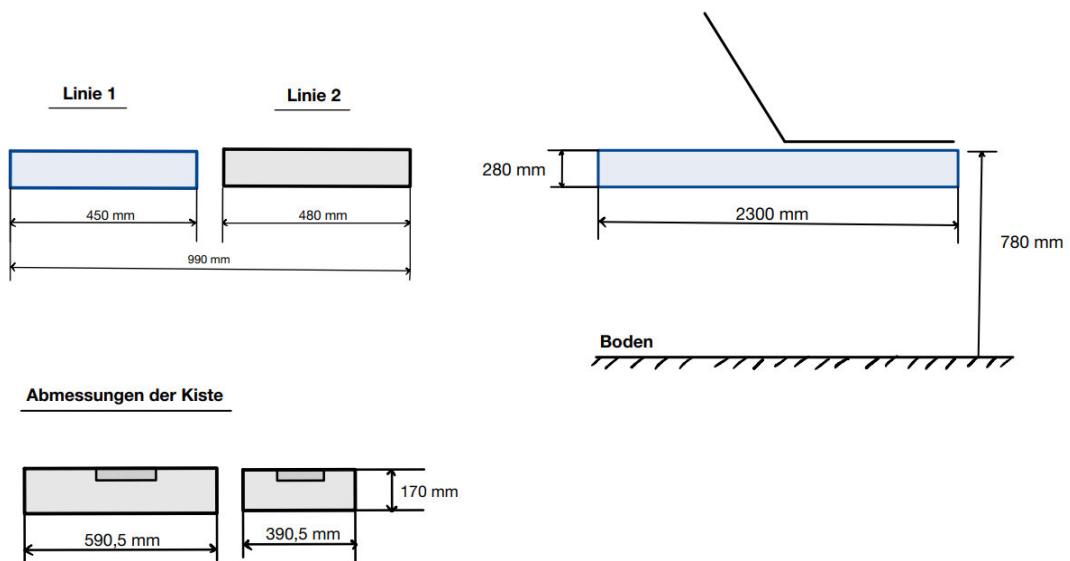


Abbildung 51: Abmessungen der Förderbänder und der Kiste

Aufgrund von Platzmangel, wie in Abbildung 52 zu sehen ist, wird der Roboter kopfüber über der Packstation aufgehängt.



Abbildung 52: Arbeitsplatz des aktuellen Packprozesses

Die Konstruktion des Gestells wird mit der Vention erstellt und in RoboDk importiert. Vention ist ein kanadisches Unternehmen, welches eine online Plattform zum Konstruieren nach dem Baukastenprinzip zur Verfügung stellt [27].

Um in Vention zu konstruieren, wird zuerst einen Account angelegt. Danach hat man die Möglichkeit, einer Arbeitsgruppe beizutreten oder eine zu erstellen. Innerhalb dieser Arbeitsgruppe ist es dann möglich gemeinsam an Projekten zu arbeiten.

Das Konstruieren in Vention erfordert keine großen Vorkenntnisse. Die gewünschten Teile werden aus einer vorgegebenen Bibliothek entnommen, in die 3D-Umgebung eingesetzt und mit den anderen Bauteilen verbunden. Während der Konstruktion werden alle Teile, die verbaut werden, in einen Warenkorb gelegt. Sobald die Konstruktion abgeschlossen ist, so kann man auf den Warenkorb gehen und die Konstruktion bestellen. In Abbildung 53 wird das Gestell und die Vention-Benutzeroberfläche dargestellt.

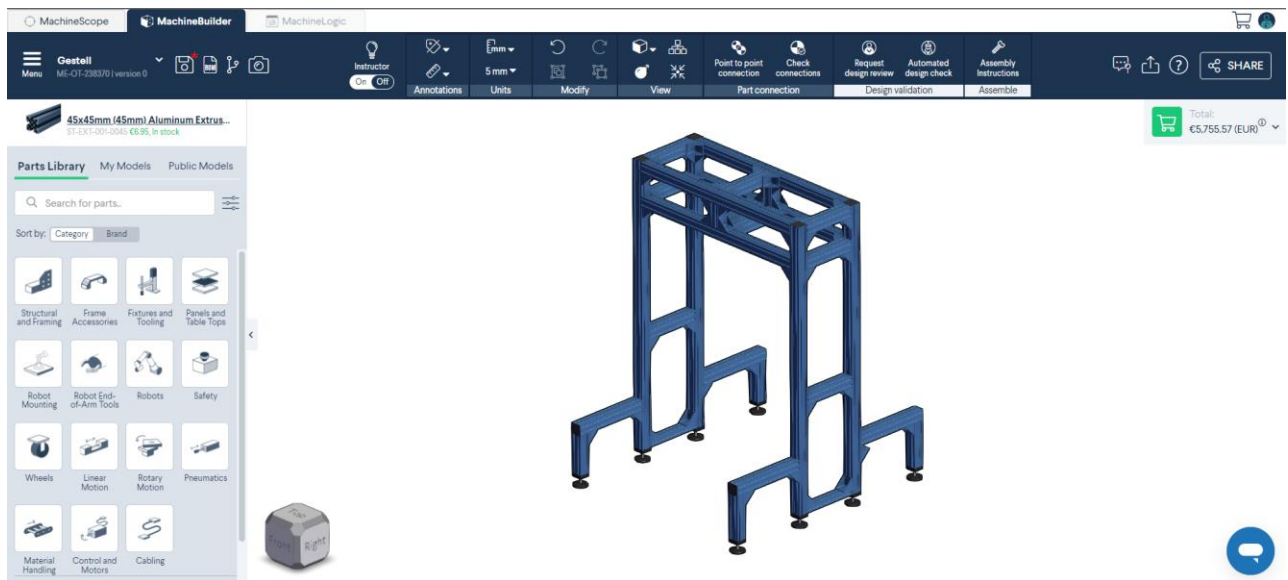


Abbildung 53: Vention-Plattform

Neben dem Gestell wird der Roboter, die Förderbänder, die Kisten und die Foodtainer für die Simulation benötigt. Der Roboter und die Förderbänder können aus der Online-Bibliothek von RoboDK zum Projekt hinzugefügt werden, wie in Abbildung 54 dargestellt. Die Kiste und der Foodtainer werden in Inventor modelliert und in RoboDK importiert.

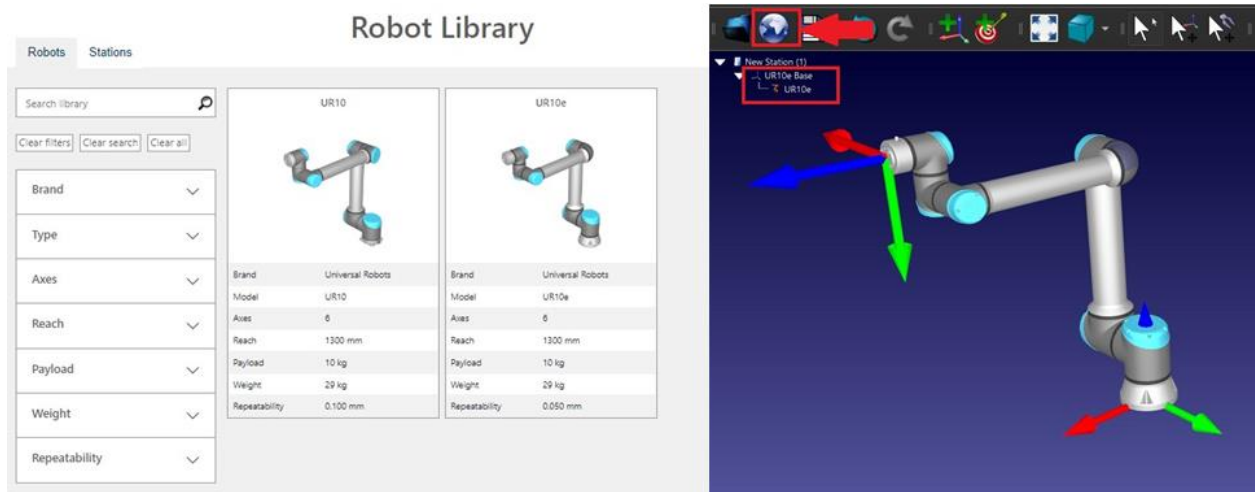


Abbildung 54: RoboDk-Bibliothek

Der zukünftige Aufbau der Verpackungszelle wird in RoboDK visualisiert, wie in Abbildung 55 dargestellt.

