



**HOCHSCHULE  
MITTWEIDA**  
University of Applied Sciences

---

# DIPLOMARBEIT

---

Herr  
Hannes Jochriem, B.Eng.

**Erarbeitung eines Abschlussprojekts  
für Mechatronik-Lehrlinge für das  
Spezialmodul Robotik**

Mittweida, Januar 2023

Dieses Dokument wurde mit Hilfe von KOMA-Script und  $\LaTeX$  gesetzt.

Fakultät **Ingenieurwissenschaften**

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Erarbeitung eines Abschlussprojekts für Mechatronik-Lehrlinge für das Spezialmodul Robotik**

Autor:

**Hannes Jochriem**

Studiengang:

Industrial Engineering

Seminargruppe:

IE21w1-D

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Winkler

Zweitprüfer:

Prof. M.Sc. Christian Rohrmoser

Einreichung:

Mittweida, 20.01.2023

Verteidigung/Bewertung:

Mittweida, 2023



Faculty of **Engineering Sciences**

---

## **DIPLOMA THESIS**

---

### **Creation of a final project for mechatronics-trainees specialised in robotics**

Author:

**Hannes Jochriem**

Course of Study:

Industrial Engineering

Seminar Group:

IE21w1-D

First Examiner:

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Winkler

Second Examiner:

Prof. M.Sc. Christian Rohrmoser

Submission:

Mittweida, 20.01.2023

Defense/Evaluation:

Mittweida, 2023



### **Bibliografische Beschreibung:**

Jochriem, Hannes:

Erarbeitung eines Abschlussprojekts für Mechatronik-Lehrlinge für das Spezialmodul Robotik.  
– 2023. – 46 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, Fakultät Ingenieurwissenschaften, Diplomarbeit, 2023.

### **Referat:**

Um Schülerinnen und Schülern in der Lehre Mechatronik im Spezialmodul Robotik einen guten Einstieg mit Hilfe eines Projekts zu ermöglichen, wird in dieser Diplomarbeit eine praxisorientierte Aufgabenstellung erstellt.





# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Quelltextverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>1 Projektbeschreibung</b>	<b>1</b>
1.1 Rahmenbedingungen . . . . .	1
1.2 Aktueller Stand . . . . .	1
<b>2 Ist-Stand-Analyse</b>	<b>3</b>
2.1 Yaskawa Motoman MH5N . . . . .	3
2.2 Yaskawa Motoman MH3N . . . . .	4
2.3 Fanuc LR Mate 200iD . . . . .	5
2.4 Mitsubishi Melfa RV-4FL-D . . . . .	5
2.5 Kamerasystem Cognex In-Sight 7400 . . . . .	7
2.6 Kamerasystem Fanuc SC130EF2 . . . . .	7
2.7 Auswahl für das Projekt . . . . .	7
2.8 Blockschaltbild . . . . .	9
<b>3 Bildverarbeitung</b>	<b>11</b>
3.1 Kamera und Software . . . . .	11
3.2 Musterformenblatt . . . . .	13
3.3 Kalibrierung . . . . .	14
3.4 Teil suchen . . . . .	17
3.4.1 Muster . . . . .	17
3.4.2 Kante . . . . .	18
3.4.3 Kantenschnittpunkt . . . . .	18
3.4.4 Blob . . . . .	19
3.4.5 Kreis . . . . .	20
3.4.6 Kombination aus Bildverarbeitungen . . . . .	20
3.5 Teil inspizieren . . . . .	22
<b>4 Aufgabenstellung</b>	<b>25</b>
<b>5 Musterwerkstück</b>	<b>27</b>
5.1 Grundlagen . . . . .	27
5.2 Werkstückentwurf . . . . .	27
5.3 3D-Druck . . . . .	28
5.4 Technische Zeichnung . . . . .	28
5.5 Ausführung . . . . .	29

<b>6</b>	<b>Musterlösungen</b>	<b>31</b>
6.1	Werkstückzuführung . . . . .	31
6.1.1	Bauteilrutsche . . . . .	31
6.1.2	CAD . . . . .	32
6.1.3	Stückliste . . . . .	33
6.1.4	Ausführung Bauteilrutsche . . . . .	33
6.2	Bauteilgreifer . . . . .	35
6.2.1	CAD . . . . .	36
6.2.2	Stückliste . . . . .	36
6.2.3	Ausführung Bauteilgreifer . . . . .	36
6.3	Roboterprogrammierung . . . . .	37
6.3.1	Grundroutinen . . . . .	37
6.3.2	Hauptroutine . . . . .	37
<b>7</b>	<b>Mögliche Probleme</b>	<b>43</b>
7.1	3D-Druck . . . . .	43
7.1.1	Druck wird nicht richtig ausgefüllt . . . . .	43
7.1.2	Der Druck löst sich . . . . .	43
7.2	Fertigungsteile . . . . .	44
7.2.1	Probleme mit der Schlagschere . . . . .	44
7.2.2	Bauteile rutschen nicht zur Abholposition . . . . .	44
7.2.3	Greiferprobleme . . . . .	44
7.3	Kommunikation Roboter-Kamera . . . . .	44
7.4	Roboterprobleme . . . . .	45
7.4.1	Job kann nicht erstellt werden . . . . .	45
7.4.2	Die Positionen des Roboters sind völlig falsch . . . . .	45
7.4.3	Toolcenterpoint Probleme . . . . .	45
7.4.4	Singularität . . . . .	45
7.5	Bildverarbeitung . . . . .	45
7.5.1	Makro wird nicht korrekt aufgerufen . . . . .	45
7.5.2	Bildverarbeitung erkennt Muster nicht . . . . .	46
	<b>Anhang</b>	<b>47</b>
<b>A</b>	<b>Aufgabenstellung Final</b>	<b>47</b>
A.1	Aufgabe . . . . .	47
A.2	Arbeitsschritte . . . . .	48
A.3	Hilfsmittel und Rahmenbedingungen . . . . .	49
<b>B</b>	<b>Musterformenblatt</b>	<b>51</b>
<b>C</b>	<b>Technische Zeichnungen</b>	<b>53</b>
<b>D</b>	<b>Datenblatt Schunk MPG50</b>	<b>57</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>59</b>
	<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>61</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Foto Yaskawa Motoman MH5N . . . . .	3
2.2	Foto Yaskawa Motoman MH3N . . . . .	4
2.3	Foto Fanuc LR Mate 200iD . . . . .	5
2.4	Foto Mitsubishi Melfa RV-4FL-D . . . . .	6
2.5	Blockschaltbild Verkabelung Yaskawa MH3N . . . . .	9
3.1	Aufbausituation Kamera Cognex . . . . .	11
3.2	Darstellung Field of View . . . . .	12
3.3	FOV Millimeterpapier unten . . . . .	12
3.4	FOV Millimeterpapier oben . . . . .	13
3.5	Kalibriervorlage Cognex In-Sight (nicht maßstabsgetreu) . . . . .	14
3.6	Kalibrierung Kreis Schritt 1 . . . . .	15
3.7	Kalibrierung Kreis Schritt 2 . . . . .	16
3.8	Kalibrierung Kreis Schritt 3 . . . . .	16
3.9	Bilderkennung Muster . . . . .	17
3.10	Bilderkennung Kante . . . . .	18
3.11	Bilderkennung Kantenschnittpunkt . . . . .	19
3.12	Bilderkennung Blob . . . . .	19
3.13	Bilderkennung Kreis . . . . .	20
3.14	Bilderkennung kombiniert . . . . .	21
3.15	Bilderkennung kombiniert verschoben . . . . .	21
3.16	Teil inspizieren in Ordnung . . . . .	22
3.17	Teil inspizieren nicht in Ordnung . . . . .	23
5.1	Musterteil 3D-Ansicht . . . . .	28
5.2	Foto Musterwerkstück . . . . .	29
6.1	Darstellung Baugruppe Bauteilrutsche . . . . .	32
6.2	Rutsche einzeln . . . . .	33
6.3	Rutsche eingebaut . . . . .	34
6.4	Rutsche mit Roboter . . . . .	34
6.5	Baugruppe Greifer . . . . .	35
6.6	Greiferbacken gefertigt . . . . .	36
A.1	Blockschaltbild Aufgabenstellung . . . . .	47
B.1	Musterformenblatt . . . . .	52
C.1	Technische Zeichnung Musterwerkstück . . . . .	53
C.2	Fertigungszeichnung Biegeteil . . . . .	54
C.3	Fertigungszeichnung Anschlag . . . . .	55
C.4	Fertigungszeichnung Spannbacke . . . . .	56
D.1	Datenblatt Schunk MPG50 . . . . .	57
D.2	Abmessungen Schunk MPG50 . . . . .	58



# Tabellenverzeichnis

2.1	Technische Daten Motoman MH5N . . . . .	3
2.2	Technische Daten Motoman MH3N . . . . .	4
2.3	Technische Daten LR Mate 200iD . . . . .	5
2.4	Technische Daten Melfa RV-4FL-D . . . . .	6
2.5	Technische Daten Cognex In-Sight 7400 821-0084-9R . . . . .	7
2.6	Technische Daten Fanuc SC130EF2 . . . . .	7
2.7	Gegenüberstellung Roboter . . . . .	8
2.8	Netzwerkkonfiguration Yaskawa MH3N . . . . .	9
3.1	Field of View . . . . .	13
5.1	Slicer Settings 3D-Druck . . . . .	28
6.1	Stückliste Bauteilrutsche . . . . .	33
6.2	Stückliste Bauteilgreifer . . . . .	36



# Quelltextverzeichnis

3.1	Beleuchtung einschalten . . . . .	11
3.2	Beleuchtung ausschalten . . . . .	11
6.1	Greifer öffnen . . . . .	37
6.2	Greifer schließen . . . . .	37
6.3	Hauptprogramm Z22-MAIN-Z . . . . .	38
6.4	Ablaufprogramm Z22-Ablauf . . . . .	39
6.5	Programm Z22-IO-Teil . . . . .	40
6.6	Programm Z22-NIO-Teil . . . . .	41





---

# Abkürzungsverzeichnis

**DUT** ..... Device under test

**FOV** ..... Field of View



# 1 Projektbeschreibung

In der Tiroler Fachberufsschule Kufstein werden im Ausbildungszweig Mechatronik verschiedene Ausbildungsschwerpunkte des Lehrberufs angeboten. Diese sind:

- Automatisierungstechnik
- Fertigungstechnik
- Alternative Antriebstechnik
- Additive Fertigung
- Digitale Fertigungstechnik

Diese Ausbildungsschwerpunkte können am Ende des vierten Lehrgangs mit einem Spezialmodul vertieft werden. Dazu stehen den Schülerinnen und Schülern folgende Auswahl zur Verfügung:

- SPS Spezialmodul
- Robotik

Für das Spezialmodul Robotik stehen den Schülerinnen und Schülern mehrere Roboter in der Schule zur Verfügung, mit denen Sie einen Einstieg in diese Welt erhalten sollen. Ziel dieser Diplomarbeit ist es, ein Beispielprojekt zu erarbeiten, welches diesen Einstieg erleichtern soll.

## 1.1 Rahmenbedingungen

Da die Schülerinnen und Schüler eine umfassende Ausbildung an der Schule erhalten, soll das Projekt auch aus verschiedenen Bereichen zusammengesetzt sein. Diese beinhalten nicht nur das Erlernen der Grundlagen der Robotik sondern auch einen konstruktiven Part inklusive Fertigung von Teilen in der schuleigenen Werkstatt. Zusätzlich soll zur Veranschaulichung eines Industrie 4.0-Prozesses eine Bildverarbeitung mit Kamera implementiert und eine entsprechende Ausschusserkennung erstellt werden.

Die Auswahl des Roboters und der Musterbauteile soll im Rahmen des Projekts erfolgen. Eine Musterlösung für die Schülerinnen und Schüler ist angedacht.

## 1.2 Aktueller Stand

Zur Zeit erhalten die Schülerinnen und Schüler eine Auswahl an einzelnen Übungen, die alle aufeinander aufbauen und so den Einstieg in die Robotik erleichtern soll. Es befinden sich vier Roboter in der Schule:

- Yaskawa Motoman MH5N
- Yaskawa Motoman MH3F
- Fanuc LR Mate 200iD
- Mitsubishi Melfa RV-4FL-D

Alle Schülerinnen und Schüler durchlaufen die Übungen an mindestens einem Yaskawa und dem Fanuc-Roboter.

Zusätzlich befinden sich aktuell zwei Bildverarbeitungssysteme in der Schule, welche noch kaum genutzt werden:

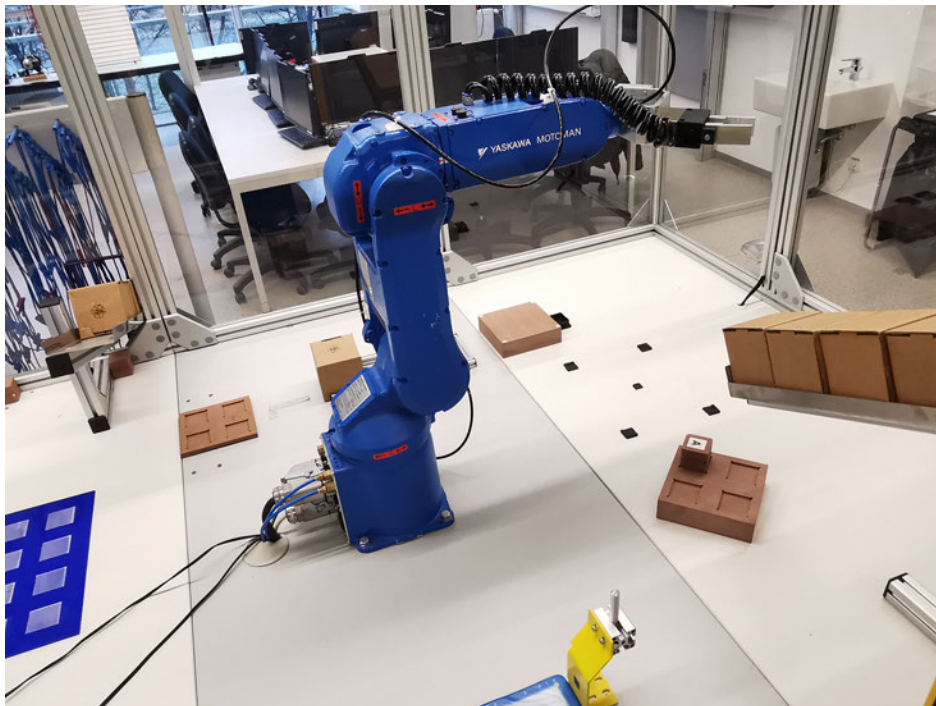
- Cognex Typ 821-0084-9R F
- Fanuc SC130EF2

## 2 Ist-Stand-Analyse

### 2.1 Yaskawa Motoman MH5N

Der größere der zwei Yaskawa Roboter in der Schule ist der Yaskawa Motoman MH5N. Er befindet sich im Robotik-Labor und dient dort ausschließlich zu Unterrichtszwecken im vierten Lehrgang für Automatisierungstechnik und im zweiten Teil des vierten Lehrgangs für das Spezialmodul Robotik. Er ist umlaufend mit Plexiglas geschützt, der einzige offene Bereich ohne Plexiglas wird von einem Lichtvorhang gegen ungewolltes Eindringen in den Arbeitsbereich geschützt. Sämtliche Türen sind mit Sicherheitsschalter versehen. Ein Foto des Roboters ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

**Abbildung 2.1:** Foto Yaskawa Motoman MH5N



Die technischen Daten [1] des Roboters werden in Tabelle 2.1 aufgelistet.

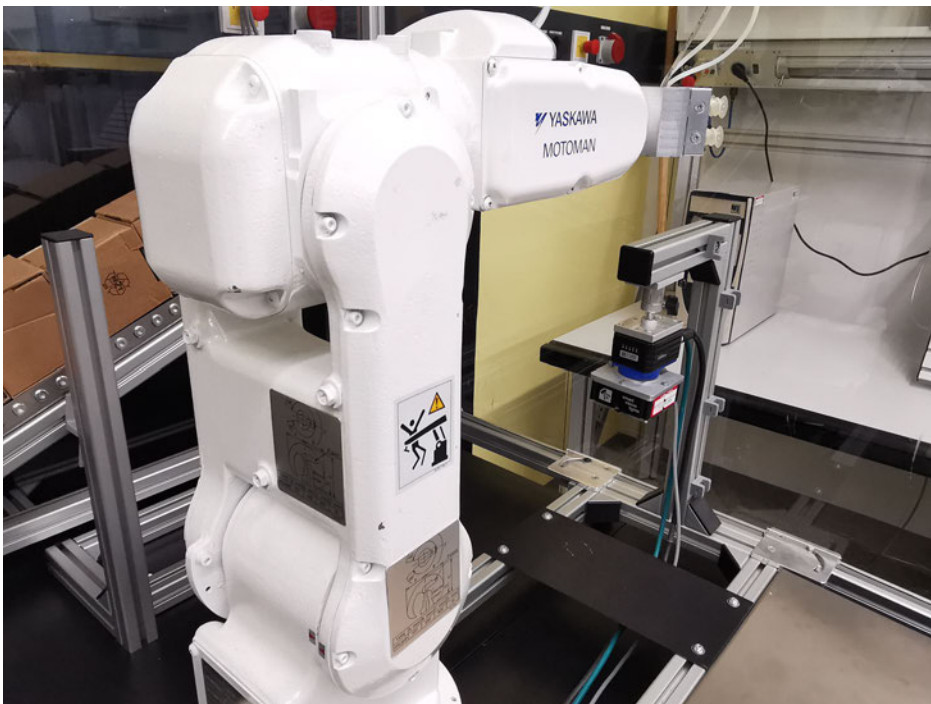
**Tabelle 2.1:** Technische Daten Motoman MH5N

<b>Bezeichnung</b>	<b>Eigenschaft</b>
Hersteller	YASKAWA Europe GmbH
Typ	Motoman MH5N
Max. Gewicht am Handgelenk	5kg
Max. Reichweite	706mm
Aufstellmaße	200mm x 205mm
Signale am Tool	4 Inputs, 4 Outputs

## 2.2 Yaskawa Motoman MH3N

Der kleinere der zwei Yaskawa Roboter in der Schule ist der Yaskawa Motoman MH3N. Auch dieser befindet sich im Robotik-Labor und dient ausschließlich zur Ausbildung im vierten Lehrgang. Er ist umlaufend mit Plexiglasscheiben vor ungewolltem Eindringen geschützt. Türen sind nicht vorgesehen, das Zuführen von Material zum Roboter erfolgt über Öffnungen an den Scheiben. Ein Foto des Roboters ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

**Abbildung 2.2:** Foto Yaskawa Motoman MH3N



Die technischen Daten [2] des Roboters werden in Tabelle 2.2 aufgelistet.

**Tabelle 2.2:** Technische Daten Motoman MH3N

<b>Bezeichnung</b>	<b>Eigenschaft</b>
Hersteller	YASKAWA Europe GmbH
Typ	Motoman MH3N
Max. Gewicht am Handgelenk	3kg
Max. Reichweite	532mm
Aufstellmaße	176mm x 243mm
Signale am Tool	4 Inputs, 4 Outputs

An diesem Roboter ist das Kamerasystem der Firma Cognex montiert und eingebunden. Dieses kann über einen Laptop mit der dazugehörigen Software konfiguriert und verwendet werden.

## 2.3 Fanuc LR Mate 200iD

Der Fanuc LR Mate 200iD befindet sich in einer Roboterzelle, die direkt von der Firma Fanuc mit verkauft wurde. Diese Roboterzelle beinhaltet im unteren Bereich die gesamte Elektronik sowie in der oberen Hälfte eine mit Plexiglas geschützte Arbeitseinheit. Die Türen sind mit Sicherheitsschaltern geschützt. Ein Foto des Roboters ist in Abbildung 2.3 zu sehen.

**Abbildung 2.3:** Foto Fanuc LR Mate 200iD



Die technischen Daten [3] des Roboters werden in Tabelle 2.4 aufgelistet.

**Tabelle 2.3:** Technische Daten LR Mate 200iD

Bezeichnung	Eigenschaft
Hersteller	FANUC Europe Corporation
Typ	LR Mate 200iD
Max. Gewicht am Handgelenk	7kg
Max. Reichweite	717mm
Aufstellmaße	190mm x 190mm
Signale am Tool	6 Inputs, 2 Outputs

Die Kamera für die Bildverarbeitung vom Typ *Fanuc SC130EF2* ist bereits vom Hersteller oben an der Roboterzelle montiert. Diese kann über das Handbediengerät konfiguriert und programmiert werden.

## 2.4 Mitsubishi Melfa RV-4FL-D

Der Mitsubishi Melfa RV-4FL-D ist im Labor für *Smart Factories* in einer Fertigungszelle montiert. Diese wurde im Rahmen der Industrie 4.0 Offensive in Kooperation mit der FH-Kufstein, der Firma Stihl und dem Land Tirol finanziert und mit der Firma Festo umgesetzt. Die *Smart*

*Factory* beinhaltet viele moderne Elemente, wie ein zentrales Auftragsmanagement, Tablet-gesteuerte Fertigung, vollautomatisch fahrende Roboter (Robotino) und unter anderem den Roboter von Mitsubishi, welcher automatisch angelieferte Teile in die CNC-Fräse einlegt und nach erfolgtem Fertigungsprozess wieder weitergibt. Ein Foto des Roboters ist in Abbildung 2.4 zu sehen.

**Abbildung 2.4:** Foto Mitsubishi Melfa RV-4FL-D



Die technischen Daten [4] des Roboters werden in Tabelle 2.4 aufgelistet. Der Roboter hat folgende technischen Daten

**Tabelle 2.4:** Technische Daten Melfa RV-4FL-D

Bezeichnung	Eigenschaft
Hersteller	Mitsubishi Electric Corporation
Typ	Melfa RV-4FL-D
Max. Gewicht am Handgelenk	4kg
Max. Reichweite	648,7mm
Aufstellmaße	190mm x 190mm
Signale am Tool	8 Inputs, 8 Outputs

An der Fertigungszelle befindet sich kein Kamera-Modul. Der Roboter ist komplett in die *Smart Factory* integriert und arbeitet dort als Einheit mit den umliegenden Systemen. Es ist also nicht sinnvoll, diesen für das Projekt zu verwenden, da ein massiver Eingriff in ein funktionierendes, bestehendes System erfolgen müsste.



## 2.5 Kamerasystem Cognex In-Sight 7400

Auf dem kleinen Yaskawa Roboter (MH3N) ist das Kamerasystem von Cognex montiert. Es handelt sich dabei um ein In-Sight 7400 Typ 821-0084-9R. Dieses Kamerasystem ist über Netzwerk an den Roboter angebunden. Ein Laptop mit der Software *In-Sight Explorer* von Cognex steht zum Konfigurieren und Einstellen der Bildverarbeitungsmerkmale zur Verfügung. Die technischen Daten der Kamera sind [5]

**Tabelle 2.5:** Technische Daten Cognex In-Sight 7400 821-0084-9R

Bezeichnung	Eigenschaft
Hersteller	Cognex Corporation
Typ	821-0084-9R
Sensortyp	1/1,8 Zoll CMOS
Max. Auflösung	800x600
Farbtiefe	256 Grautöne
Bildrate	102fps

Im aktuellen Stand wird die Kamera in der letzten Laboreinheit von den Schülerinnen und Schülern des Robotik-Speziamoduls kurz in Betrieb genommen und in der Software kalibriert.

## 2.6 Kamerasystem Fanuc SC130EF2

Das Kamerasystem der Firma Fanuc ist fix in die Roboterzelle integriert. Da alles von einem Hersteller geliefert wurde, ist das System auch in das Bedienpult des Roboters integriert, es ist keine extra Software nötig, um die Kamera zu kalibrieren und zu konfigurieren. Die technischen Daten der Kamera sind

**Tabelle 2.6:** Technische Daten Fanuc SC130EF2

Bezeichnung	Eigenschaft
Hersteller	Fanuc Robotics
Typ	SC130EF2
Sensortyp	1/1,8 Zoll CMOS

## 2.7 Auswahl für das Projekt

Für die Auswahl des passenden Roboters und des passenden Kamerasystems sind folgende Kriterien wichtig:

- Unabhängigkeit von anderen Laboren/Laborübungen
- In-House Erfahrung
- Modifizierbar: Möglichkeit zum Einbau von den Fertigungsteilen der Schülerinnen und Schüler
- Flexibilität: Roboterzelle beweglich
- Kamerasystem einfach integrierbar

Aus den oben genannten Aspekten fällt der Roboter der Firma **Mitsubishi** komplett aus der Liste. Dieser ist, wie zuvor genannt, komplett in die *Smart Factory* integriert, ein einfaches erweitern um Fertigungsteile der Schülerinnen und Schüler ist hier nicht möglich. Zudem würde das Projekt auf dem Roboter den Unterricht im Labor *Smart Factory* blockieren.

Die Projekte sind in der Schule immer so aufgebaut, dass mehrere Schülerinnen und Schüler gleichzeitig an diesen arbeiten können. Das Kamerasystem der Firma **Fanuc** ist direkt in den Roboter integriert und muss über das Programmierhandgerät bedient werden. Das bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler nicht gleichzeitig Programmierarbeiten am Roboter und am Kamerasystem durchführen können. Die Roboterzelle wird auch im ersten Teil des vierten Lehrgangs Automatisierungstechnik und teilweise auch schon im dritten Lehrgang als Einstieg in die Grundlagen der Robotik genutzt und sollte daher nicht vom Projekt des Spezialmoduls blockiert werden. Aus diesen Gründen scheidet auch dieser Roboter aus.

Die zwei verbleibenden Roboter der Firma Yaskawa sind der **MH5N** und der **MH3N**, das Kamerasystem ist bereits mechanisch auf den MH3N gebaut. Der Umbau auf die deutlich größere Roboterzelle des MH5N wäre mit wenig Aufwand realisierbar, allerdings befinden sich in dieser Roboterzelle bereits einige Vorrichtung zur Ausbildung der Schülerinnen und Schüler. Diese sind zum Beispiel vordefinierte Rutschen und Magazinplätze, auf denen Kartons gehandhabt und gestapelt werden können. Die Roboterzelle des MH3N ist in dieser Hinsicht deutlich flexibler, da noch kaum Anbauteile vorhanden sind. Zudem bietet sich das Gesamtsystem in der Kombination von Handprogrammiergerät für den Roboter und Laptop mit Bildverarbeitungssoftware für die Kamera an, denn so können die Schülerinnen und Schüler gleichzeitig Erfahrung mit der Bedienung des Roboters als auch der Bildverarbeitung sammeln! Zusätzlich ist der Roboter ausschließlich für das Spezialmodul Robotik der vierten Klasse reserviert, er wird also in keiner anderen Laborübung verwendet.

Die In-House Erfahrung ist bei allen Robotern identisch, da die bestehenden Übungen auf allen vier Geräten als auch auf beiden Kamerasystem durchgeführt werden. Dieser Punkt benötigt also keine besondere Beachtung.

**Tabelle 2.7:** Gegenüberstellung Roboter

Roboter	Unabhängigkeit	Erfahrung	Modifizierbar	Flexibilität	Kamera
MH5N	+	++	0	-	-
MH3N	++	++	++	0	++
200iD	++	+	0	++	++
RV-4FL-D	--	-	--	--	--

Die Entscheidung fällt auf den MH3N der Firma Yaskawa, da er aus den oben genannten Punkten gegenüber den anderen Robotern deutliche Vorteile bietet.

## 2.8 Blockschaltbild

Das Kameramodul und der Roboter sind bereits fertig aufgebaut und verkabelt. Die Cognex-Kamera ist über Netzwerk und einem Switch mit der Steuerung des Roboters verbunden. Ein Digitalausgang der Robotersteuerung wird dazu verwendet, die Beleuchtung für die Kamera einzuschalten. Ein Programmierlaptop ist über ein Ethernetkabel ebenfalls mit dem Switch verbunden. Die IP-Adressen sind fix vergeben in Tabelle 2.8 aufgelistet.

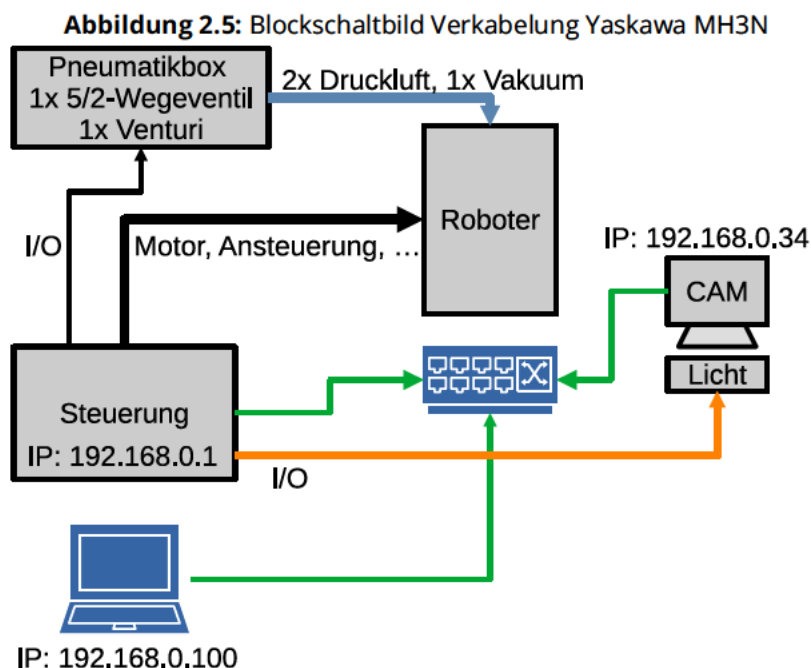
**Tabelle 2.8:** Netzwerkkonfiguration Yaskawa MH3N

Gerät	IP-Adresse	MAC-Adresse
Steuerung Yaskawa	192.168.0.1	00:20:b5:2b:1f:d3
Cognex Kamera	192.168.0.34	00:d0:24:42:43:1c
Programmierlaptop	192.168.0.100	50:26:90:18:13:a2

Die Schnittstellen zwischen Roboter und Steuerung sind zum Einen die standardmäßig vorhandenen Servo- und Steuerleitungen. Zusätzlich befinden sich zwischen Roboter und Steuerschrank eine Pneumatik-Box welche eine entsprechende Luftversorgung für den Endeffektor zur Verfügung stellt.

Diese besteht aus einem 5/2-Wege-Ventil, nicht federrückgestellt, welches mit zwei Magnetventilen angesteuert wird. Dafür sind zwei Ausgänge des Steuerschranks fix verkabelt. Mit diesem Ventil können doppelwirkende Zylinder angesteuert und somit einfach Greiferanwendungen realisiert werden.

Zusätzlich zum Magnetventil befindet sich in der Pneumatik-Box noch ein Venturi-Ventil zur Erzeugung von Vakuum. Dies ist für Anwendungen, in denen ein Vakuumsauger benötigt wird, gedacht. Eine Übersicht über die Verkabelung gibt Abbildung 2.5.