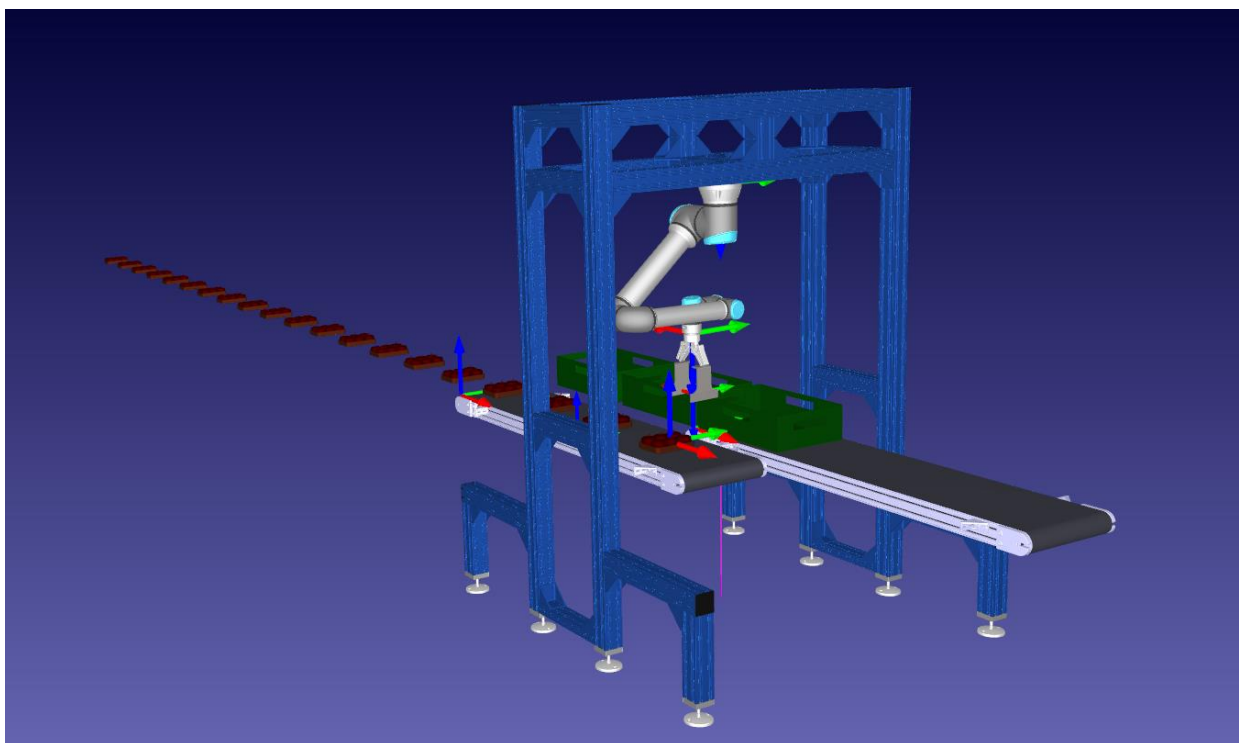


Abbildung 55: Verpackungszelle mit dem UR10e

Bei der Simulation werden die Prozessstörungen nicht berücksichtigt. In der Simulation werden die vom Hersteller definierten Roboterparameter eingehalten und die Roboterbewegungsbahn so weit wie möglich optimiert.

Nach der Programmierung des Packprozesses wird die Simulation gestartet. Als Ergebnis für die Simulation des Packprozesses von 20 Apfelverpackungen wird eine Gesamtzeit von 65,2 s angezeigt. Diese Zeit wird nur durch die reine Bewegung des Roboters ermittelt. Die Öffnungs- und Schließzeiten des Greifers betragen für 20 Apfelverpackungen 11,2 s. Addieren wir diese Zeit zu der Gesamtzeit des Roboters, erhalten wir eine Gesamtzeit von 76,4 s. Wird die Gesamtzeit durch die Anzahl der Foodtainer dividiert, so ergibt sich eine Taktzeit von 3,8 s pro Einheit.

Als Ergebnis der Simulation wird festgestellt, dass die minimale Taktzeit von 1,7 s mit der Geschwindigkeit des UR10e Cobots nicht erreicht werden kann.

Um die Taktzeit einzuhalten, wird ein schnellerer Roboter benötigt. Aus diesem Grund werden weitere Simulationen mit unterschiedlichen Robotern und Greifarten durchgeführt. In Tabelle 6 werden die Greifvarianten vorgestellt und in Tabelle 7 die verschiedenen Roboter.

Variante 1	Variante 2
<ul style="list-style-type: none"> • Roboter greift nur eine Verpackung • Anzahl der Verpackungen: 20 	<ul style="list-style-type: none"> • Roboter greift gleichzeitig zwei übereinander gestapelte Verpackungen • Anzahl der Verpackungen: 40

Tabelle 6: Greifvarianten der Foodtainer

Cobot	Industrieroboter
<ul style="list-style-type: none"> • Universal Roboter UR10e • Fanuc CRX-10iA 	<ul style="list-style-type: none"> • Fanuc LR-Mate 200iD/7L

Tabelle 7: Simulierte Roboter in RoboDK

Die technischen Daten und Zeichnungen von den Robotern sind im Anhang B5 enthalten.

In Tabelle 8 werden die verwendeten Roboterparameter bei der Simulation in RoboDk aufgeführt. In Variante 2 werden zwei Simulationen mit unterschiedlichen Parametern für den Industrieroboter Fanuc LR-Mate 200iD/7L durchgeführt.

Roboter	Parameter der Roboter für Variante 1			
Cobot	Geschwindigkeit v [mm/s]	Beschleunigung a [mm/s ²]	Gelenkgeschwindigkeit [deg/s]	Gelenkbeschleunigung [deg/s ²]
UR10e	1400	2500	190	600
Fanuc CRX-10iA	2000	4900	180	600
Industrieroboter				
Fanuc LR-Mate 200iD/7L	9900	12000	1000	3000
reduzierte Parameter	9900	6000	500	2000

Roboter	Parameter der Roboter für Variante 2			
Cobot	Geschwindigkeit v [mm/s]	Beschleunigung a [mm/s ²]	Gelenkgeschwindigkeit [deg/s]	Gelenkbeschleunigung [deg/s ²]
UR10e	1400	2500	180	750
Fanuc CRX-10iA	2000	2500	180	700
Industrieroboter				
Fanuc LR-Mate 200iD/7L	9900	12000	1000	3000
reduzierte Parameter	9900	6000	500	2000

Tabelle 8: Eingegebene Roboterparameter in der Simulation

Die reduzierten Parameter in Tabelle 8 beziehen sich auf die Reduzierung der Beschleunigung und der Gelenkgeschwindigkeit des Fanuc LR-Mate 200iD/7L Industrieroboters.

Abbildung 56 stellt links den Beginn und rechts das Ende der Simulation der Greifvariante 1 mit dem Fanuc CRX – 10iA Cobot dar. In Abbildung 57 wird das Gleiche für den Fanuc LR-Mate 200iD/7L Industrieroboter gezeigt.

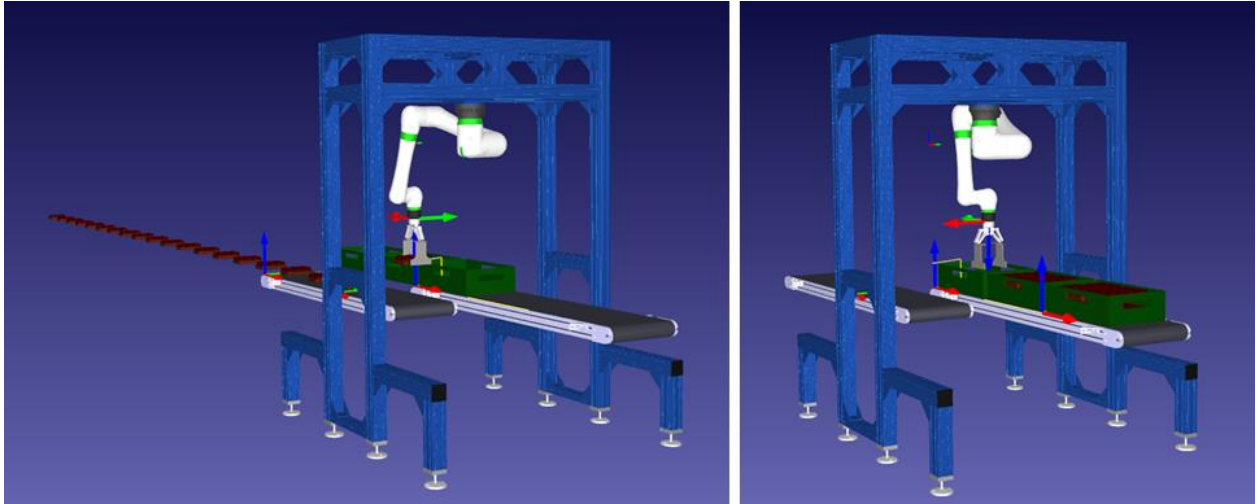


Abbildung 56: Greifvariante 1 – Simulation mit Fanuc CRX - 10iA

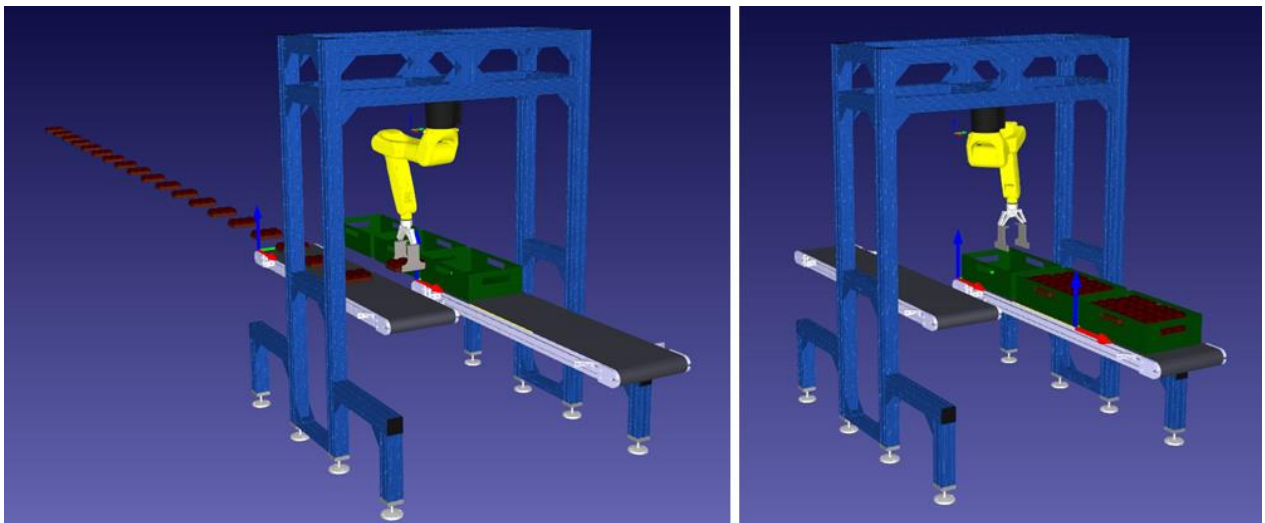


Abbildung 57: Greifvariante 1 – Simulation mit Fanuc LR-Mate 200iD/7L

In Abbildung 58 wird die Simulation des UR10e Cobots gezeigt. Abbildung 59 und 60 enthalten die gleiche Darstellung wie 53 und 54, jedoch für die zweite Greifvariante.