## 3 Bildverarbeitung

### 3.1 Kamera und Software

Abbildung 3.1: Aufbausituation Kamera Cognex



In Abbildung 3.1 ist der aktuelle Aufbau der Kamera zu sehen. Diese ist kragend an Item-Profilen montiert. Dadurch ist es einfach möglich, ein zu testendes Teil (DUT, Device under Test) mit dem Roboter unter die Kamera zu halten. Um eine optimale und reproduzierbare Ausleuchtung des Testobjekts zu gewährleisten, befindet sich direkt an der Kamera ein Ringlicht, welches von einem Digitalausgang des Roboters angesteuert werden kann. Dazu muss am Roboter Ausgang 4 verwendet werden. Zum Ein- und Ausschalten des Lichts wurden bereits zwei kleine Programme geschrieben, welche aus dem Hauptprogramm aufgerufen werden können:

```
1 /JOB
2 //NAME BELEUCHUNG EIN
3 NOP
4 DOUT OT#(4) ON
5 END
```

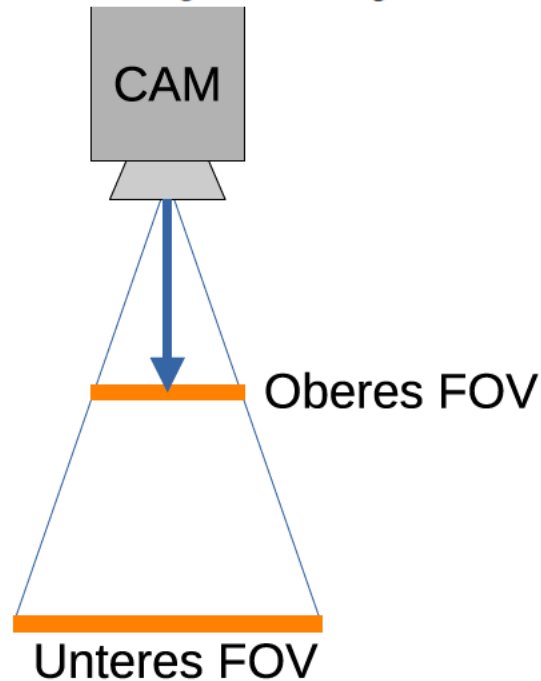
Quelltext 3.1: Beleuchtung einschalten

```
1 /JOB
2 //NAME BELEUCHUNG AUS
3 NOP
4 DOUT OT#(4) OFF
5 END
```

Quelltext 3.2: Beleuchtung ausschalten

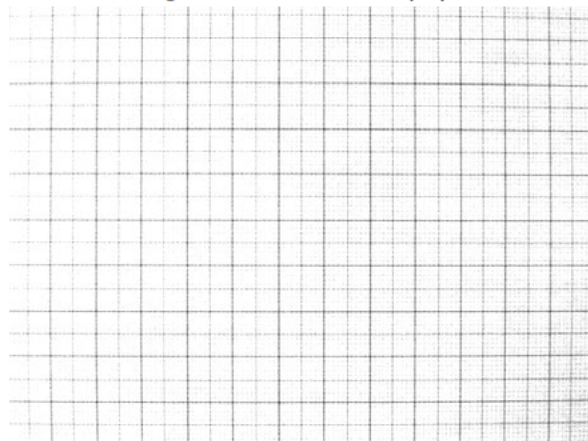
Je nach Arbeitsabstand der Kamera und in Abhängigkeit vom minimalen und maximalen Fokus, in dem die Kamera scharf stellen kann, ergibt sich ein Bereich, den die Kamera erfassen kann. Dieser Bereich wird *Field of View* bzw. abgekürzt FOV genannt. Dies ist in Abbildung 3.2 grafisch dargestellt. Da keine genauen Informationen zur Vergrößerung und der Linse der Kamera vorlagen, muss dieser FOV manuell bestimmt werden. Das ist eine wichtige Grundvoraussetzung für das Erstellen eines Musterformblattes zum Testen der Kamerafunktionen als auch für das fertige Musterwerkstück, da beides komplett im Kamerabild zu sehen sein soll.

**Abbildung 3.2:** Darstellung Field of View



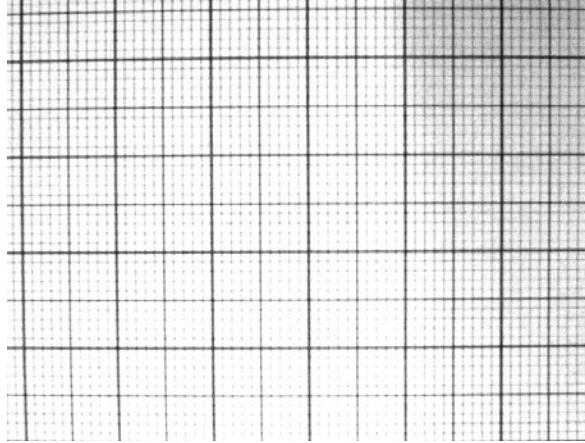
Um das FOV zu ermitteln, wird ein Millimeterpapier an der untersten Stelle der Kamera platziert, das gesamte Kamerafeld in dieser unteren Position ist in Abbildung 3.3 zu sehen. Dadurch kann man ein FOV von ca. 130mm x 100mm bestimmen.

**Abbildung 3.3:** FOV Millimeterpapier unten



Im zweiten Schritt wird das obere FOV ermittelt. Dazu wird das Millimeterpapier so nahe an die Kamera geführt, dass diese noch fokussieren bzw. scharfstellen kann. Das in dieser Position entstandene Bild ist in Abbildung 3.4 zu sehen. Dadurch ergibt sich ein oberer Bildausschnitt von ca. 60mm x 45mm

**Abbildung 3.4:** FOV Millimeterpapier oben



Das FOV der Kamera bewegt sich also in folgendem Rahmen:

**Tabelle 3.1:** Field of View

FOV	X-Achse	Y-Achse
Unten	130mm	100mm
Oben	60mm	45mm

Aufgrund dieser Feststellung und in Bezug auf ein ideales Verhältnis von Greifer und 3D-Druckzeit wird eine Bauteilgröße von 5x5cm definiert, die Musterformen sollen sich auch in diesem Größenbereich bewegen.

Die verwendete Software zur Einstellung der Bildverarbeitungsmerkmale ist *In-Sight Explorer* in der Version 5.9.1, diese ist auf einem Laptop installiert, welcher fix dem Roboterplatz zugewiesen ist. Die Details und Bedienung der Software wird in den folgenden Kapiteln beschrieben.

## 3.2 Musterformenblatt

Um die Grundfunktionen der Kamera zu testen, wurde ein Blatt mit Musterformen erzeugt. Dieses enthält neben einem Kreis zur Kalibrierung (siehe Abschnitt 3.3) noch weitere Formen. Dadurch kann ein erster Eindruck mit der Kamera und der Software gewonnen werden. Dieses Musterformenblatt wird den Schülerinnen und Schülern mit ausgeteilt, damit diese die verschiedenen Möglichkeiten testen können. Das Musterformenblatt ist in Anhang B abgedruckt.

### 3.3 Kalibrierung

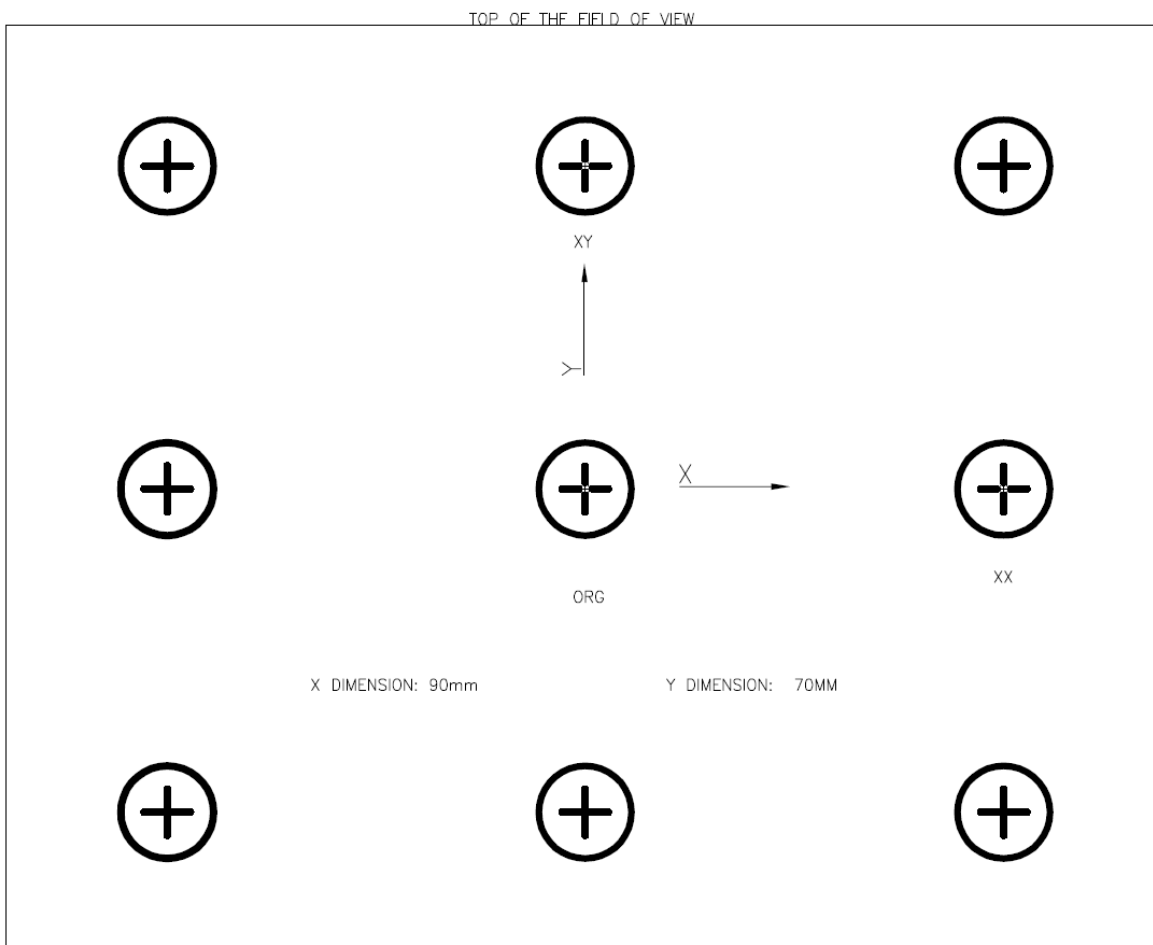
Die Software verfügt über die Möglichkeit, Längen und Wege zu messen bzw zu berechnen. Dazu muss einmalig pro Job eine Referenz aufgenommen und entsprechend kalibriert werden.

Folgende Möglichkeiten bietet die Software:

- X-/Y-Skalierung
- Kante zu Kante
- Kante zu Kante (X/Y)
- Kreis
- 9-Punkt
- Importieren

Standardmäßig wird von der Firma Cognex die Kalibriervorlage von Abbildung 3.5 mitgeliefert. Die Abmessungen dieser Vorlage sind jedoch mit einem Abstand zwischen den Kreisen von 90mm in X-Richtung und 70mm in Y-Richtung für unseren Arbeitsabstand und FOV der Kamera zu groß, da das gesamte Bild eine Abmessung von ca. 200mm x 160mm hat.

**Abbildung 3.5:** Kalibriervorlage Cognex In-Sight (nicht maßstabsgetreu)

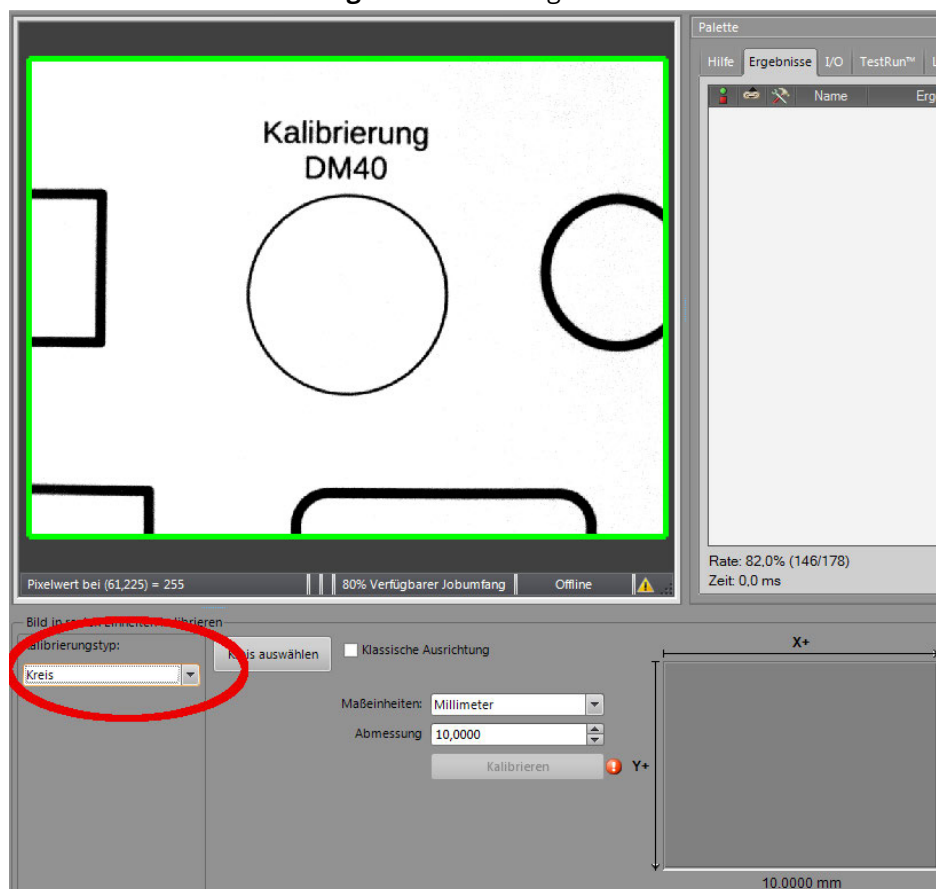




Als einfachste Art der Kalibrierung hat sich in Tests die Variante *Kreis* herausgestellt. Aus diesem Grund wurde auf dem Musterformenblatt ein Kreis zur Kalibrierung mit einem Durchmesser von 40mm und einer dünnen Strichstärke vorgesehen. Die Kalibrierung erfolgt im Grunde in drei Schritten, die im Folgenden beschrieben werden. Wichtig hierbei ist, dass sich der Kreis auf dem selben Arbeitsabstand befindet, wie das DUT. Eine Abweichung in Z-Richtung würde die Vergrößerung beeinflussen und somit die Kalibrierung unbrauchbar machen.

Im ersten Auswahlfeld zur Kalibrierung muss also die Option *Kreis* gewählt werden, wie in Abbildung 3.6 zu sehen ist.

**Abbildung 3.6:** Kalibrierung Kreis Schritt 1



Danach werden über die Funktion *Smart Features* alle Kreise vorgeschlagen, welche von der Bildverarbeitung erkannt wurden. Mit der Maus kann der nun violett markierte Kreis aus dem Musterformenblatt gewählt werden. Dies ist in Abbildung 3.7 zu sehen.

Im letzten Schritt muss noch die Abmessung des Kalibrierkreises eingestellt werden. Zur Vereinfachung steht der Durchmesser als Text über dem Kreis, dieser beträgt 40mm. Nachdem dieser Durchmesser, wie in Abbildung 3.8 zu sehen ist, eingegeben wurde, kann die Kamera mit einem Klick auf den Button *Kalibrieren* kalibriert werden. Die Genauigkeit ist mit dieser Methode für die im Übungsumfang benötigten Funktionen ausreichend.

Abbildung 3.7: Kalibrierung Kreis Schritt 2

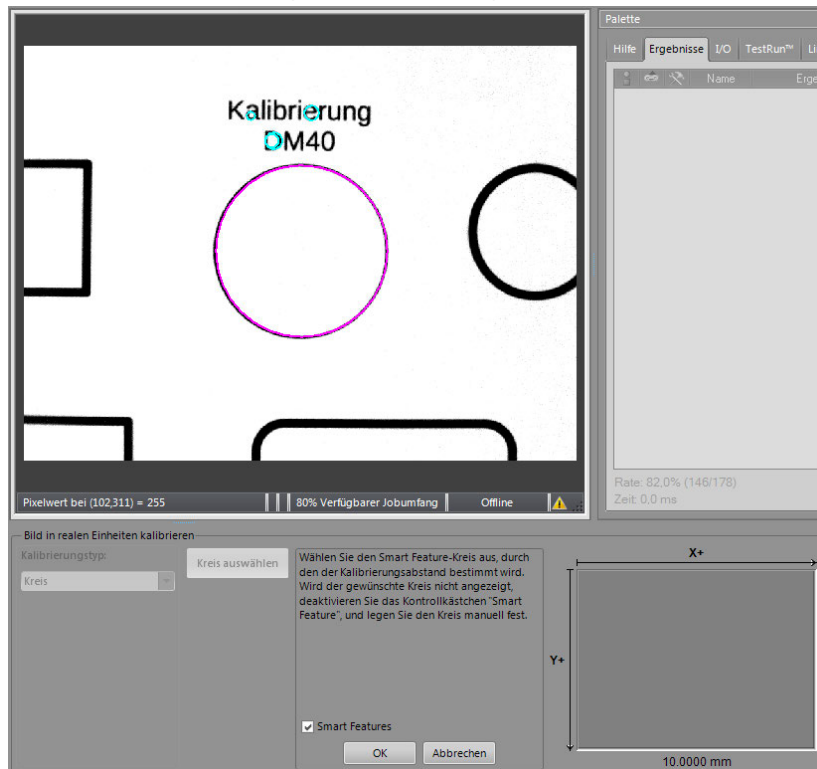
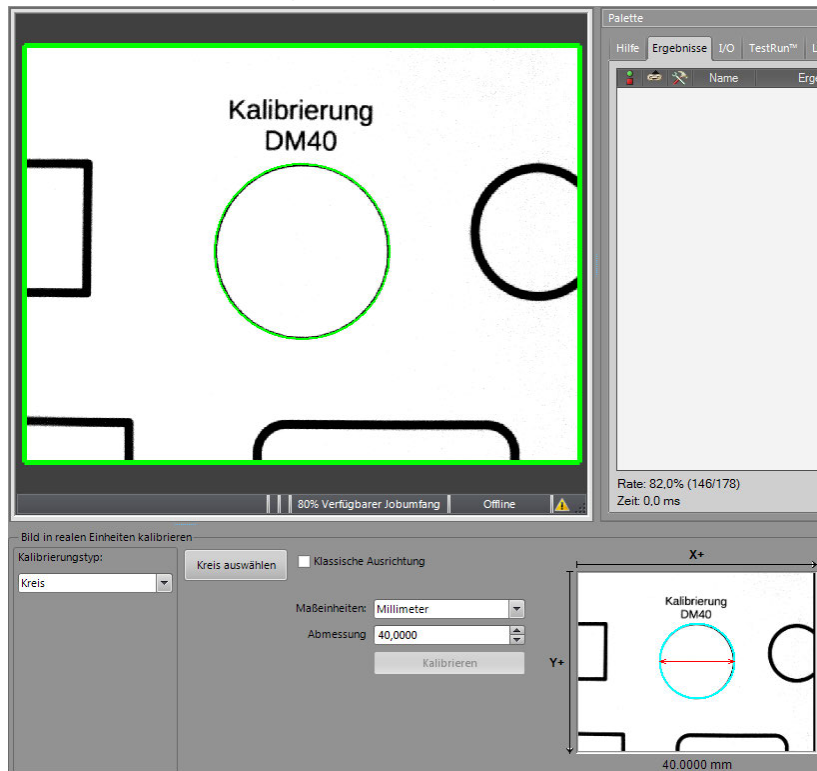


Abbildung 3.8: Kalibrierung Kreis Schritt 3



## 3.4 Teil suchen

Eine wichtige Grundfunktion der Bildverarbeitungssoftware ist *Teil suchen*, damit ist es möglich, Bauteile nach Formen und ähnlichen Vorgaben zu erkennen und in späterer Folge zu inspizieren.

Die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten hierbei sind:

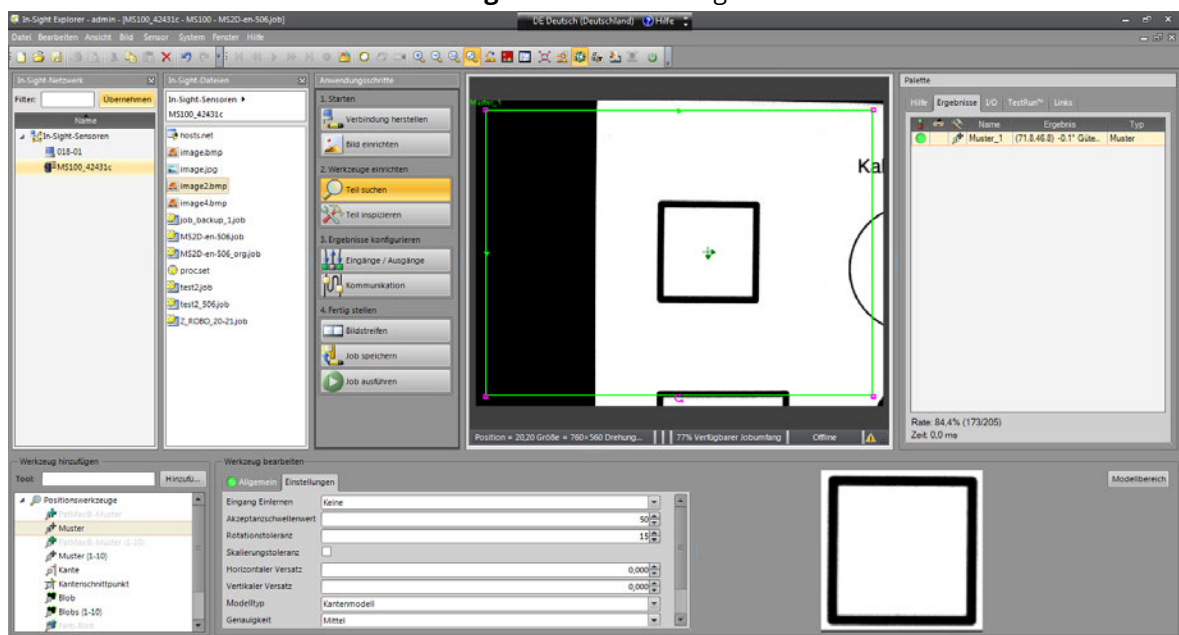
- Muster
- Kante
- Kantenschnittpunkt
- Blob
- Kreis

Auf die einzelnen Funktionen wird in den nachfolgenden Unterkapiteln näher eingegangen. Jede dieser Funktionen gibt ein neues Koordinatensystem aus, welches als Grundlage für eine darauffolgende Bildverarbeitung verwendet werden kann. Wenn man also zum Beispiel einen Bereich um ein Bauteil markiert, wird dieser Bereich mit dem Bauteil mitverschoben. Mit den richtigen Einstellungen ist also eine exakte Platzierung des Bauteils nicht nötig.

### 3.4.1 Muster

Die Mustererkennung erstellt ein Foto von einem Referenzbauteil und vergleicht dann das Muster dieses Referenzbildes mit den Bauteilen unter der Kamera.

Abbildung 3.9: Bildererkennung Muster

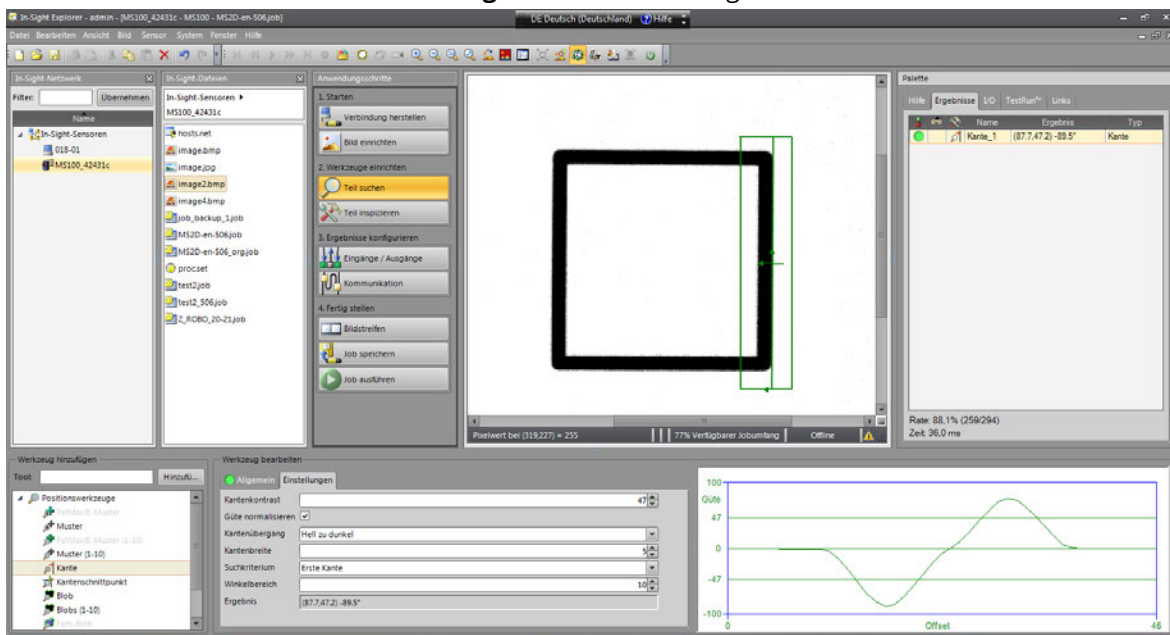


Die wichtigste Einstellung bei dieser Erkennung ist die *Toleranzschwelle*, diese beschreibt, wie exakt das DUT mit dem Referenzbild übereinstimmen soll. Bei den Versuchen mit der Mustererkennung zeigt sich diese als sehr unzuverlässig zur Erkennung von Bauteilen. Im Speziellen, wenn sich die Bauteile toleranz- oder fertigungsbedingt leicht unterscheiden.

### 3.4.2 Kante

Bei der Kantenerkennung wird ein entsprechender Übergang von *hell zu dunkel* oder von *dunkel zu hell* erkannt.

Abbildung 3.10: Bildererkennung Kante



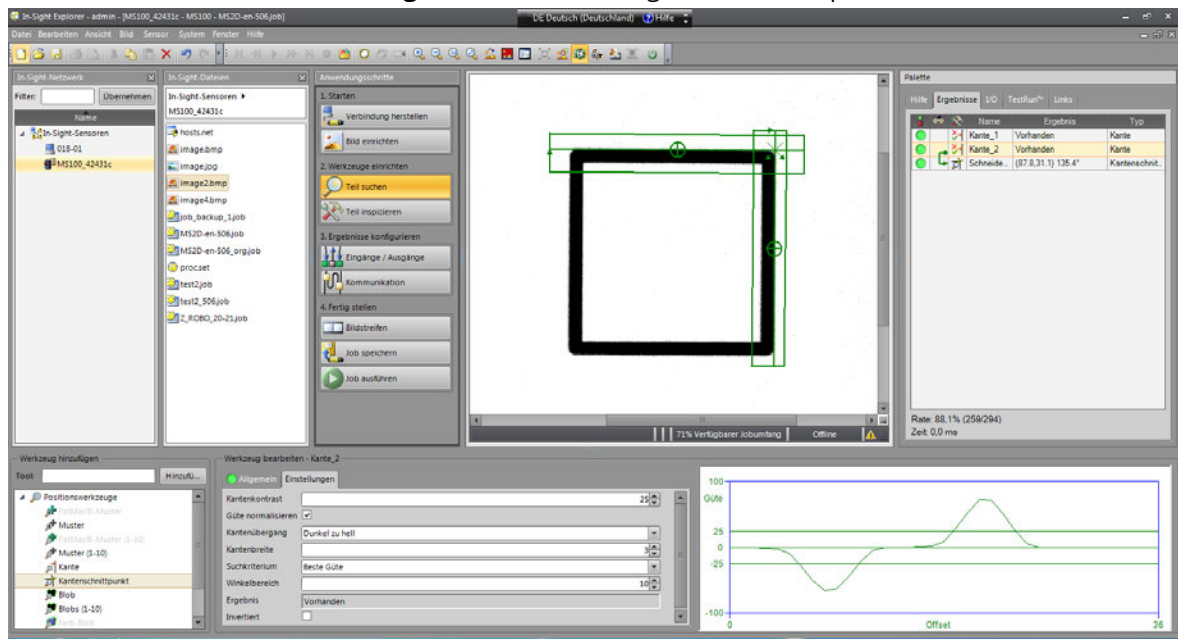
Die wichtigsten Einstellungen hierbei sind die Art des Übergangs und der Kontrast der Kante. Diese Funktion hat bei der Erkennung eines Bauteils keinen wirklichen Nutzen, da nur die Kante an sich erkannt wird. Die Länge der Kante wird hier nicht berücksichtigt, diese wird immer bis zum Rand des grünen Rahmens verlängert, wie in Abbildung 3.10 zu erkennen ist. Es kann so also kein Mittelpunkt der Kante sondern im Fall des Bildes nur die exakte X-Koordinate bestimmt werden.

### 3.4.3 Kantenschnittpunkt

Die Funktion *Kantenschnittpunkt* setzt sich eigentlich aus zwei Kantenfindungs-Funktionen zusammen und ist in Abbildung 3.11 zu sehen.

Die Einstellungen der einzelnen Kantenerkennungen erfolgt analog zu Unterabschnitt 3.4.2. Die Stelle, an der sich die zwei Kanten schneiden wird in dieser Bildverarbeitung erkannt und an dieser Stelle auch ein entsprechender Nullpunkt gesetzt. Diese Methode ist also sehr gut geeignet, um Kanten eines Bauteils zu erkennen.

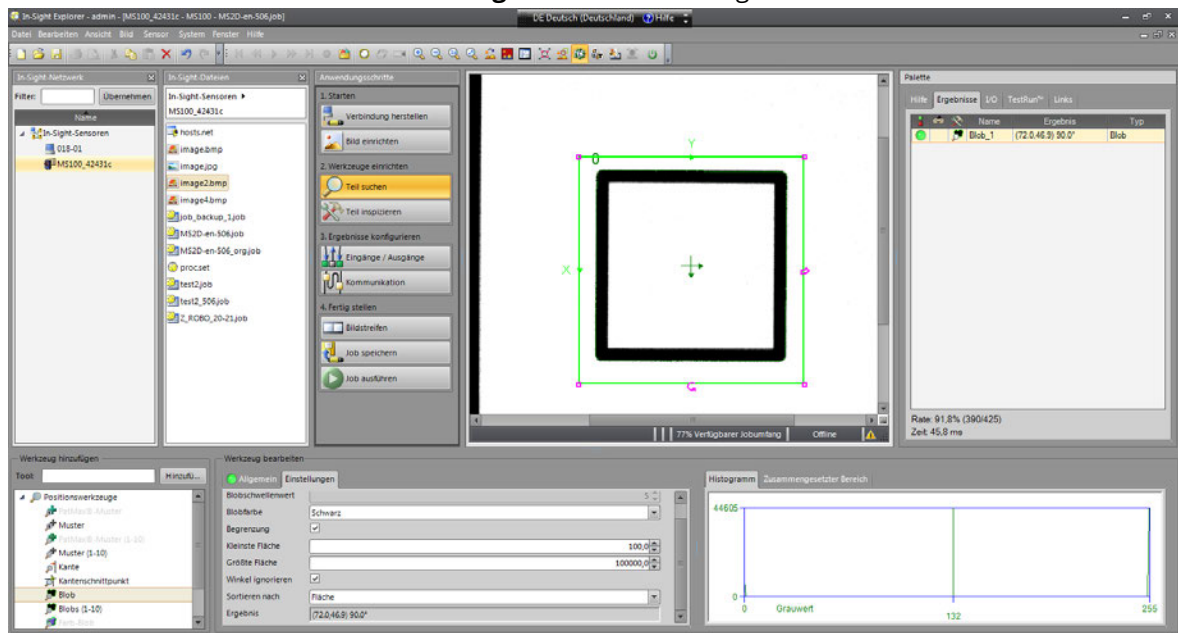
Abbildung 3.11: Bilderkennung Kantenschnittpunkt



### 3.4.4 Blob

Die Bloberkennung ist die wichtigste Art der Bildverarbeitung, die zur Verfügung steht. In dieser werden helle oder dunkle Pixel gezählt und ein Koordinatennullpunkt an deren errechneten Schwerpunkt ausgegeben.