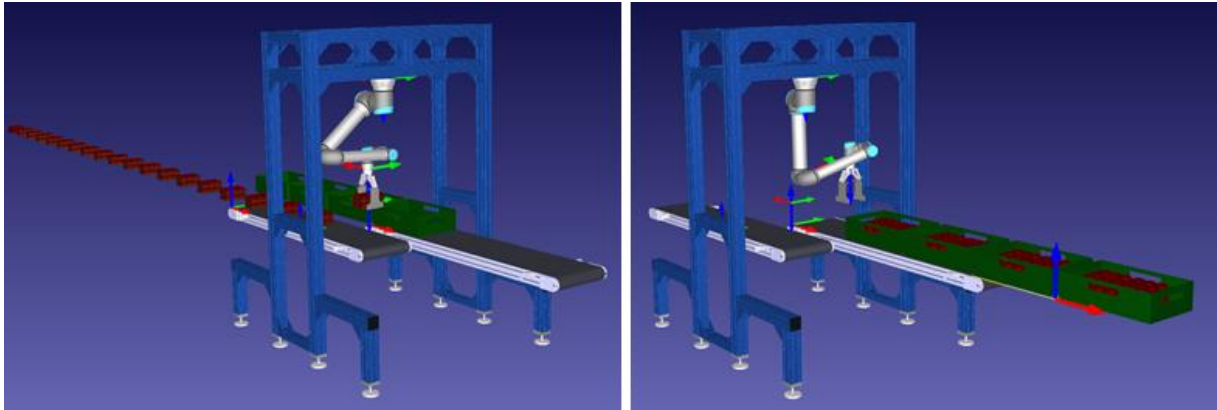


Abbildung 58: Greifvariante 2 – Simulation mit dem UR10e

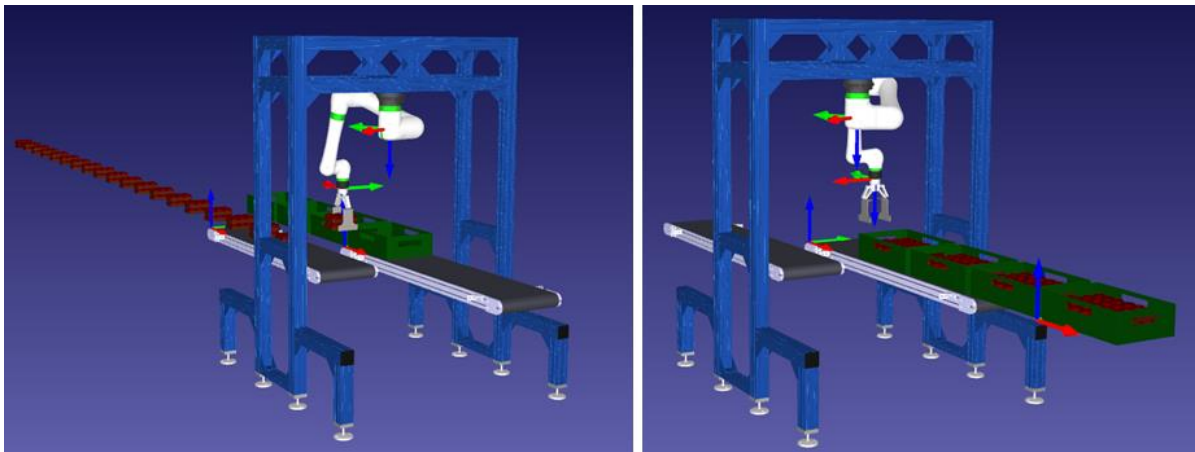


Abbildung 59: Greifvariante 2 – Simulation mit Fanuc CRX - 10iA

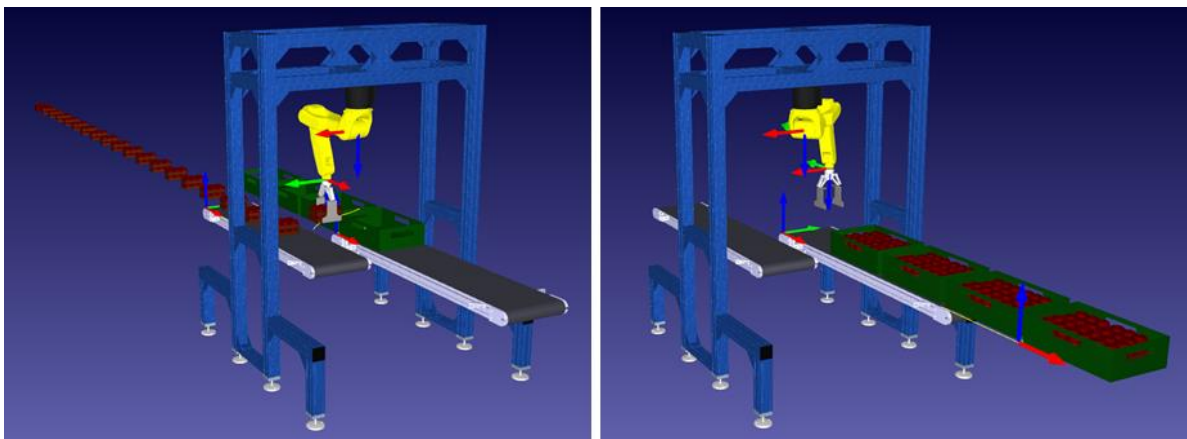


Abbildung 60: Greifvariante 2 – Simulation mit Fanuc LR-Mate 200iD/7L

Die Ergebnisse der Simulationen sind in Tabelle 9 dokumentiert.

Roboter	Variante 1		Variante 2	
Cobot	Gesamtzeit [s]	Taktzeit [s]	Gesamtzeit [s]	Taktzeit [s]
UR10e	76,2	3,81	69,2	1,73
Fanuc CRX-10iA	65,2	3,26	67,2	1,68
Industrieroboter				
Fanuc LR-Mate 200iD/7L (max. Limits)	45,2	2,26	49,2	1,23
Fanuc LR-Mate 200iD/7L (reduz. Parameter)	54,6	2,73	59,2	1,48

Tabelle 9: Ergebnisse der Taktzeit

Die Taktzeit ergibt sich aus der Gesamtzeit der Simulation dividiert durch die Anzahl der Apfelverpackungen. Wie in Tabelle 9 zu sehen ist, kann die kürzeste Taktzeit von 1,23 s mit den maximalen Parametern des Fanuc LR-Mate 200iD/7L Industrieroboters und der Greifvariante 2 erreicht werden. Damit können 48 Foodtainer pro Minute gepackt werden. Die Parameter der Varianten können aus der Tabelle 6 entnommen werden.

5 Versuchserprobung

In diesem Abschnitt wird der Greifversuch mit dem Robotiq-Greifer 2F-140 und dem Cobot UR10e durchgeführt. Der Versuchsaufbau wird in Vention konstruiert und bei mworks montiert. Die Komponenten für den Versuchsaufbau sind bei mworks bereits vorhanden, da mworks über einen Aufbau für Ihr Maschinen-Tendingsystem verfügt. Dieser Aufbau wird für den Greifversuchsaufbau angepasst. Bei der Versuchsplanung wird auf die Abmessungen in Abbildung 51 und der Abstand zwischen der Greifposition und der Lage der Kiste geachtet (Siehe Abbildung 63). In Abbildung 61 ist das 3D-Model des Versuchsaufbaus in Vention zu sehen.

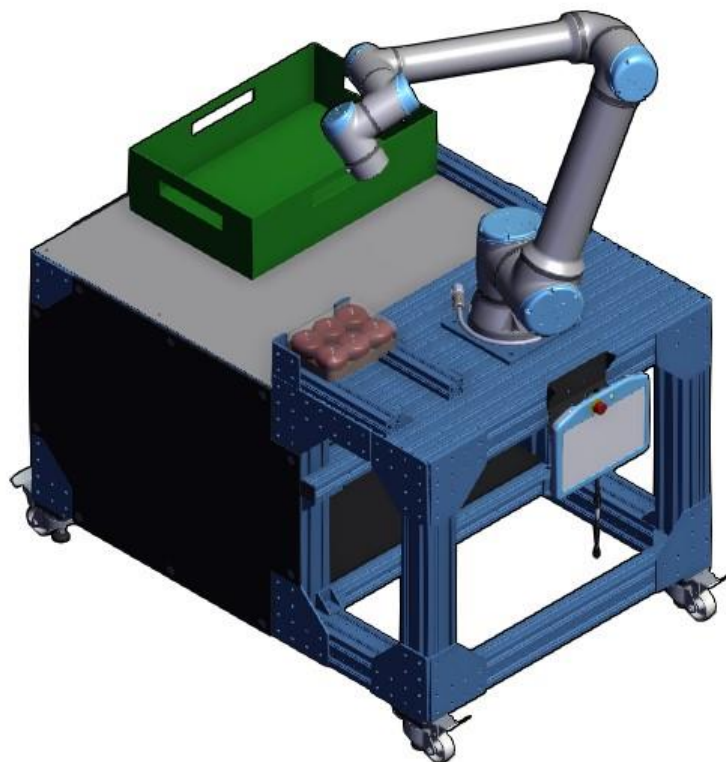


Abbildung 61: Versuchsaufbau in Vention

In Abbildung 62 wird der Versuchsaufbau in dem Technikum von mworks GmbH dargestellt. Links der Abbildung sieht man den Roboter mit dem Greifer und der Apfelpiste, in die die Foodtainer gepackt werden sollen. Rechts in der Abbildung befindet sich ein Regal als Ablage für die Foodtainer und ein Monitor, auf den der Bildschirm der Roboterkontrolle angezeigt wird.