Abbildung 3.12: Bilderkennung Blob



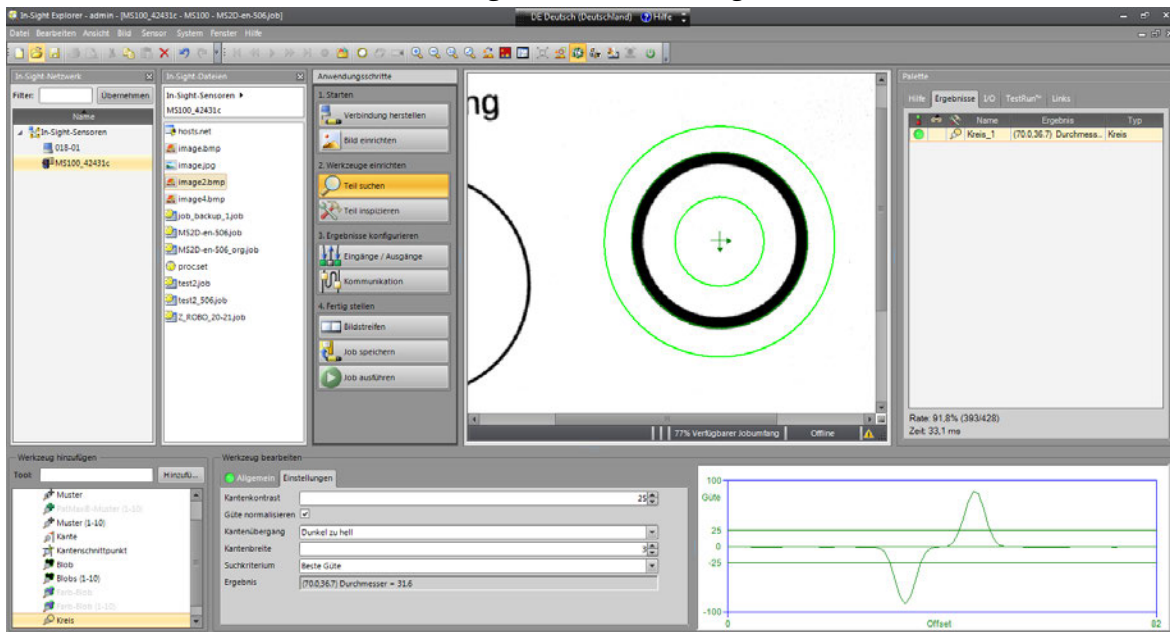
Dabei sind die wichtigsten Einstellmöglichkeiten die *Blobfarbe*, also ob helle oder dunkle Pixel gezählt werden sollen, der *Schwellewert* für die Erkennung und die kleinste bzw. größte Fläche, die erkannt werden soll.

Diese Art der Bildverarbeitung hat sich als sehr zuverlässig herausgestellt, auch bei leichten unterschieden in den Werkstücken, wird der Mittelpunkt noch sehr genau bestimmt. Daher soll diese Methode auf jeden Fall in die Laborübung für die Schülerinnen und Schüler einfließen.

### 3.4.5 Kreis

Mit der Kreiserkennung findet die Bildverarbeitung kreisförmige Objekte.

Abbildung 3.13: Bilderkennung Kreis



Die Erkennung der Kreiskante funktioniert analog zur Kantenerkennung, die in Unterabschnitt 3.4.2 beschrieben ist. Zusätzlich wird noch ein innerer und äußerer Kreis definiert, um eine Grenze für die Erkennung zu erhalten. Diese Grenze ist allerdings sehr unvorteilhaft, sollte der Kreis minimal außerhalb dieser liegen, kann er nicht mehr erkannt werden. Um dies zu vermeiden, können mehrere Bildverarbeitungen kombiniert und deren ermittelte Nullpunkte als Referenz genommen werden, dies wird in Unterabschnitt 3.4.6 beschrieben.

### 3.4.6 Kombination aus Bildverarbeitungen

Wie schon beschrieben ist es möglich, mehrere Bildverarbeitungen miteinander zu kombinieren. Die wichtigste Funktion dabei ist, dass eine erfolgreiche Bilderkennung ein neues Koordinatensystem ausgibt. Dieses wird dann automatisch als neuer Nullpunkt für die weiteren Systeme verwendet. Als Beispiel wird hier die Kreiserkennung mit vorheriger Mustererkennung aufgezeigt. In Abbildung 3.14 sieht man im rechten Menü die Mustererkennung, der blaue Pfeil symbolisiert, dass die ermittelte Referenz an die Kreiserkennung durchgereicht wird. Sollte dies nicht geschehen, kann die Bildverarbeitung keinen Kreis erkennen, der außerhalb der Suchflächen liegt.

Dank der kombinierten Bilderkennung wird jedoch der Nullpunkt der Referenz-Kreise auf den ermittelten Nullpunkt der Mustererkennung verschoben, dies ist in Abbildung 3.15 zu sehen. Jetzt ist es problemlos möglich, den Kreis zu erkennen, obwohl das Werkstück deutlich verschoben wurde.

Abbildung 3.14: Bilderkennung kombiniert

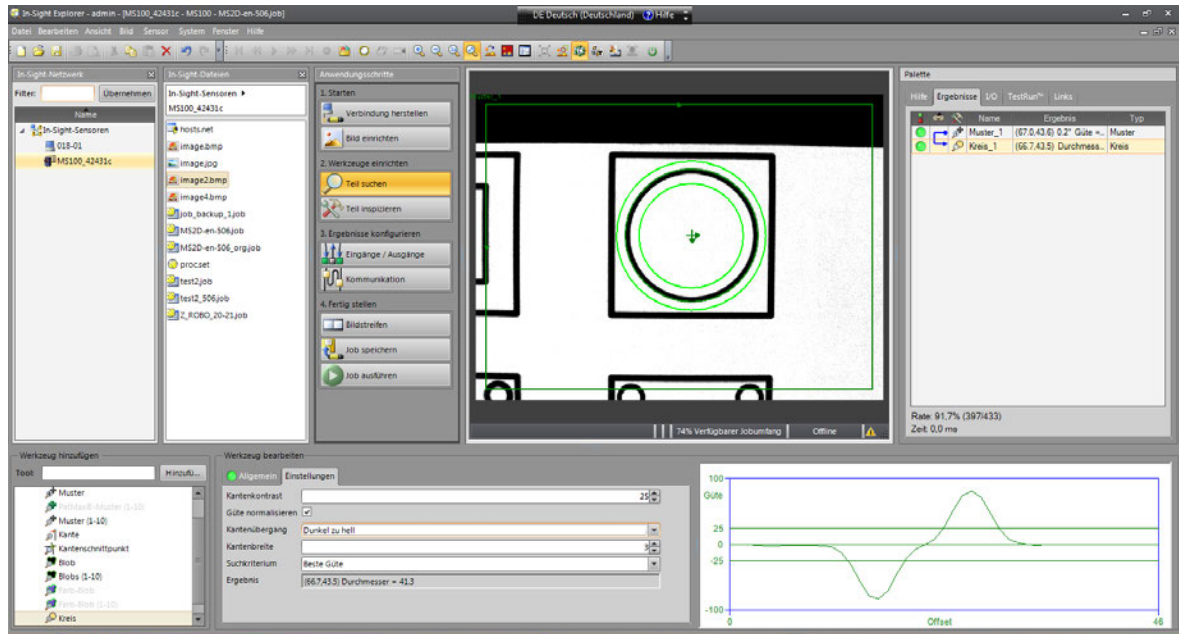
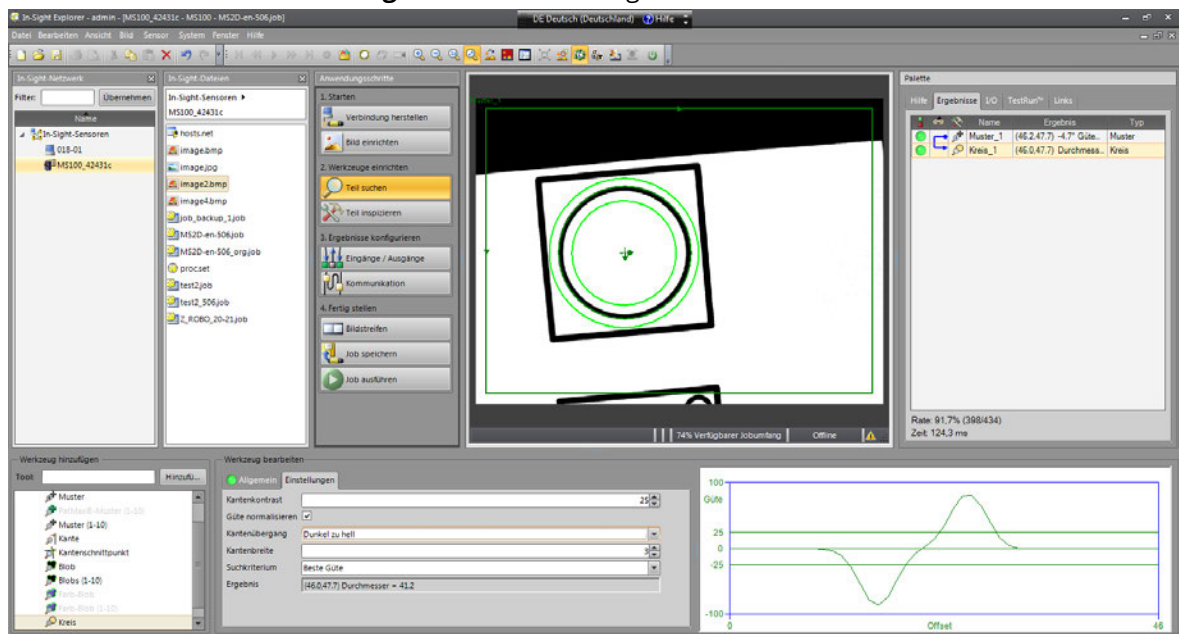


Abbildung 3.15: Bilderkennung kombiniert verschoben



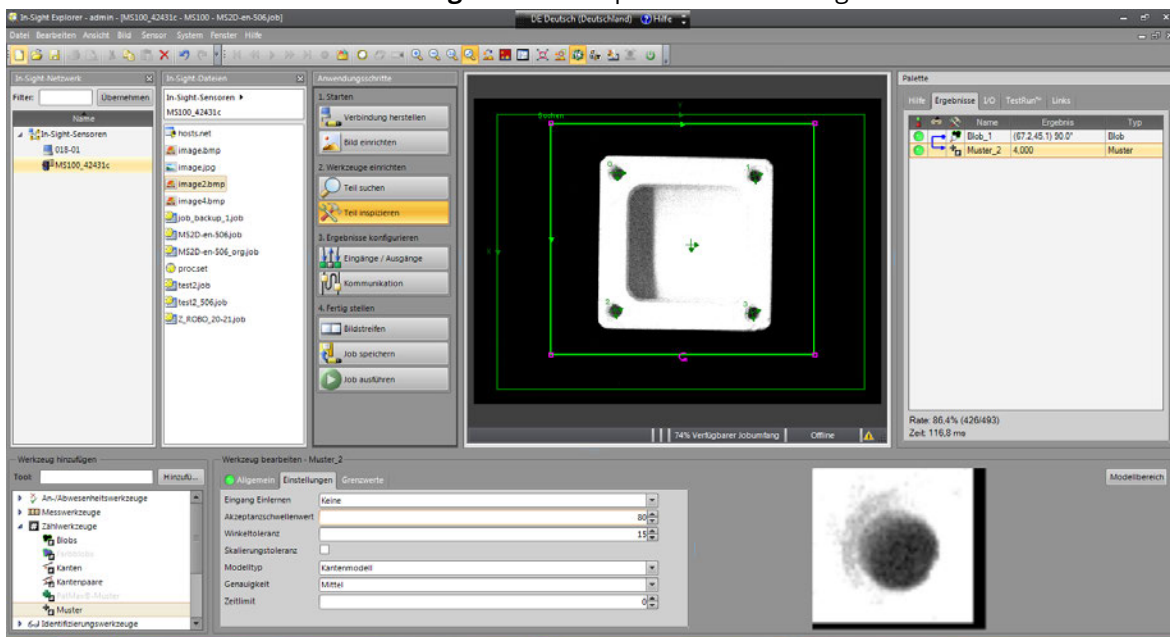
### 3.5 Teil inspizieren

Die Funktion *Teil inspizieren* benutzt die selben Bildverarbeitungsmöglichkeiten, wie sie in Abschnitt 3.4 beschrieben sind. Zusätzlich stehen noch mathematische Funktionen zur Verfügung, welche eine Aussage über Qualitätsmerkmale zulassen. Das Musterwerkstück dient als Referenz für den Test von der Funktion von *Teil inspizieren*, dabei gelten folgende Rahmenbedingungen:

- Das Teil soll mit der Erkennungsmethode *Blob* bestimmt werden
- Der daraus resultierende Mittelpunkt dient als Referenz für die nächste Verarbeitung
- Das Musterbauteil beinhaltet vier Bohrungen, welche Inspiziert werden sollen
- Sollte eine Bohrung fehlerhaft sein, ist das Bauteil nicht in Ordnung

Diese Bedingungen sind mit der Software sehr leicht umzusetzen und werden in späterer Folge auch so in die Aufgabenstellung für die Schülerinnen und Schüler einfließen.

Abbildung 3.16: Teil inspizieren in Ordnung

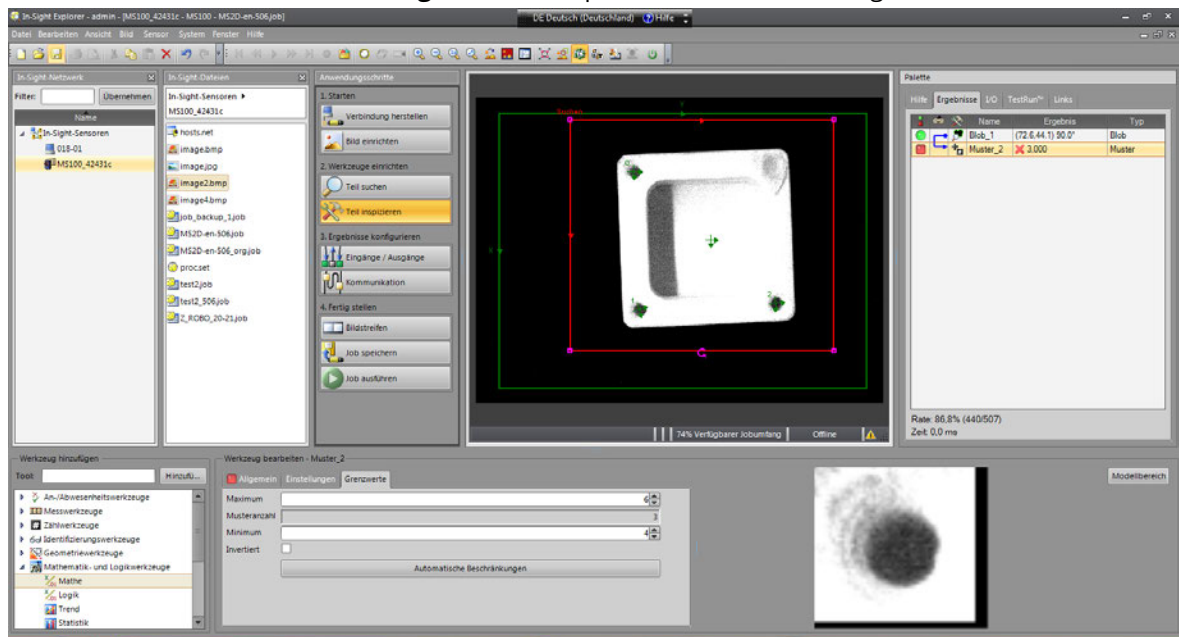


Die Einstellungen wurden so getroffen, dass das Teil mit Hilfe von *Blob* erkannt werden kann. Der Mittelpunkt wird auch bei leicht unterschiedlichen Kanten noch sehr gut erkannt und kann somit als Nullpunkt für eine Mustererkennung verwendet werden. Diese Mustererkennung nimmt ein Bild der Bohrung als Referenz auf und vergleicht die zu testenden Bohrungen damit. Sollte eine Bohrung fertigungsbedingt zu sehr abweichen, kann so eine sehr zuverlässige Ausschusserkennung durchgeführt werden.

Die zusätzliche Möglichkeit, die nun von *Teil inspizieren* geboten wird, ist der Reiter *Grenzwerte*, diese sind in Abbildung 3.17 zu sehen. Der Minimumwert von vier bedeutet, dass die Mustererkennung mindestens vier gültige Bohrungen erkennen muss, damit ein *in Ordnung* ausgegeben wird. Ein roter Rahmen zeigt an, dass die Kriterien nicht erfüllt sind, ein grüner



Abbildung 3.17: Teil inspizieren nicht in Ordnung



Rahmen bedeutet, dass das Werkstück laut Inspektion korrekt ist. Das Ergebnis davon wird dann per Netzwerk an den Roboter weitergeleitet und kann dort im Programm ausgewertet werden. So ist es im späteren Verlauf möglich, die Teile nach gut oder schlecht zu sortieren.



## 4 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellungen der Schule sind immer kompetenzorientiert gehalten. Grundlage ist eine virtuelle Firma, in welcher eine Problemstellung besteht. Diese soll von den Schülerinnen und Schülern gelöst werden. Die Aufgabe ist meist fächerübergreifend und auf die Lehrgänge davor aufbauend. Speziell im vierten Lehrgang ist das Thema *Projektlabor* vorrangig, das bedeutet, dass ein Projekt von Schülergruppen realisiert werden soll. Die Gruppengröße umfasst, je nach Klassengröße, meist zwei bis vier Schülerinnen und Schüler. Es gibt eine Gruppenleitung, welche die Arbeitspakete aufteilt. In der Regel hat jede Schülerin/jeder Schüler andere Vorkenntnisse, diese sind vom Ausbildungsbetrieb und der Ausbildung dort abhängig. Aus diesen Vorkenntnissen wählen die Schülerinnen und Schüler die Arbeitspakete aus, um möglichst effizient am Projekt zu arbeiten. Es wird jedoch gefordert, dass jedes Teammitglied in allen Bereichen von den Kolleginnen und Kollegen eingeschult wird, um bei möglicher Krankheit einspringen zu können.

Der Fortschritt wird über das gesamte Projekt hinweg dokumentiert. Zu Beginn der Arbeit muss ein Meilensteinplan und ein Zeitplan mit entsprechenden Deadlines definiert werden. In der Regel geschieht die gesamte Koordination des Projekts mit dem Onlinetool *Trello*, welches bei den Schülerinnen und Schülern eine gute Akzeptanz hat.

Das Projekt wird am Ende mit einer Präsentation und einer druckfertigen Dokumentation abgeschlossen. Eine gedruckte und gebundene Variante wird bei der Abschlusspräsentation dem Direktor übergeben. Die Abschlusspräsentation ist abhängig vom Zeitpunkt, wann die Schülerinnen und Schüler das Spezialmodul besuchen. Diese findet entweder im Klassenrahmen oder am Ende des Schuljahres im großen Rahmen mit eingeladenen Gästen aus Politik und Wirtschaft statt. Die Präsentation wird üblicherweise mit dem Onlinetool *Canva* erstellt. Dies ist bereits im dritten Lehrgang im Einsatz und ermöglicht ein einfaches und teamübergreifendes gestalten.

Die Betreuung der Präsentation und der Dokumentation erfolgt Hand in Hand durch die Fächer *Technische Dokumentation* und *Deutsch und Kommunikation*, welche komplett zu Dokumentationszwecken zur Verfügung stehen.

Das Projekt selber wird praktisch vorwiegend in den Projektlaborstunden bearbeitet, diese umfassen 24 Wochenstunden á 50 Minuten. Theoretisch bekommen die Schülerinnen und Schüler in den technischen Fächern *Mechatronische Technologie*, *Angewandte Mathematik* und *Angewandte Elektrotechnik* entsprechende Hilfestellungen zum Projekt.

Die Aufgabenstellung in der finalen Version befindet sich im Anhang A der Diplomarbeit.



# 5 Musterwerkstück

## 5.1 Grundlagen

Für das Projekt sind von den Schülerinnen und Schülern diverse mechanische Arbeiten gefordert, diese beinhalten das Konstruieren und Fertigen folgender Baugruppen:

- Greifer am Roboterarm
- Zuführung der Bauteile über eine Rutsche
- Ablageposition für die Bauteile

Um der Ausführung dieser Vorrichtungen eine Richtung zu geben, soll das Werkstück im Rahmen dieser Diplomarbeit entworfen und gefertigt werden. Diesbezüglich gibt es folgende Voraussetzungen:

- Bauteilform idealerweise nicht rund zum einfacheren Handhaben
- Das Werkstück soll entsprechende Merkmale beinhalten, mit denen es möglich ist, eine Ausschusserkennung mit der Kamera durchzuführen
- Eine Fertigungszeichnung des Werkstücks ist erforderlich, da die Schüler diese als Grundlage für ihre Vorrichtungen benötigen
- Die Fertigung des Musterwerkstücks erfolgt auf dem schuleigenen 3D-Drucker
- Das Handhaben mit dem Greifer soll einfach möglich sein

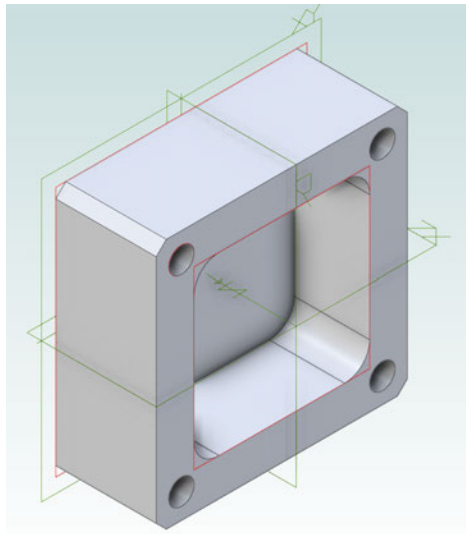
Das Konstruieren erfolgt mit Alibre Design, eine abgespeckte Version von SolidWorks, die hier im Haus viel im Einsatz ist.

## 5.2 Werkstückentwurf

Das Musterwerkstück wird als symmetrischer Quader mit quadratischer Grundfläche ausgeführt. Dies hat den Vorteil, dass beim Einlegen des Werkstücks nicht auf die Drehlage geachtet werden muss. Um ein effizientes 3D-Drucken zu ermöglichen, soll der Quader eine Tasche beinhalten.

Die Abmessungen des Werkstücks sind stark abhängig von dem zur Verfügung stehenden FOV der Kamera. Dies ist in Abschnitt 3.1 beschrieben und beläuft sich, wenn man beide Achsen betrachtet, auf maximal 60mm bzw. 100mm. Damit das Bauteil in einem vernünftigen Arbeitsabstand von der Kamera mit möglichst großer Auflösung betrachtet werden kann, bietet sich hier eine Abmessung von ca. 50mm x 50mm an. Diese Baugröße ist auch ideal für die Arbeiten der Schülerinnen und Schüler, die Maße der Bauteilzuführung halten sich so in Grenzen, der 3D-Drucker kann die Bauteilform drucken. Zusätzlich ist der bereits montierte Greifer der Firma Schunk (MPG 50) exakt 50mm breit, was die Konstruktion der Greiferbacken zusätzlich erleichtert.

Aus den entsprechenden Vorgaben wurde ein Musterteil entworfen, welches in Abbildung 5.1 zu sehen ist. Dieses erwies sich im Test als sehr gut zu drucken und auch vom Roboter entsprechend gut zu handhaben.

**Abbildung 5.1:** Musterteil 3D-Ansicht

### 5.3 3D-Druck

Um das Werkstück im 3D-Drucker zu drucken, musste es als *STL-Datei* gespeichert werden. Diese *STL-Datei* kann in jeder gängigen *Slicer-Software* geöffnet und in passenden *G-Code* für den Drucker ausgegeben werden. Diese Einstellungen sind sehr kritisch, da die Druckqualität und der Erfolg des Drucks davon abhängen.

Aus der Erfahrung mit dem Schuldrucker und im Versuch mit dem Musterwerkstück wurden folgende Werte in Tabelle 5.1 ermittelt, die sich als sehr zuverlässig erwiesen:

**Tabelle 5.1:** Slicer Settings 3D-Druck

<b>Einstellung</b>	<b>Wert</b>
Temperatur Extruder	235°C
Temperatur Druckbett	110°C
Infill	25%
Volle Lagen Top/Bottom	4
Geschwindigkeit 1st Layer	30mm/s
Geschwindigkeit Rest	50mm/s
Z-Auflösung	0,2mm
Brim	2mm
Skirt	3 loops

### 5.4 Technische Zeichnung

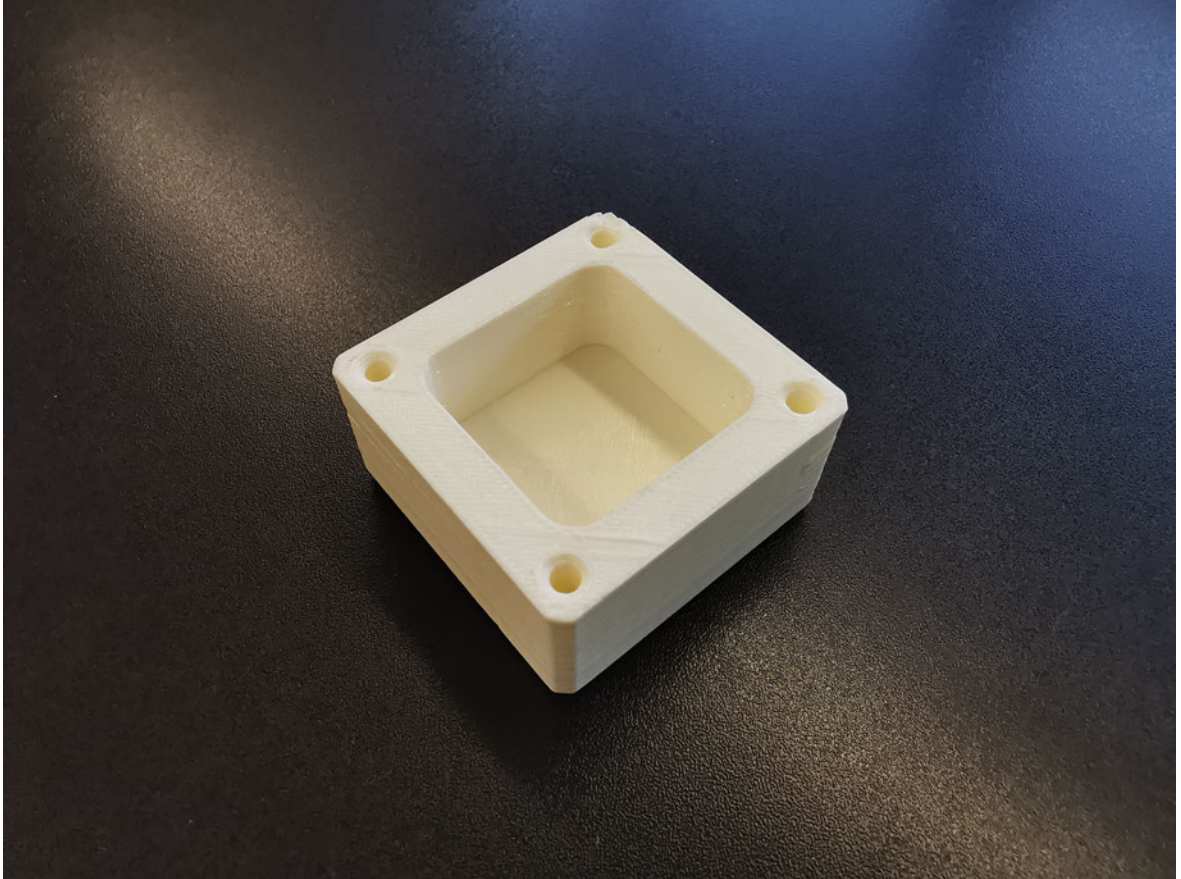
Den Schülerinnen und Schülern wird bei Projektstart ein PDF mit der technischen Zeichnung des Musterwerkstücks in den Klassenordner gestellt. Dies dient für sie als Grundlage zur Erstellung des Greifers und der Rutsche zur Bauteilzuführung.

Das PDF ist nicht maßstabsgetreu in Abbildung C.1 im Anhang Cn zu sehen.

## 5.5 Ausführung

Das fertige 3D-gedruckte Musterwerkstück ist in Abbildung 5.2 zu sehen.

**Abbildung 5.2:** Foto Musterwerkstück







## 6 Musterlösungen

Den Schülerinnen und Schülern steht ein gut ausgestattetes Rohmateriallager zur Verfügung, sollten sie spezielle Werkstücke benötigen, können diese ohne Probleme bestellt werden. Auch ist die Vergabe von Fertigungsteilen an externe Firmen möglich, sollte es in der Schule nicht möglich sein, das Bauteil zu fertigen. Es sollte aber möglichst darauf geachtet werden, dass die hauseigene Werkstätte benützt wird, diese stellt folgende Werkzeuge und Maschinen zur Verfügung:

- Manuelle Kantbank zum Schneiden von Blechen bis zu einer Dicke von 3mm
- Zwei Standbohrmaschinen
- Manuelle Blechbiegemaschine für Bleche bis ca. 2mm
- Bandschleifer
- Schlagschere
- Anreißplatte mit Messwerkzeugen
- Diverse Handwerkzeuge (Akkubohrer, Winkelschleifer, ...)
- Konventionelle Drehmaschine mit Digitalanzeige
- Konventionelle Fräsmaschine mit Digitalanzeige
- CNC Fräsmaschine, 5-Achs
- CNC Fräsemaschine mit getriebenem Werkzeug

### 6.1 Werkstückzuführung

Es gibt verschiedene Lösungsansätze, mit denen die Werkstücke zugeführt werden können:

- Rutsche
- Schachtmagazin
- gefedertes Hebesystem

Beschränkt werden diese durch die Roboterzelle, den verfügbaren Materialien und dem Vorwissen der Schülerinnen und Schülern. Zudem spielt im Spezialmodul der Faktor *Zeit* auch immer eine große Rolle, da der Projektumfang nur 4,66 Wochen beträgt.

Die Wahl für die Musterlösung und die Richtung, in die die Schülerinnen und Schüler gebracht werden, ist die Variante *Rutsche*. Ein gefedertes Hebesystem wäre für den Zeitumfang zu aufwendig und ist deshalb nicht realisierbar. Das Schachtmagazin kann als zusätzliche Variante im Hinterkopf und für mögliche andere Projektgruppen angedacht werden. Dies kann zum Beispiel ein schönes und fächerübergreifendes Projekt mit den Schülerinnen und Schülern der Automatisierungstechnik sein.