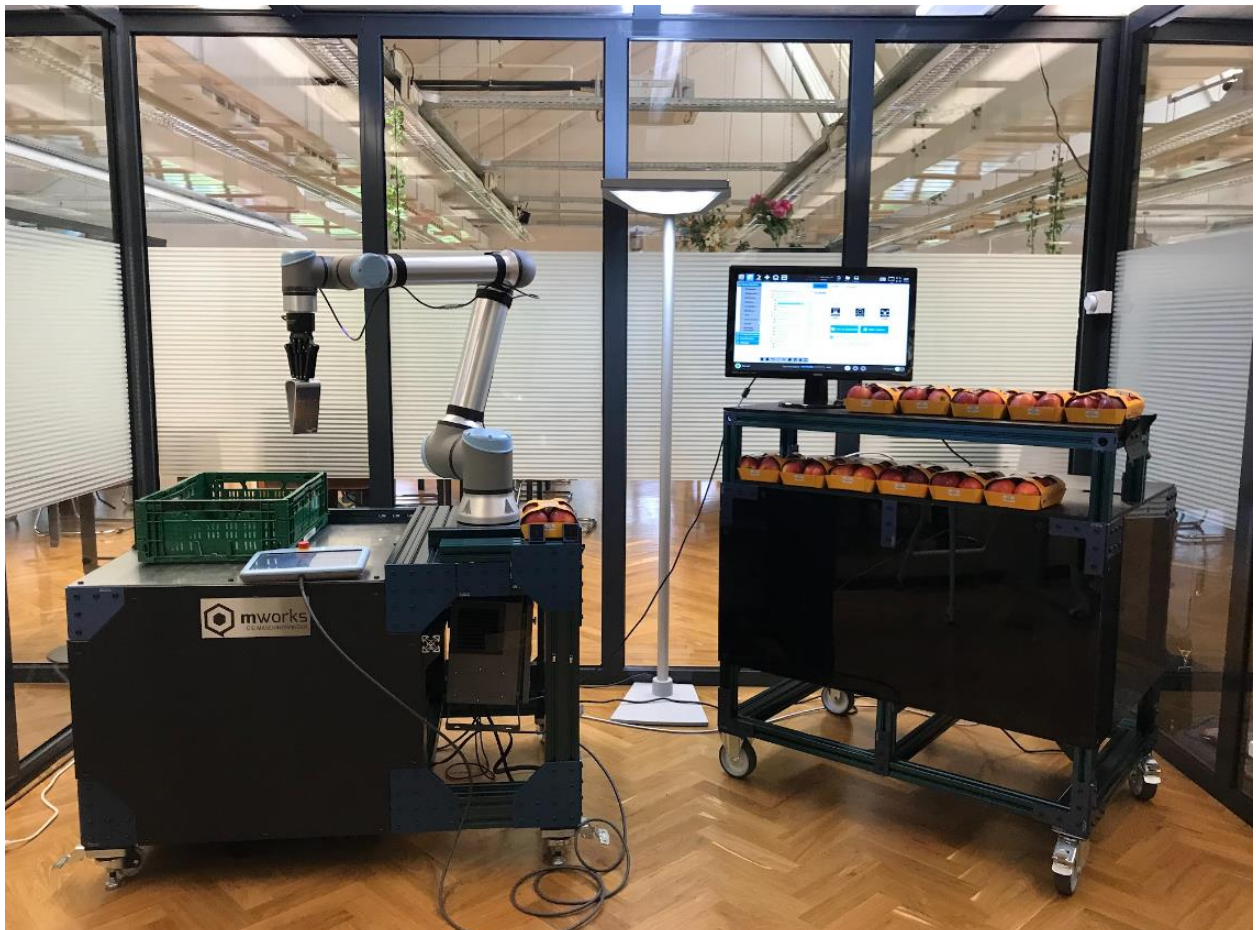


Abbildung 62: Greifversuchsaufbau im Technikum von mworks GmbH

Die Programmierung des Roboters und des Greifers wird von einem Mitarbeiter von mworks nach meinen Angaben durchgeführt. Die Finger des Greifers sind wie in Abschnitt 3.2.3 gestaltet. Auf die Greifoberfläche der Finger werden kleine Gummiteile geklebt, damit ein besserer Grip entsteht (Siehe Abbildung 65).

Der Versuch wird wie folgt ablaufen:

Der Roboter greift die Apfelverpackung an Position 1 und packt sie in die grüne Kiste, wie in Abbildung 63 dargestellt. Sobald der Roboter den ersten Foodtainer gegriffen hat, wird der nächste Foodtainer in Position 1 bereitgestellt. Der Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Kiste vollständig beladen ist.

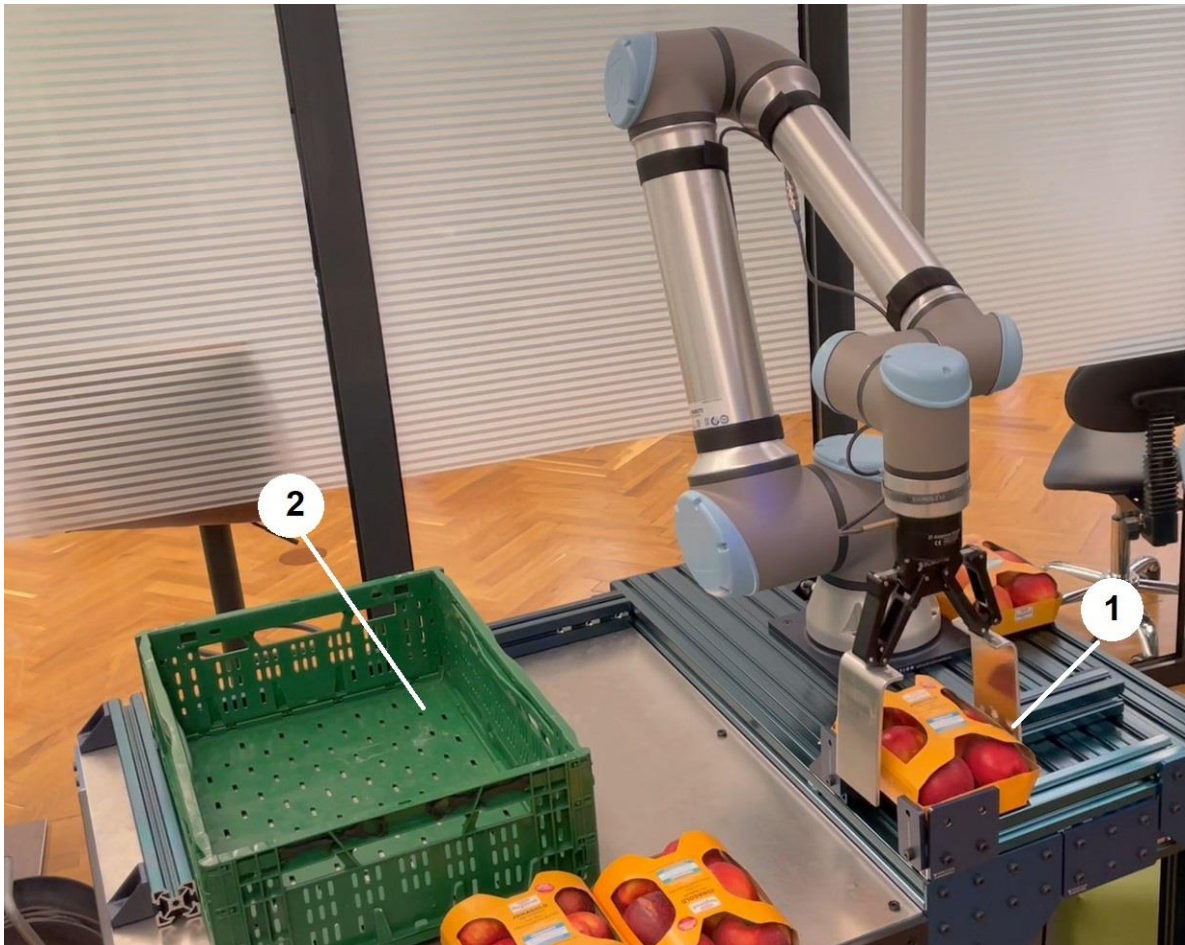


Abbildung 63: Greifversuch mit dem Robotiq-Greifer

In die Kiste sollen insgesamt 11 Foodtainer gepackt werden. Der letzte Foodtainer sollte hochkant gegriffen und gepackt werden. Die Reihenfolge des Packversuchs ist wie in Abbildung 64 dargestellt. Diese Reihenfolge wird von dem Werker im aktuellen Packprozess durchgeführt.