#### 6.1.1 Bauteilrutsche

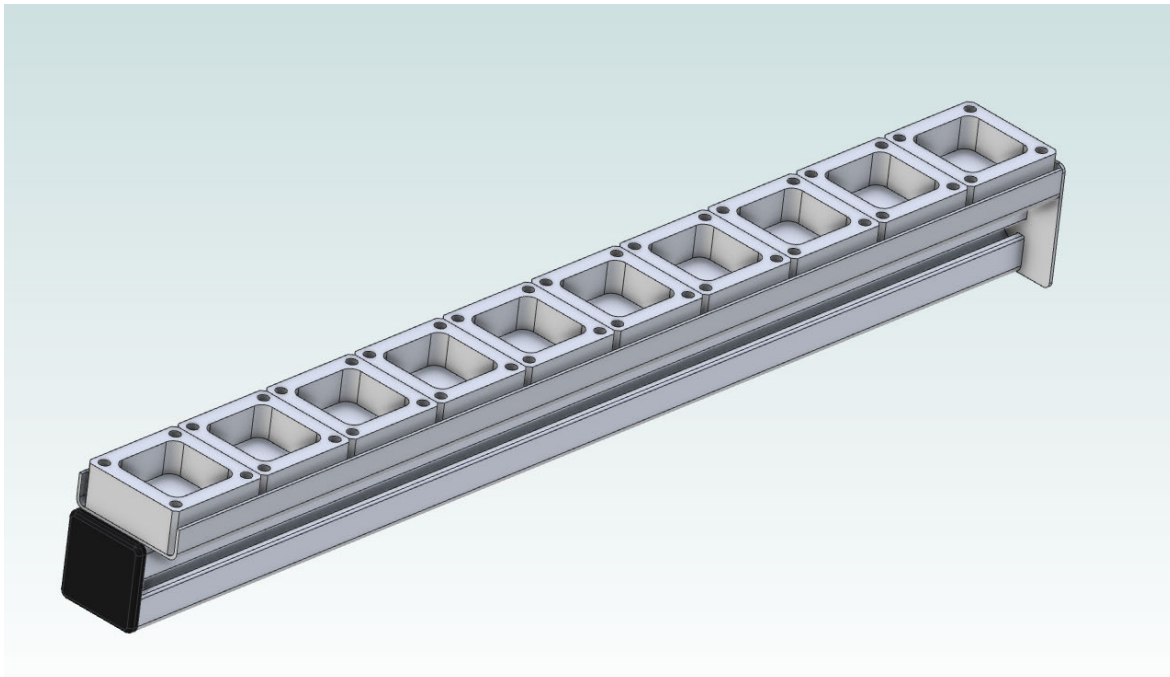
Die Variante Rutsche ist einfach zu realisieren und hat dennoch einige fertigungstechnische Ansprüche an die Schülerinnen und Schüler. Das Grundgerüst der Roboterzelle ist aus folgenden Item-Profilen aufgebaut: Profil 8 40x40 E, natur, Artikel-Nr.: 7.0.000.09. Es wäre also

sinnvoll, wenn das Bauteilemagazin an diese Profile angeschraubt werden könnte. Die genannten Item-Profile sind auch in der Schule auf Lager und können sowohl zugeschnitten als auch weiter bearbeitet werden. Da das Musterwerkstück eine Breite von 50mm hat, kann es nicht direkt über das Profil rutschen sondern muss mindestens seitlich geführt werden. Für den Aufbau der Rutsche bietet sich ein Blechbiegeteil an, dieses kann mit der Kantbank zugeschnitten und auf der Biegemaschine entsprechend gebogen werden. Um die nötige Stabilität des Blechs zu gewährleisten und zusätzlich noch den Winkel der Rutsche einzustellen, wird dieses auf ein Item-Profil geschraubt. Die Firma Item bietet Winkelfeststellungen (Item Nr.: 0.0.615.59) an, mit denen Profile mit einstellbarem Winkel an andere Profile geschraubt werden können. Diese Lösung ist sehr elegant, da damit die Rutsche einfach an die Roboterzelle angebunden und der Neigungswinkel optimal eingestellt werden kann. Die Länge der Rutsche wurde so dimensioniert, dass 10 Bauteile drauf Platz haben. Als Anschlag am Ende der Rutsche dient eine kleine Metallplatte, die an die Stirnseite des Item-Profils geschraubt wird. An der anderen Stirnseite befindet sich eine Abschlusskappe (Item Nr.: 0.0.026.01) um optisch einen schönen Abschluss zu erhalten und einem möglichen Verletzungspotential mit den scharfen Alukanten entgegenzuwirken. Die Rutsche wird mit zwei Schrauben (M6x12 Senkkopf) und zwei Nutensteinen (Item Nr.: 0.0.480.50) montiert.

### 6.1.2 CAD

Die Musterlösung der Rutsche wurde in CAD konstruiert und passende Fertigungszeichnungen dazu erstellt. Die Baugruppe in 3D ist in Abbildung 6.1 zu sehen.

**Abbildung 6.1:** Darstellung Baugruppe Bauteilrutsche



Die Fertigungszeichnungen befinden sich in Anhang C.

### 6.1.3 Stückliste

Die Stückliste der benötigten Teile für die Musterlösung ist in Tabelle 6.1 zu finden:

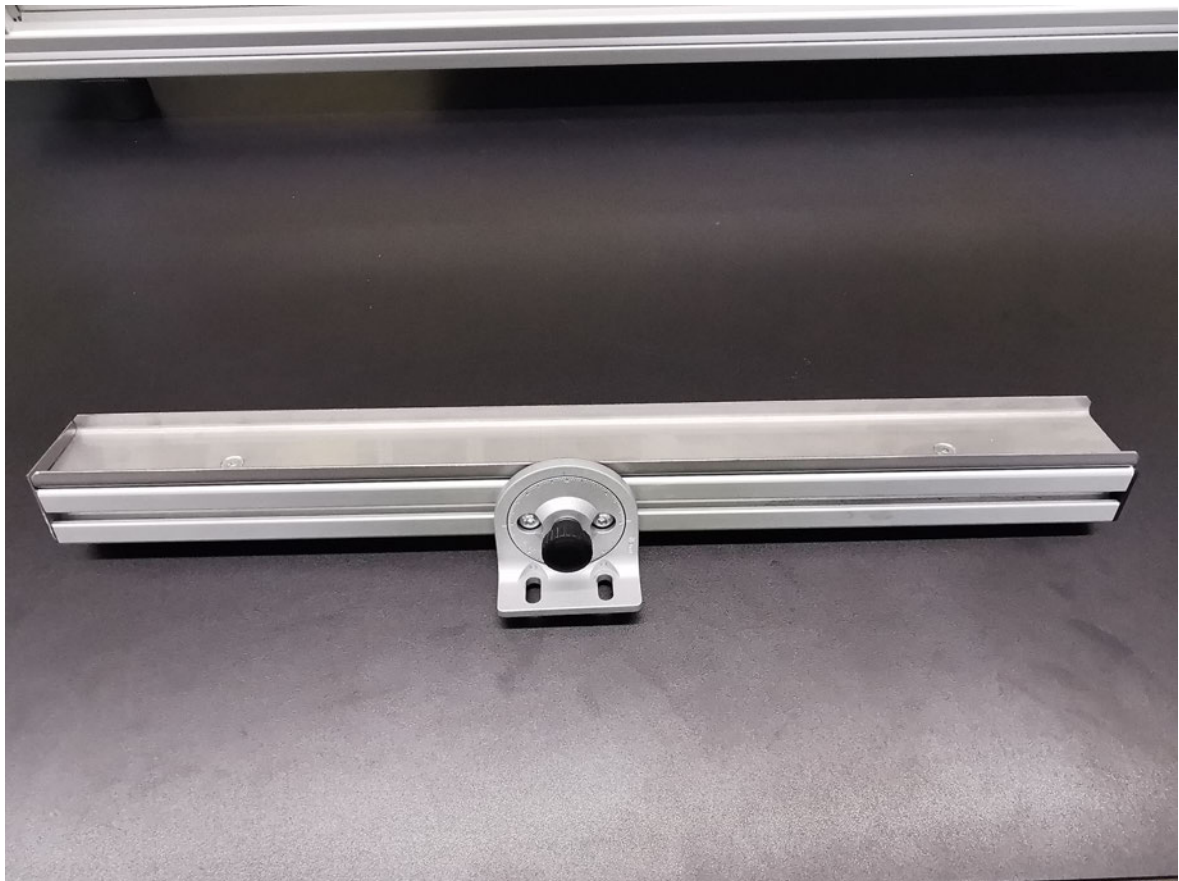
**Tabelle 6.1:** Stückliste Bauteilrutsche

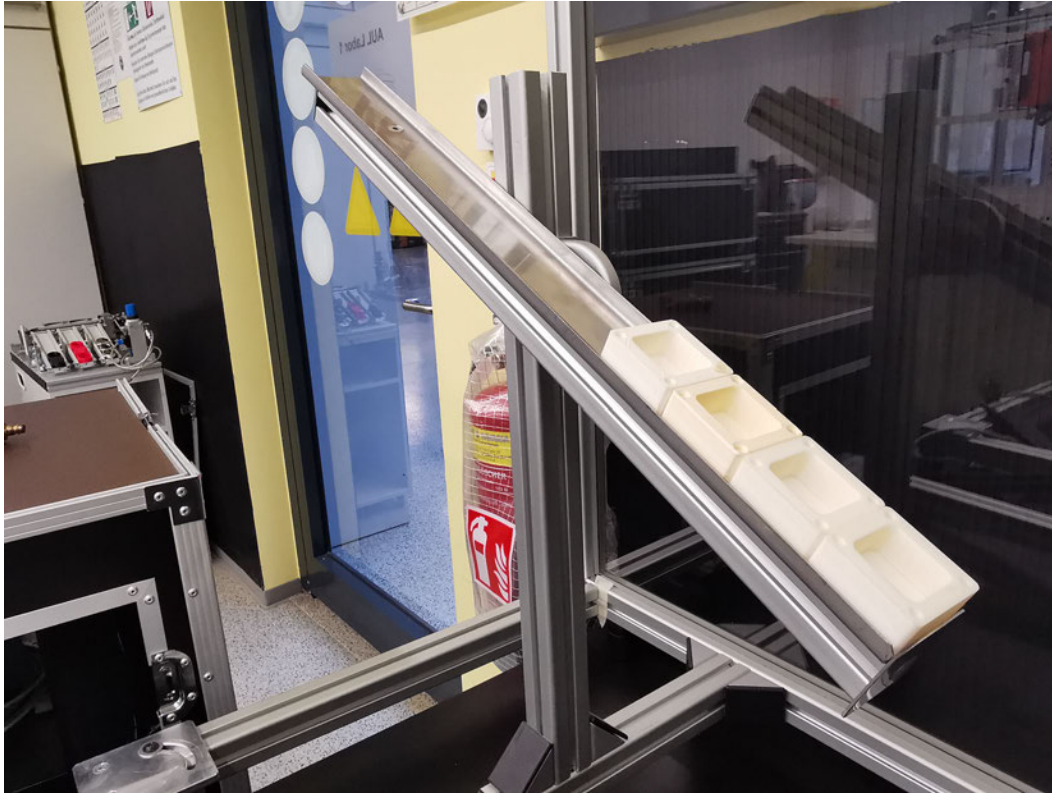
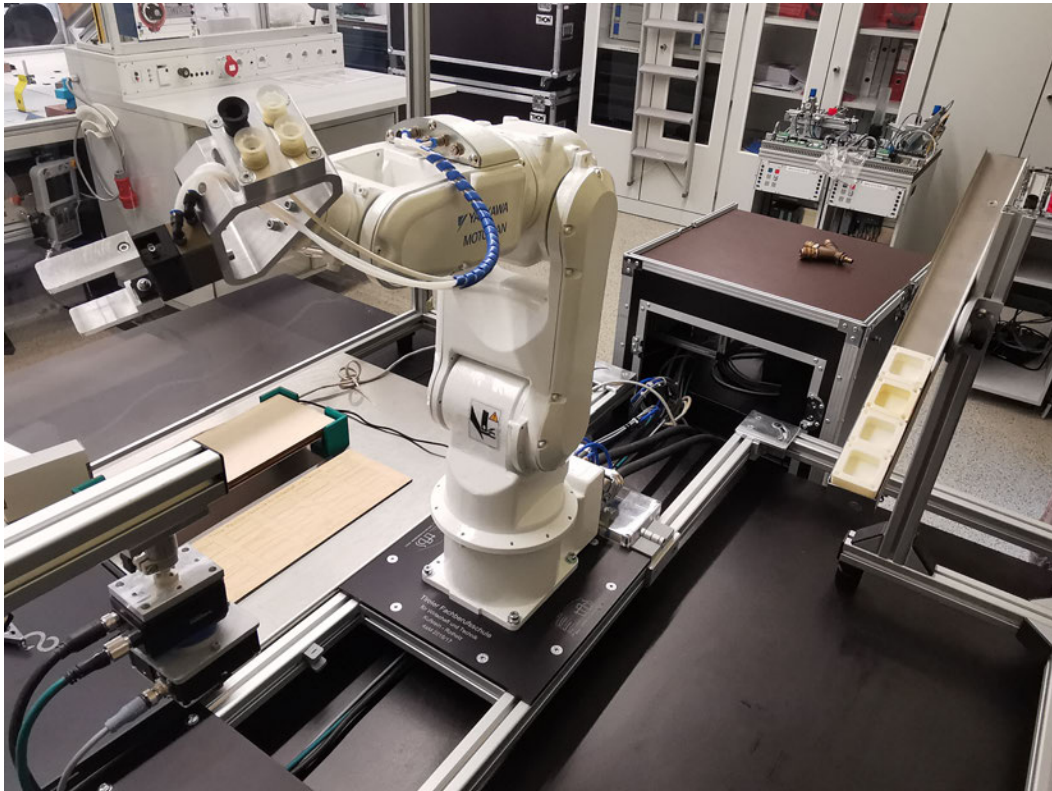
Anzahl	Bezeichnung
500mm	Itemprofil 8 40x40 E, natur 7.0.000.09
1	Blechbiegeteil Rutsche lt. Zeichnung
1	Blechteil Anschlag lt. Zeichnung
1	Item Winkelfeststellung 8 80x40 0.0.615.59
1	Item Abdeckkappe 8 40x40, schwarz 0.0.026.01
3	Senkkopfschraube M6x12 PH
2	Item Nutenstein 8 St M6, verzinkt 0.0.026.23

### 6.1.4 Ausführung Bauteilrutsche

Die Musterlösung für die Bauteilrutsche wurde in der schuleigenen Werkstatt gefertigt und zusammengebaut. Die weiteren Tests wären ohne diese nur schwer realisierbar gewesen. Der Aufbau ist auf den nächsten drei Fotos zu sehen.

**Abbildung 6.2:** Rutsche einzeln



**Abbildung 6.3:** Rutsche eingebaut**Abbildung 6.4:** Rutsche mit Roboter

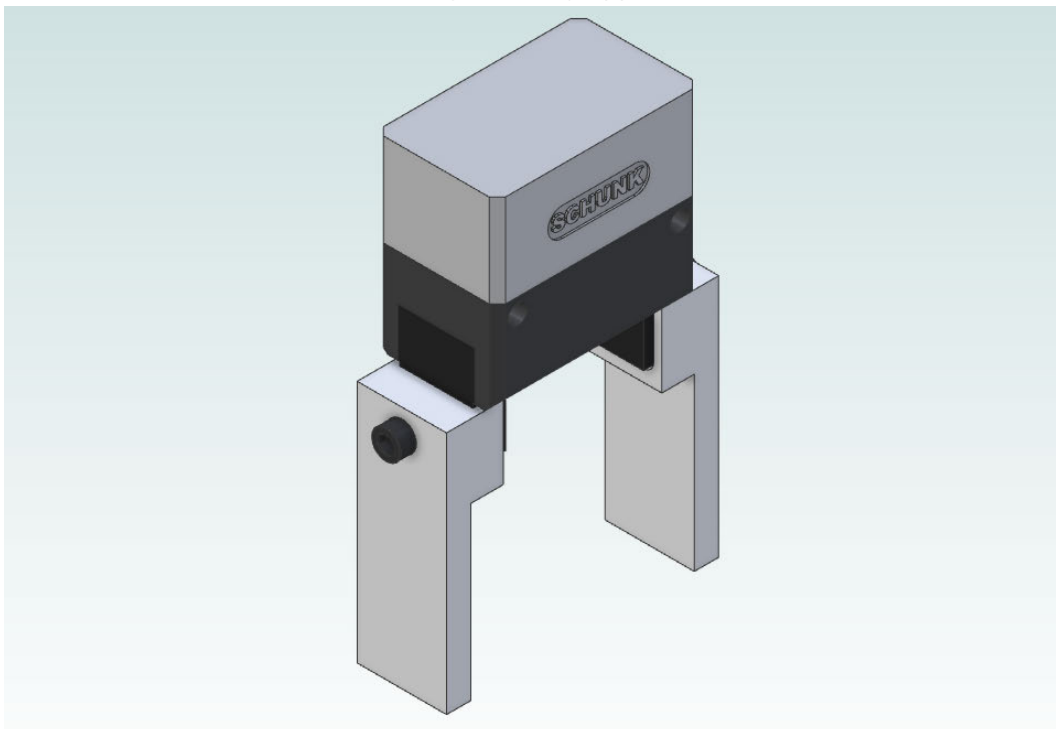
## 6.2 Bauteilgreifer

Für den Bauteilgreifer soll der bereits vorhandene Schunk MPG50 Zweifinger-Parallelgreifer verwendet werden. Aufgabe der Schülerinnen und Schüler ist es, entsprechende Spannbacken für den Greifer zu konstruieren und anschließend zu fertigen. Der Greifer wurde von der Firma bereits durch den Typ MPG-Plus 50 ersetzt, daher ist es schwierig, das passende Datenblatt dazu zu finden. Es befindet sich in Anhang D und wird im Klassenordner zur Verfügung gestellt.

Die Außenabmessungen des Musterbauteils sind 50x50mm. Der Greifer hat einen Verfahrbereich von 18mm bis 34mm, die äußeren Backenabstände sind genau 50mm. Damit das Werkstück also gegriffen werden kann, müssen die Spannbacken etwas mehr als diesen Abstand zur Verfügung stellen. Damit das Werkstück zuverlässig gegriffen werden kann und es keine Kollision aufgrund von Positionstoleranzen in der Bauteilrutsche gibt, sollte der Innenabstand des Greifers 55mm betragen. Das sind 2,5mm Luft pro Seite und hat sich in mehreren Versuchen als absolut zuverlässig herausgestellt.