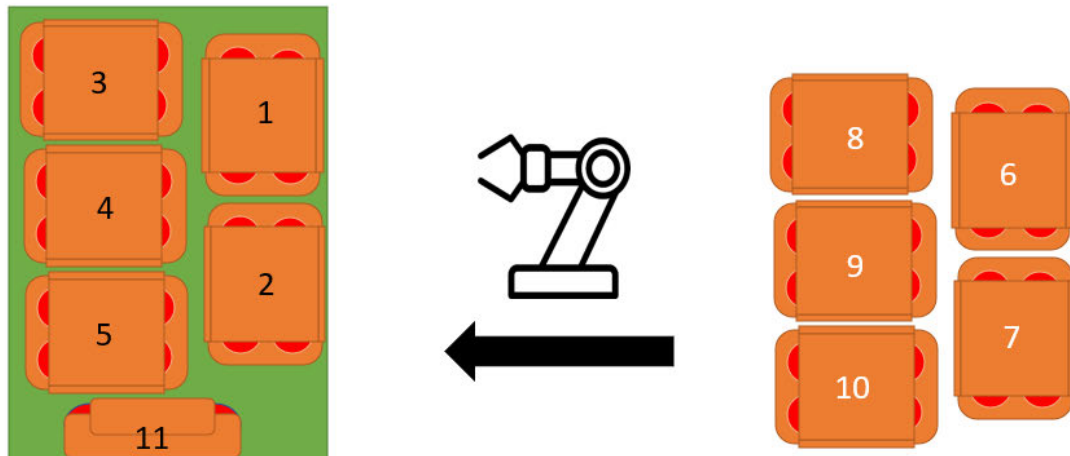


Abbildung 64: Reihenfolge des Packversuchs mit dem Greifer

Nach dem Versuchsaufbau wird der Greifversuch durchgeführt und per Video dokumentiert. Aus dem Versuch wurden folgende Ergebnisse generiert:

- Das Greifen des Foodtainers funktioniert mit dem Greifer und ist sicher, stabil und verursacht keine Schäden an den Äpfeln.
- Die Finger des Greifers kollidieren mit der Kiste beim Loslassen der Foodtainer. Aufgrund der flachen Oberfläche der Finger entstehen jedoch keine Kollisionsschäden.
- Die erreichte Taktzeit mit dem UR10e beträgt 3,6s, was das Simulationsergebnis des UR10e mit einer Abweichung von 0,2s bestätigt.

Ein Video zu dem Greifversuch ist im Anhang B3 zu finden.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1 Der entwickelte Greifer

Als Ergebnis der drei Lösungsansätze im Abschnitt 3.2 wird der dritte Ansatz als die beste Lösung bewertet. Der Parallelgreifer 2F-140 in Abbildung 65 mit den entwickelten Fingern erfüllt alle vom Kunden geforderten Anforderungen und hat den Greiftest bestanden.



Abbildung 65: Der entwickelte Greifer

Während des Greifversuchs wurde ein Problem bei der Handhabung einiger Foodtainer festgestellt. Bei Foodtainer, die mit Laschen verpackt sind, können beim Einsetzen in die Kiste mit anderen Verpackungen verhakt werden. In Abbildung 66 wird das Problem mit Ihrer Lösung dargestellt. Das Problem wird gelöst, indem die Greiffinger die ganze Lasche abdecken.

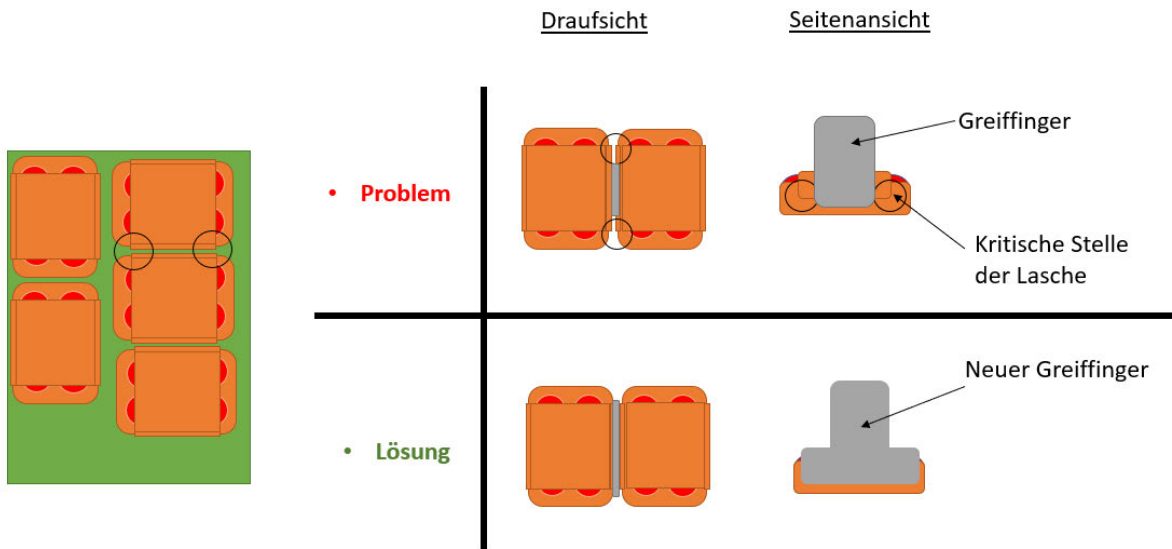


Abbildung 66: Lösungsansatz für das Lascheproblem

In Abbildung 67 wird die nachgebesserte Form des Fingers gezeigt. Links in der Abbildung erkennt man eine leichte Krümmung. Diese Krümmung beträgt 5 Grad und sorgt zusätzlich für ein formschlüssiges Greifen. Die neue Form des Greiffingers erhöht zusätzlich die Stabilität des Greifens, da die Greiffläche größer wird. Diese führt zu einer besseren Verteilung der Greifkraft auf dem Foodtainer. Fotos von den gefertigten Fingern und die technische Zeichnung sind im Anhang A3 zu finden.

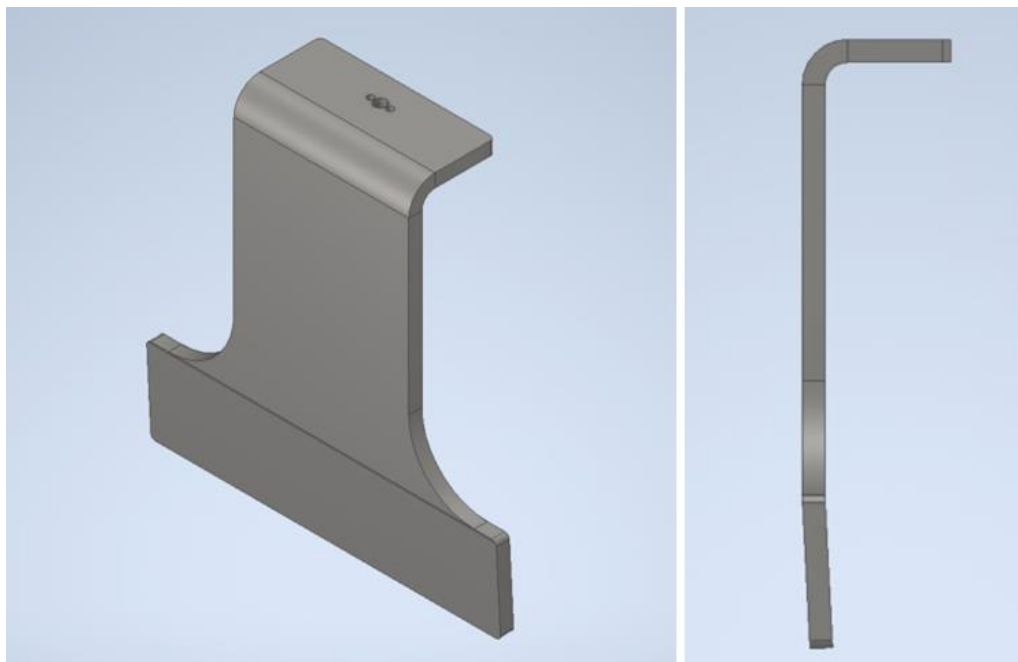


Abbildung 67: Optimierter Greiffinger

6.2 Taktzeit

In Abschnitt 4.1 wurden unterschiedliche Simulationen mit unterschiedlichen Robotern und Greifvarianten durchgeführt. Als Ergebnisse dieser Simulation wurden verschiedene Taktzeiten ermittelt.

Roboter	Variante 1		Variante 2	
Cobot	Gesamtzeit [s]	Taktzeit [s]	Gesamtzeit [s]	Taktzeit [s]
UR10e	76,2	3,81	69,2	1,73
Fanuc CRX-10iA	65,2	3,26	67,2	1,68
Industrieroboter				
Fanuc LR-Mate 200iD/7L (max. Limits)	45,2	2,26	49,2	1,23
Fanuc LR-Mate 200iD/7L (reduz. Parameter)	54,6	2,73	59,2	1,48

Tabelle 10: Ergebnisse der Taktzeit

In Tabelle 10 sieht man, dass die Variante 1 keine guten Ergebnisse für die Taktzeit liefert. Deswegen wird diese Variante ausgeschlossen. Die kürzeren Taktzeiten sind mit der Greifvariante 2 zu erreichen. Die kürzeste Taktzeit kann jedoch mit dem Fanuc LR-Mate 200iD/7L Industrieroboter erreicht werden. Das liegt daran, dass die Geschwindigkeit und Beschleunigung von Industrierobotern in der Regel deutlich höher als die von Cobots sind. Der Fanuc LR-Mate 200iD/7L Industrieroboter hat eine maximale Geschwindigkeit von 11m/s im Vergleich zu 2 m/s für den Fanuc CRX-10iA und 1,5 m für den UR10e.

Die für die Simulation verwendeten Roboterparameter sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die technischen Daten und die technischen Zeichnungen der simulierten Roboter sind im Anhang B5 zu finden.

7 Fazit und Ausblick

7.1 Fazit und Diskussion

Der Greifer wurde in erster Linie für den Cobot UR10e entwickelt. Aus der Taktzeitsimulation in Abschnitt 4.1 wurde jedoch gewonnen, dass die geforderte Taktzeit nicht mit einem Cobot, sondern mit einem Industrieroboter erreicht werden kann. Dieses Ergebnis stellt kein Problem für den Greifer dar, da der Greifer auch für den Fanuc Industrieroboter eingesetzt werden kann. Es wurde dazu festgestellt, dass das Greifen von nur einem Foodtainer für die Taktzeit nicht ausreichend wird. Daher wurde eine zweite Greifvariante simuliert, die ein gleichzeitiges Greifen von Foodtainern darstellt. Mit dieser Greifvariante wurde die gewünschte Taktzeit vom Kunden erreicht.

Für den optimierten Finger in Abbildung 67 ist diese Greifvariante keine neue Herausforderung. Die Greiffinger haben sich beim Greifen als stabil erwiesen und dank der minimal einstellbaren Greifkraft von 10 N kommt es zu keiner Beschädigung des Foodtainers. Allerdings erreicht der Greifer beim Greifen von zwei gestapelten Foodtainer fast seine Grenze. Die maximale Traglast des 2F-140 Greifers beträgt 2,5 kg. Ein 6er-Pack Foodtainer hat ein Mindestgewicht von 1 kg. Wird das Gewicht der Greiffinger dazu addiert, so ergibt sich eine Gesamttraglast von 2,4 Kg. Sollen zwei gestapelte 8er-Pack Foodtainer gegriffen werden, so muss ein anderer Greifer mit höherer Traglast eingesetzt werden.

Die erforderliche Taktzeit wurde durch die Simulation mit RoboDK ermittelt. Um die beste Taktzeit von 1,23 s zu erhalten, wurden die Parametergrenzen des simulierten Fanuc Industrieroboters erreicht. Diese kann kritisch werden, da die Betriebssicherheit noch mit einbezogen werden muss. Aus diesem Grund wurde eine weitere Simulation mit reduzierten Parametern durchgeführt. Das Ergebnis war eine Taktzeit von 1,48 s. Damit können 40 Apfelverpackungen pro Minute gepackt werden, was im Bereich der gewünschten Taktzeit vom Kunden liegt.

Ein weiterer Lösungsvorschlag zur Erhöhung der Taktzeit ist der Einsatz von zwei Cobots, wenn der Wunsch besteht, dass der Mensch neben dem Roboter arbeiten darf. Da diese jedoch mit höheren Kosten verbunden ist, bietet der Industrieroboter die bessere und günstigere Lösung. Anstatt die Foodtainer zu stapeln, können zwei Industrieroboter eingesetzt werden. Der Nachteil bei dem Einsatz von Industrierobotern ist der Programmieraufwand im Vergleich zu Cobots. Auch eine Zusammenarbeit von Menschen mit Industrierobotern ist aufgrund der bestehenden Gefahr Ihrer hohen Geschwindigkeit und Robustheit nicht möglich.

7.2 Ausblick

Der Greifer und seine Fähigkeit bei der Handhabung der Foodtainer haben den Kunden überzeugt. Auch die Simulation der Taktzeit mit dem Industrieroboter hat den Kunden positiv beeindruckt. Aufgrund dieser Ergebnisse soll das Gestell in Abbildung 53 umgesetzt werden. In einem nächsten Schritt wird untersucht, wie die Foodtainer für den Roboter gestapelt angeliefert werden können. Parallel dazu wird eine weitere Lösung mit dem Einsatz von zwei Industrierobotern anstelle des Greifens von zwei Foodtainer untersucht. In diesem Zusammenhang wurde die Firma Fruitcore robotics GmbH kontaktiert, um eine Packsimulation mit ihrem Industrieroboter HORST900 durchzuführen. Dieser Industrieroboter hat den Vorteil, dass er im Vergleich zum von Fanuc günstiger ist.

Der Greifer mit dem Roboter wird vom Kunden als Pilotprojekt für eine Packstation gesehen. Wenn sich die automatisierte Roboter-Verpackungszelle als erfolgreich erweist, wird der Greifer für vier weitere Verpackungszellen eingesetzt.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Glück, M. (2022, 12. August). Mensch-Roboter-Kooperation erfolgreich einführen: Grundlagen, Leitfaden, Applikationen. Springer Vieweg.
- [2] Stegner, K. (o. D.). UR10e – der flexible Industrieroboter von Universal Robots. Abgerufen am 16. Oktober 2022, von <https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur10-roboter/>
- [3] Pneumatische Antriebe - IBF GmbH. (o. D.). IBF. Abgerufen am 20. Oktober 2022, von <https://www.ibf-automation.de/produkte-und-leistungen/automationstechnik/pneumatische-antriebe.html>
- [4] VDI (1995) Mechanische Einrichtungen in der Automatisierungstechnik – Greifer für Handhabungsgeräte und Industrieroboter (VDI 2740 Blatt 1). VDI Verlag, Berlin
- [5] Pott, A. & Dietz, T. (2019b, Juni 5). Industrielle Robotersysteme: Entscheiderwissen für die Planung und Umsetzung wirtschaftlicher Roboterlösungen (1. Aufl. 2019). Springer Vieweg.
- [6] Pneumatikgreifer | Pneumatikparallelgreifer | RS. (o. D.). Abgerufen am 19. September, von <https://de.rs-online.com/web/c/pneumatik-und-hydraulik/pneumatik-zyylinder-und-antriebe/pneumatik-greifer/>
- [7] GRIPKIT P PRO - GRIPKIT P PRO | WEISS ROBOTICS. (o. D.-b). Abgerufen am 16. Oktober 2022, von <https://weiss-robotics.com/products/system-solutions/gripkit/gripkit-industrial/gripkit-p-pro/product/gripkit-p-pro/>
- [8] Flächengreifsysteme – Schmalz Robotics (o.D.). Abgerufen am 20. September 2022 <https://www.schmalz.com/de/vakuumtechnik-fuer-die-automation/vakuum-komponenten/flaechengreifsysteme-und-endeffectoren/flaechengreifsysteme-fxcb-fmcb/handling-sets-fxcb-306376/10.01.43.00064/>
- [9] Vakuum-Ejektoren | Schmalz Robotics (o.D.). Abgerufen am 4. Oktober 2022, von <https://www.schmalz.com/de/vakuum-wissen/vakuumsystem-und-seine-bauteile/vakuum-erzeuger/vakuum-ejektoren/>
- [10] Klitsch, C. (2022, 4. März). SoftGripper. SoftGripping. Abgerufen am 4. Oktober 2022, von <https://soft-gripping.com/de/softgripper/>

- [11] EGH Universalgreifer (o. D.). Abgerufen am 4. Oktober 2022, von https://schunk.com/de/de/greiftechnik/parallelgreifer/egh/c/PGR_5132
- [12] Portas, J. & Fenwick, C. (o. D.). 2F-85 and 2F-140 Grippers. Robotiq. Abgerufen am 4. Oktober 2022, von <https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>
- [13] Vakuumgreifer für kollaborative und Industrieroboter | Bestückung | EOAT. (o. D.). OnRobot. Abgerufen am 4. Oktober 2022, von <https://onrobot.com/de/produkte/vgp20>
- [14] Hydraulische Greifzange - RPP-64. (o. D.). RÖHM - parallel / 2 Backen / Industrieroboter. Abgerufen am 4. Oktober 2022, von <https://www.directindustry.de/prod/roehm/product-15881-1838076.html>
- [15] Elektrische Greifer YRG - Industrieroboter | YAMAHA MOTOR CO., LTD. (o. D.). Yamaha Motor Co., Ltd. Abgerufen am 4. Oktober 2022, von https://global.yamaha-motor.com/business/robot_de/yrg/
- [16] Greifer für Roboter | Universal Robots. (o. D.). Abgerufen am 5. Oktober 2022, von <https://www.universal-robots.com/de/blog/greifer-fur-roboter-arten-funktionsweise-und-auswahl/>
- [17] Greifen mit dem Fischflossen-Effekt. (o. D.). Abgerufen am 5. Oktober 2022, von <https://www.biokon.de/greifen-mit-dem-fischflossen-effekt/>
- [18] Kenos® Vakuumgreifsysteme_. (o. D.). Abgerufen am 5. Oktober 2022, von <https://www.piab.com/de-de/roboter-und-cobot-greiflosungen/kenos-vakuumgreifsysteme/>
- [19] Greifen. (o. D.). Abgerufen am 5. Oktober 2022, von <https://www.formhand.de/produkte/greifen>
- [20] drylin® W assembled carriage plate WW. (o. D.). Abgerufen am 16. Oktober 2022, von <https://www.igus.com/product/933?artNr=WW-10-30-08>
- [21] drylin® W double rail WS. (o. D.). Abgerufen am 16. Oktober 2022, von <https://www.igus.com/product/732?artNr=WS-10-30>
- [22] mworks. (o. D.). Mworks - Die Maschinenfinder. Abgerufen am 20. Oktober 2022, von <https://mworks.de/>

[23] Was Sie wissen sollten, bevor Sie Ihre Greifer auswählen. (2022, 24. Juli). destaco. Abgerufen am 18. September 2022, von <https://www.destaco.com/de/resources/how-to-buy-guides/what-to-know-before-selecting-your-grippers.html>

[24] Barrie, D. D. (2021). A Deep Learning Method for Vision Based Force Prediction of a Soft Fin Ray Gripper Using Simulation Data. Frontiers. Abgerufen am 20. Oktober 2022, von <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.631371/full>

[25] RoboDK. (o. D.). Simulator for industrial robots and offline programming. Abgerufen am 21. Oktober 2022, von <https://robodk.com/index>

[26] RoboDK Professional Training - Beta.xlsx. (o. D.). Google Docs. Abgerufen am 22. Oktober 2022, von https://docs.google.com/spreadsheets/d/1_KpV16mKgSS_wLWSnw-C5xUNR7I2-Z0/edit

[27] Vention. (o. D.). Manufacturing Automation, Simplified. Abgerufen am 22. Oktober 2022, von <https://vention.io/de?home=true>

[28] Horn, E. (2022, 22. September). Winkelgreifer von ASUTEC - Für die präzise Handhabung. Asutec. <https://www.asutec.de/produkte/greifsysteme/winkelgreifer/>

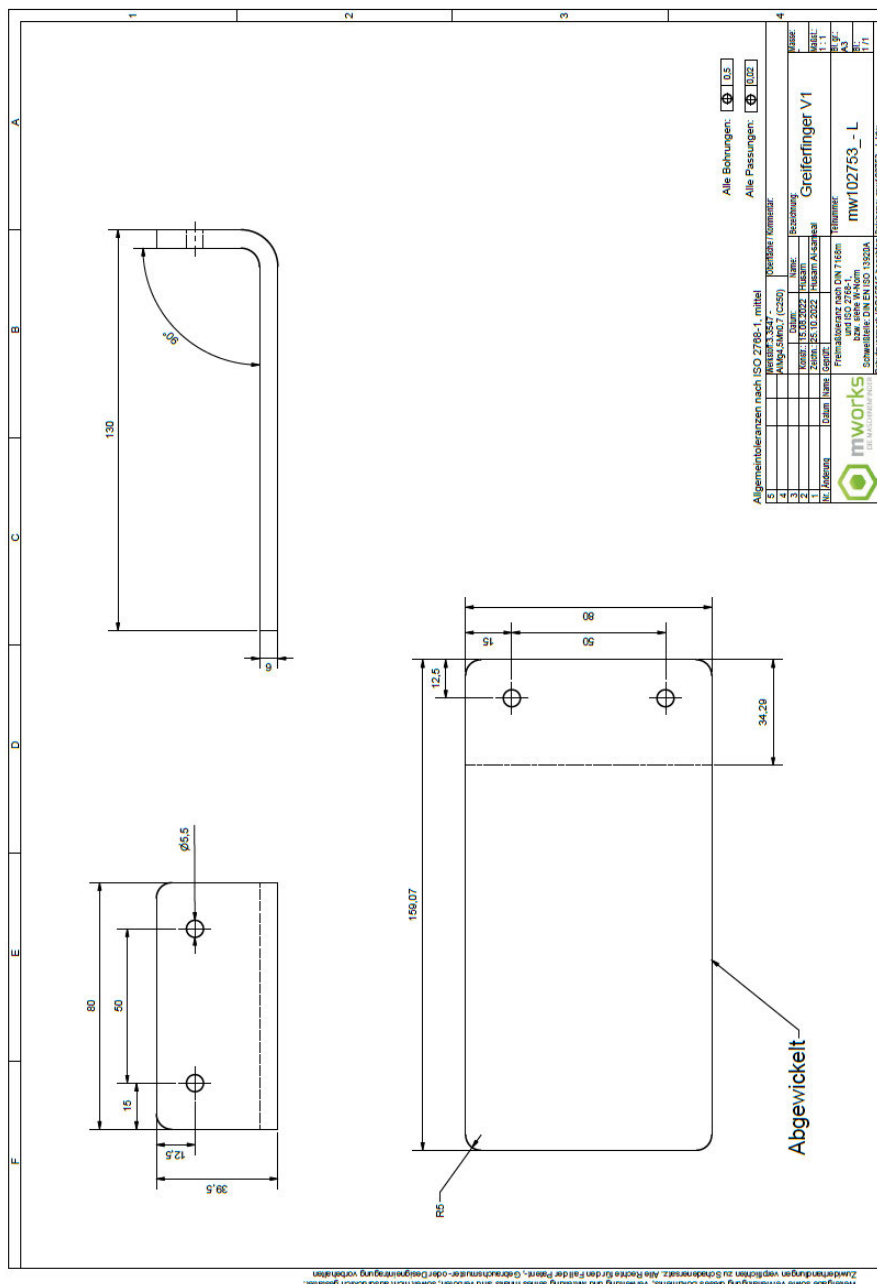
[29] Abbildungen sind dem Video im Anhang B4 entnommen

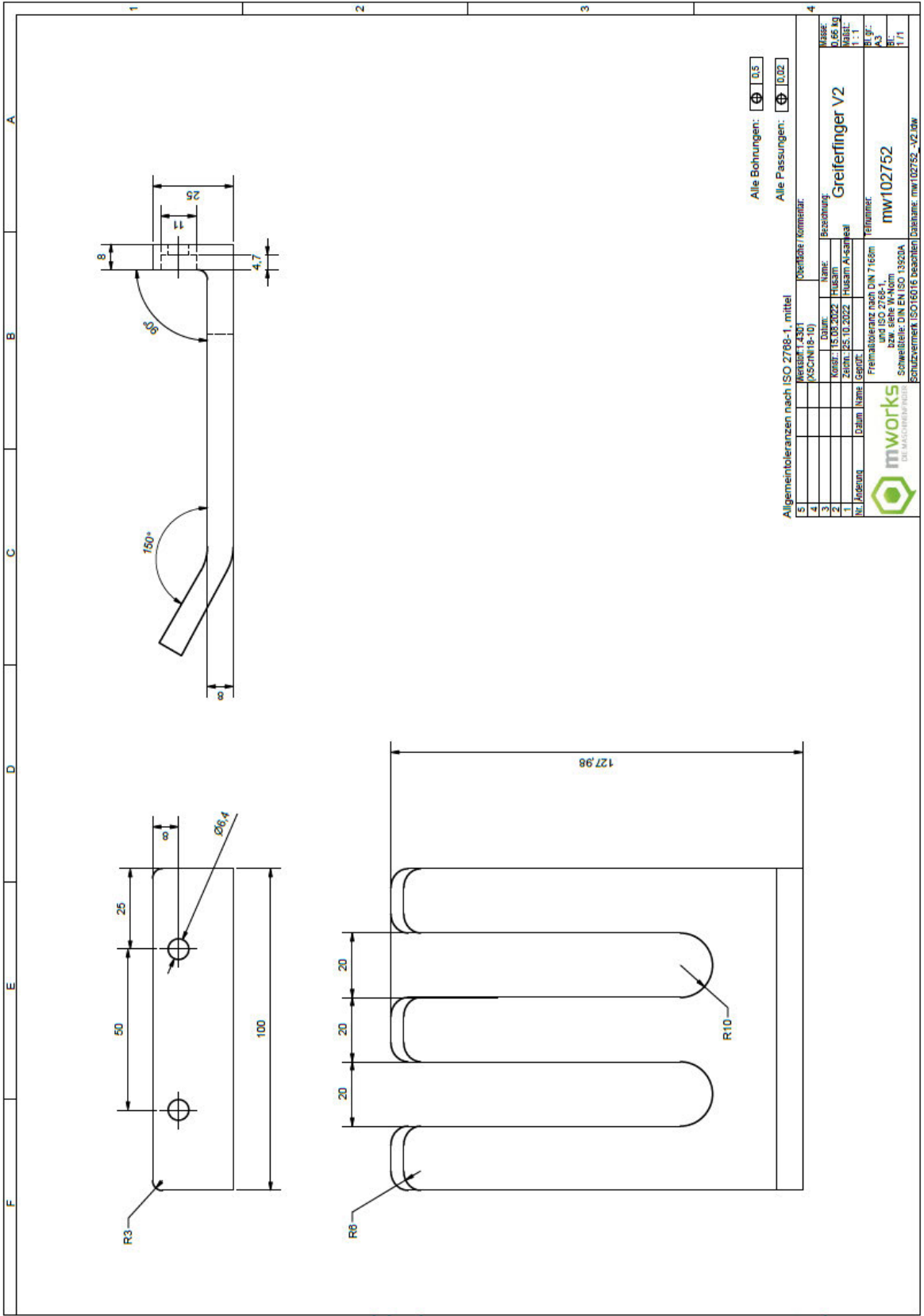
Anhang

Anhang A enthält Bilder und technische Zeichnungen der Prototyp-Greiferfinger und der optimierten Greiferfinger. Anhang B ist eine externe CD und enthält Videos von den Greifversuchen und weitere technische Daten.

Anhang A: Technische Zeichnungen

A1 – Technische Zeichnungen der Prototyp-Greiffinger





Alle Bohrungen: $\text{H}8/k7$ 0.5

Alle Passungen: $\text{H}9/k8$ 0.02

5) Allgemeintoleranzen nach ISO 2768-1, mittel

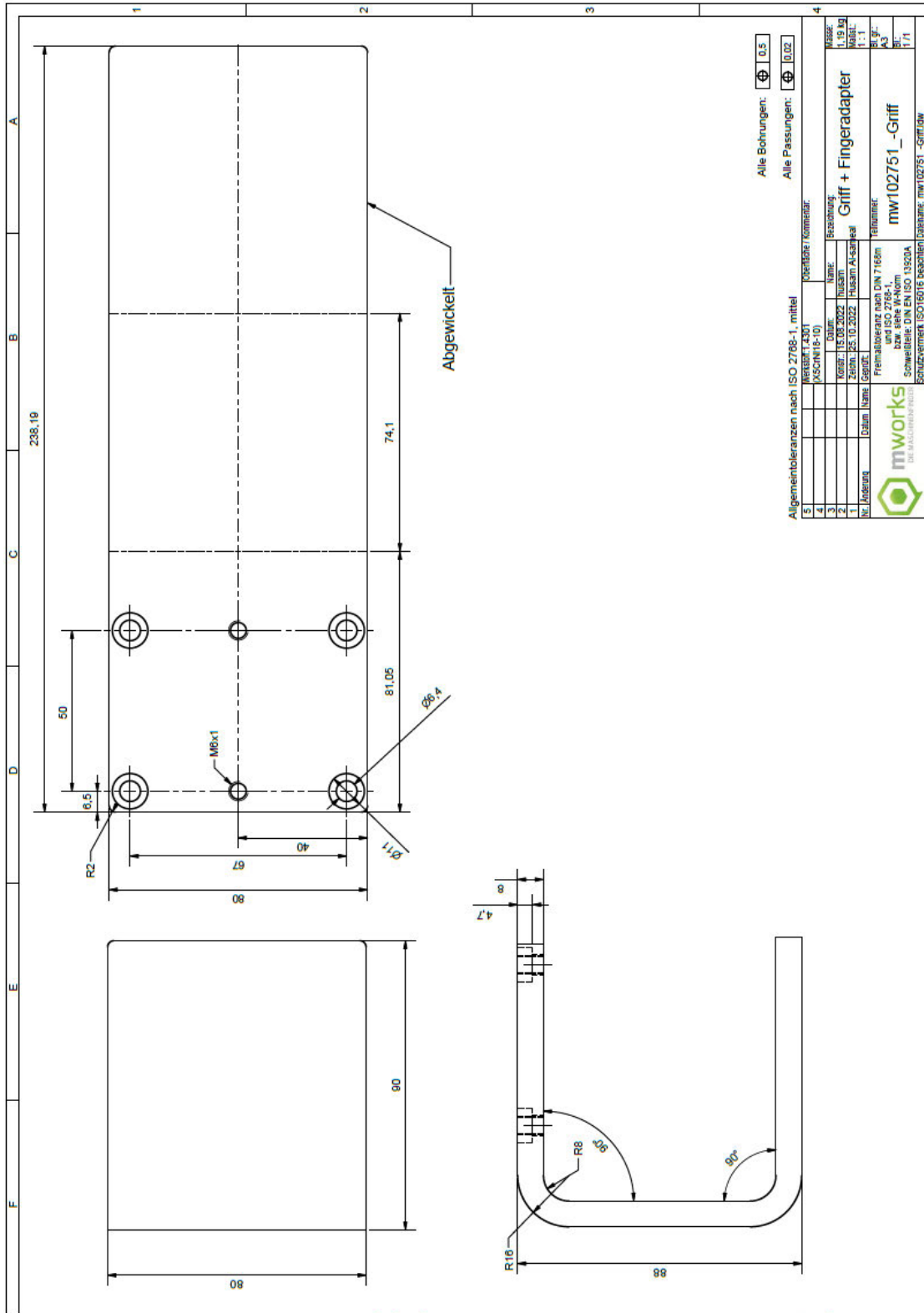
Nr.	Änderung	Datum	Name	Gezeichnet	Geprüft	Freigegeben
1		15.10.2022	Husam Al-Sarraf			
2		05.05.2022	Husam Al-Sarraf			
3		15.05.2022	Husam Al-Sarraf			
4		13.01.2021	Husam Al-Sarraf			

Übersicht		Kommentar	
Bezeichnung	Greiferfinger V2	Menge	0.66 kg
Nr. Änderung		Mittel	1:1
Datum		Größe	A3
Name		Blatt	1/1
Gezeichnet		Rechner	
Geprüft		Nummer	mw102752
Freigegeben		Material nach DIN 7168m	
		ISO 1502	
		ISO 1502	
		Schweißlinie: DIN EN ISO 13520A	
		Schuldschein: ISO 15016 beachten	
		Database: mw102752_V2.dwg	



Werbung sowie Verletzung dieses Dokuments, Vervielfältigung und Weitergabe ohne schriftliche Genehmigung sind untersagt. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen vorbehalten. Die Firma ist nicht für die Verwendung dieses Dokuments in anderen Projekten, die nicht ausdrücklich genehmigt sind, verantwortlich. Die Firma ist nicht für die Verwendung dieses Dokuments in anderen Projekten, die nicht ausdrücklich genehmigt sind, verantwortlich.

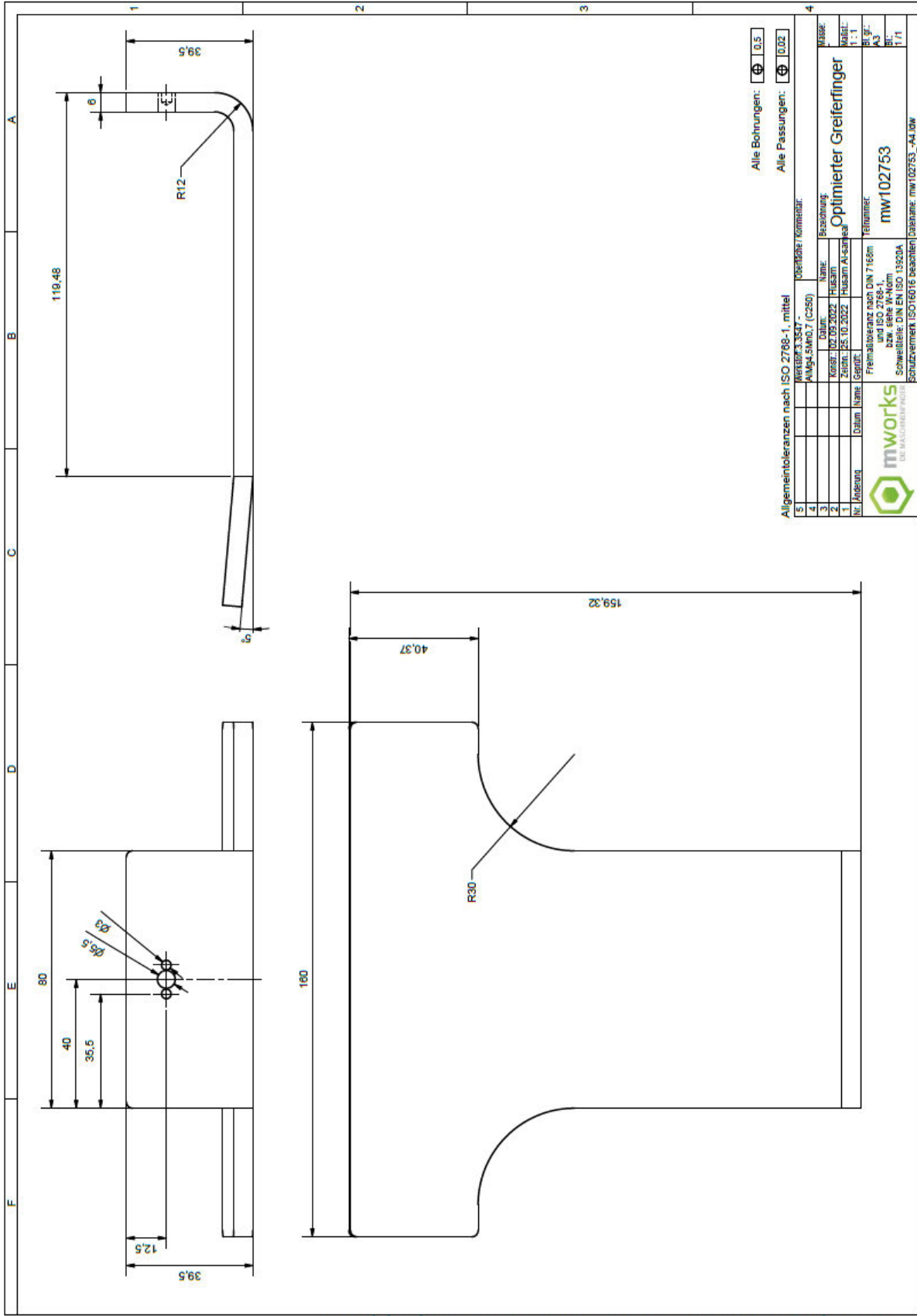
A2 – Technische Zeichnung des Griffs der Lineareinheit



A3 – Bilder und technische Zeichnung der optimierten Greiferfinger







Werkzeuge sowie Verfertigung dieses Dokuments, Vernetzung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Geschäfts- oder Designverletzung vorbehalten.

Alle Bohrungen: \varnothing | 0,5

Alle Passungen: \varnothing | 0,02

Allgemeinabmessungen nach ISO 2768-1, mittel

Werkzeug: 3507 - AM14-Schindl (C250)

Name: Hubert

Abteilung: Hubert

Standort: SE, 10.2022

Objekt: Greiferring

Freibleibung nach DIN 7168m

und ISO 2768-1

bzw. siehe M-Norm

Schweißlinie: DIN EN ISO 13924

Schutzvermerk: ISO16016 beachten! Dokumentschreiber: mw 102753 -A4.DWG

Blatt:

1 | 1

Blatt:

1 | 1

Blatt:

1 | 1

Blatt:

1 | 1

Optimierter Greiferring

mw102753

Teilname:

mw102753

Teilname:

mw102753

Teilname:

mw102753

mworks

DR. MALCOLM P. HILL

DR. MALCOLM P. HILL

DR. MALCOLM P. HILL

DR. MALCOLM P. HILL

DR. MALCOLM P. HILL

Anhang B: Videos der Greifversuche

Siehe die beigefügte CD mit dem Dateinamen: Anhang B (Videos der Greifversuche)



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Al-Sameai

Vorname: Husam Abdulwadod Hazaea

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung eines Robotergreifers für eine automatisierte Verpackungszelle zum Palettieren von Fruchtverpackungen

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Ort

Datum

Unterschrift im Original