Da im Rohteilelager standardmäßig Aluminiumblöcke in den verschiedensten Größen zur Verfügung stehen, werden die Backen aus Aluminium gefertigt. Die Fertigung der Musterlösung erfolgte auf der konventionellen Fräsmaschine. Die verwendete Maschine steht den Schülerinnen und Schülern frei zur Verfügung, die Backen können alternativ auch auf der CNC-Fräse gefertigt werden.

**Abbildung 6.5:** Baugruppe Greifer



### 6.2.1 CAD

Die Musterlösung der Greiferbacken wurde in CAD konstruiert. Der Greifer wird vom Hersteller nicht als Step-Datei zur Verfügung gestellt, daher wurde dieser grob nachkonstruiert, um die Baugruppe zu erstellen. Ein Bild der Baugruppe ist in Abbildung 6.5 zu sehen, die Fertigungszeichnung zu den Backen befindet sich in Anhang C.

### 6.2.2 Stückliste

Die Stückliste der benötigten Teile für die Musterlösung ist in Tabelle 6.2 zu finden:

**Tabelle 6.2:** Stückliste Bauteilgreifer

Anzahl	Bezeichnung
2	Greiferbacken lt. Zeichnung
1	Zweifinger Parallelgreifer Fa. Schunk, Typ MPG 50
2	Schraube M4x20 DIN912
2	Mutter M4
2	Beilagscheibe M4

### 6.2.3 Ausführung Bauteilgreifer

Die Musterlösung für den Bauteilgreifer wurde in der schuleigenen Werkstatt gefertigt. Das fertige Werkstück ist in Abbildung 6.6 zu sehen.

**Abbildung 6.6:** Greiferbacken gefertigt



## 6.3 Roboterprogrammierung

### 6.3.1 Grundroutinen

Um die Programmierung des Hauptprogramms zu erleichtern macht es Sinn, zwei bzw. vier Grundroutinen zu programmieren, auf die zugegriffen werden kann. Diese sind:

- Licht einschalten
- Licht ausschalten
- Greifer öffnen
- Greifer schließen

Die Ansteuerung des Lichts ist bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben.

Das 5/2-Wege-Ventil für den Parallelgreifer befindet sich in der externen Pneumatikbox und wird mit den Ausgängen 1 und 2 angesteuert. Es handelt sich hierbei um ein beidseitig elektrisch angesteuertes Ventil ohne Federrückstellung. Um einen definierten Zustand zu erhalten, muss also immer einer der zwei Ausgänge gesetzt sein. Beide Ausgänge nicht gesetzt oder beide Ausgänge gesetzt führt zu einem nicht definierten Zustand des Ventils. Zusätzlich muss der Roboter vor dem Anfahren der nächsten Position nach Öffnen oder Schließen des Greifers warten, da der Parallelgreifer eine gewisse Zeit benötigt. Um den sicheren Betrieb zu gewährleisten und Programmierfehler zu vermeiden, werden deshalb folgende beiden Makros verwendet, um den Greifer zu öffnen bzw zu schließen:

```
1 /JOB
2 //NAME GREIFER AUF
3 NOP
4 DOUT OT#(1) OFF
5 DOUT OT#(2) ON
6 TIMER T 0.500
7 END
```

**Quelltext 6.1:** Greifer öffnen

```
1 /JOB
2 //NAME GREIFER ZU
3 NOP
4 DOUT OT#(1) ON
5 DOUT OT#(2) OFF
6 TIMER T 1.000
7 END
```

**Quelltext 6.2:** Greifer schließen

### 6.3.2 Hauptroutine

Die Ansteuerung der Kamera erfolgt vom Roboter aus mit Hilfe eines Makros, das vom Hersteller bereit gestellt wird. Dieses Makro befindet sich bereits auf dem Roboter und kann direkt verwendet werden. Es startet eine Teil inspizieren Routine, wie sie in Abschnitt 3.5 beschrieben wird und wertet das Ergebnis direkt passend aus. Das Ergebnis kann dann vom Programm interpretiert und entsprechend verarbeitet werden.

In das Musterprogramm wurden mehrere Unterprogramme eingepflegt um eine übersichtlichere Programmierung zu gewährleisten. Diese sind:

- Z22-MAIN-Z (Das Hauptprogramm)
- Z22-ABLAUF (Anfahren der Positionen, Bildverarbeitung, Verzweigung)
- Z22-IO-TEIL-MIT-Z (Ablegen der IO-Teile mit Verschiebung)
- Z22-NIO-TEIL (Abwerfen der NIO-Teile über dem Ausschussbehälter)

Die Bezeichnungen der Programme haben Z22 vorangestellt, somit sind sie in der langen Liste auf dem Handbedienteil leichter zu finden. Die Positionen der Programme dienen als grober Richtwert und müssen für einen problemlosen Ablauf neu geteached werden. Die Programme sind mit Kommentaren versehen und sollten soweit selbsterklärend sein.

Die ganzen Programmteile wurden ausgiebig getestet und funktionieren so weit und dienen als Unterstützung beziehungsweise Gedankenstoß für die zu unterrichtende Lehrperson. Alle Programmierarbeiten sollen vollständig selbst von den Schülerinnen und Schülern erledigt werden. Die aufbauenden Übungen, die vor dem Projekt zu absolvieren sind, bereiten sie entsprechend darauf vor.

```

1 //JOB
2 //NAME Z22 MAIN Z
3 //POS
4 ///NPOS 0,0,0,3,0,0
5 ///TOOL 0
6 ///POSTYPE ROBOT
7 ///RECTAN
8 ///RCONF 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
9 P00010 0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000 // Register zum Verschieben
10 P00012 0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000 // Register zum Verschieben
11 P00014 0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000 // Register zum Verschieben
12 //INST
13 ///ATTR SC,RW
14 ///GROUP1 RB1
15 NOP
16 JUMP *ENDE IF B002> 3 // Wenn Ablagestelle voll zum Ende springen
17 *START
18 SET B000 1 // Zaehler auf 1 setzen
19 SUB P010 P010 // Register zuruecksetzen
20 SUB P012 P012 // Register zuruecksetzen
21 SUB P014 P014 // Register zuruecksetzen
22 CALL JOB:Z22 ABLAUF // Z22 ABLAUF aufrufen
23 *ENDE // Sprungpunkt Ende
24 END // Programm beenden

```

**Quelltext 6.3:** Hauptprogramm Z22-MAIN-Z



```
1 /JOB
2 //NAME Z22 ABLAUF
3 //POS
4 ///NPOS 12,0,0,0,0,0
5 ///TOOL 0
6 ///POSTYPE PULSE
7 ///PULSE
8 C00000 1413,3043, 1070,559,2445,168076 // Ausgangsposition des Roboters
9 C00001 23193,2627, 5795,221,6197,168306 // C00001 C00004: Zwischenpositionen
10 C00002 67562,59413, 2741, 108576, 72122,251172
11 C00003 78856,121626, 13510, 165388, 104693,291636
12 C00004 82414,141957, 12911, 168562, 107806,298273
13 C00005 83151,140734, 13570, 169348, 107550,298416 // Abholposition
14 Bauteilrutsche
15 // C00006 C00010: Zwischenpositionen
16 C00006 76646,110252, 12265, 163356, 102694,286814
17 C00007 61631,113447,5377, 139396, 100579,279003
18 C00008 46490,65661,2968, 66289, 52238,319742
19 C00009 28862,116786, 23173,21878,39504,327741
20 C00010 7397,187848, 22349,86982,102938,332954
21 C00011 21189,186688, 23866,87260,102621,333748 // Position unter Kamera
22 //INST
23 ///ATTR SC,RW
24 ///GROUP1 RB1
25 NOP
26 MOVJ C00000 VJ 60.00 // Anfahren der Grundposition
27 CALL JOB:GREIFER AUF // Greifer oeffnen Job aufrufen
28 MOVJ C00001 VJ 60.00
29 MOVJ C00002 VJ 60.00
30 MOVJ C00003 VJ 60.00
31 MOVJ C00004 VJ 25.00
32 MOVL C00005 V 100.0 // Gerade auf die Abholposition fahren
33 CALL JOB:GREIFER ZU // Greifer schliessen Job aufrufen
34 MOVL C00006 V 200.0 // Bauteil gerade entnehmen
35 MOVJ C00007 VJ 60.00
36 MOVJ C00008 VJ 60.00
37 MOVJ C00009 VJ 60.00
38 MOVJ C00010 VJ 60.00
39 CALL JOB:BELEUCHTUNG EIN // Beleuchtung ein Job aufrufen
40 MOVJ C00011 VJ 50.00 PL 0 // Position unter Kamera anfahren
41 'Makro zur Bildverarbeitung aufrufen, das Ergebnis wird in R000 gespeichert
42 MACRO1 MJ#(0) ARGF1 ARGF0 ARGF0 ARGF1
43 'Wenn Wert im Register > 1: Teil in Ordnung
44 CALL JOB:BELEUCHTUNG AUS // Beleuchtung aus Job aufrufen
45 JUMP JOB:Z22 IO TEIL MIT Z IF R000> 1
46 'Wenn Wert im Register 0: Teil nicht in Ordnung
47 JUMP JOB:Z22 NIO TEIL IF R000 0
48 END
```

Quelltext 6.4: Ablaufprogramm Z22-Ablauf

```
1 //JOB
2 //NAME Z22 IO TEIL MIT Z
3 C00000  52005,99335, 23655,87156,56767,278894
4 C00001  67579,110464,4235,96267,63640,322116
5 C00002  54736,147115,42384, 201951,109282,287610
6 C00003  54736,169740,41699, 202196,100227,283003
7 C00004  55689,177481,44925, 201993,99211,285741
8 C00005  54231,153423,49951, 200846,114777,291201
9 C00006  48320,74779,13360,15295,28498,159622
10 C00007  33463,6321, 7756,33104, 4107,130857
11 C00008  1413,3043, 1070,559,2445,168076
12 ///TOOL 0
13 ///POSTYPE ROBOT
14 ///RECTAN
15 ///RCONF 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
16 P00010  0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000 // Register zum Verschieben
17 P00011  70.000,0.000,0.000,0.0000,0.0000,0.0000
18 P00012  0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000
19 P00013  0.000,40.000,0.000,0.0000,0.0000,0.0000
20 P00014  0.000,0.000,110.000,0.0000,0.0000,0.0000
21 P00015  0.000,0.000,55.000,0.0000,0.0000,0.0000
22 //INST
23 ///ATTR SC,RW
24 ///GROUP1 RB1
25 NOP
26 MOVJ C00000 VJ 60.00 // Zwischenposition
27 MOVJ C00001 VJ 60.00 // Zwischenposition
28 SFTON P010 // nachfolgende Positionen um P010 verschieben
29 MOVJ C00002 VJ 60.00 // Zwischenposition
30 MOVL C00003 V 350.0 // Zwischenposition
31 MOVJ C00004 VJ 25.00 PL 0 // Ablageposition
32 CALL JOB:GREIFER AUF // Greifer auf Job aufrufen
33 MOVL C00005 V 200.0 // Zwischenposition
34 SFTOF // Positionen wieder direkt anfahren
35 '***** VERSCHIEBEN X *****
36 INC B000
37 ADD P010 P011
38 JUMP *1 IF B000< 5
39 '***** VERSCHIEBEN Y *****
40 SET B000 1
41 SUB P010 P010
42 ADD P012 P013
43 SET P010 P012
44 INC B001
45 JUMP *1 IF B001< 3
46 '***** VERSCHIEBEN +Z *****
47 SET B000 1
48 SET B001 1
49 SUB P010 P010
50 SUB P012 P012
51 ADD P014 P015
52 SET P010 P014
53 SET P012 P014
54 INC B002
55 JUMP *1 IF B002> 3
56 '***** ENDE RECHNEN *****
57 *1
58 MOVJ C00006 VJ 60.00
59 MOVJ C00007 VJ 60.00
60 MOVJ C00008 VJ 60.00 // Endposition anfahren
61 'Wenn alle Ablagepositionen voll sind Z erhohen:
62 JUMP JOB:Z22 MAIN Z IF B002> 3
63 'Ansonsten weiter im Ablauf:
64 JUMP JOB:Z22 ABLAUF
65 END
```

```
1 /JOB
2 //NAME Z22 NIO TEIL
3 //POS
4 ///NPOS 4,0,0,0,0,0
5 ///TOOL 0
6 ///POSTYPE PULSE
7 ///PULSE
8 C00000 59645,99231, 38106,5182,61240,303101 // Zwischenposition
9 C00001 59645,99231, 38106,5182,61240,303101 // Position Ausschussbehalter
10 C00002 46887,51081,1326,94524,17065,244290 // Zwischenposition
11 C00003 46887,51081,1326,94524,17065,244290 // Zwischenposition
12 //INST
13 ///ATTR SC,RW
14 ///GROUP1 RB1
15 NOP
16 MOVJ C00000 VJ 40.00
17 MOVJ C00001 VJ 45.00 PL 0 // Abwurfposition anfahren
18 CALL JOB:GREIFER AUF // Greifer auf Job aufrufen
19 MOVJ C00002 VJ 45.00
20 MOVJ C00003 VJ 45.00 // Endposition anfahren
21 JUMP JOB:Z22 ABLAUF // Zurueck zum Ablauf
22 END
```

**Quelltext 6.6:** Programm Z22-NIO-Teil



## 7 Mögliche Probleme

In diesem Kapitel werden mögliche Probleme aufgelistet, die den Schülerinnen und Schülern bei der Verwirklichung des Projekt unterkommen können. Die Probleme wurden sowohl analytisch als auch im Versuch ermittelt und Lösungen dafür gefunden. Die Lösungen sollen jedoch nicht direkt den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt werden, sondern dienen nur als Richtungsweiser für die Lehrerin oder Lehrer.

### 7.1 3D-Druck

Für den Fall, dass die gedruckten Musterwerkstücke nicht ausreichen bzw. diese verloren gehen, müssen neuen nachgedruckt werden. Der 3D-Drucker kann hier durchaus Probleme bereiten, je nach verwendetem Filament müssen verschiedene Einstellungen eventuell angepasst werden. Die STL-Datei vom Musterwerkstück befindet sich auf dem Lehrer-Laufwerk und muss bei Problemen über den Slicer neu in G-Code gewandelt werden.

#### 7.1.1 Druck wird nicht richtig ausgefüllt

Sollte der Druck kleine Lücken aufweisen oder zu dick auftragen, kann es sein, dass der Durchmesser des verwendeten Filaments abweicht. In der Regel hat dieses einen Durchmesser von 1,75mm, welcher direkt den Vorschub des Extruders beeinflusst. Bei Problemen sollte das Filament mit einem Messschieber oder einer Mikrometerschraube nachgemessen und der reale Durchmesser in den Slicer eingetragen werden.

#### 7.1.2 Der Druck löst sich

In der Schule wird aufgrund der höheren Festigkeit ausschließlich in ABS gedruckt. Dieser Werkstoff ist sehr anfällig und kann Probleme bei der Haftung am Druckbett bereiten. Dieses Problem zeigt sich dadurch, dass die Ecken des Musterwerkstücks vom Druckbett hochstehen oder sich im schlimmsten Fall das gesamte Werkstück vom Druckbett löst.

Das Problem kann mit viel Glück mit der Anpassung der Druckbetttemperatur gelöst werden, diese sollte sich um die 110°C bewegen. Einfachere Lösungen sind aber:

- Malerkrepp auf das Druckbett aufbringen. Daran haftet ABS besser als auf dem normalen Druckbett
- Das Druckbett mit einem speziellen Haftspray einsprühen, dieser befindet sich beim Drucker
- Alternativ zum Haftspray funktioniert auch Haarspray sehr gut

Die Oberfläche muss nach jedem Druck gereinigt und neu behandelt werden!

## 7.2 Fertigungsteile

### 7.2.1 Probleme mit der Schlagschere

Je nach gewähltem Material kann es zu Problemen mit der Schlagschere kommen. Wichtig ist, die Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam zu machen, dass mit der schuleigenen Schlagschere Edelstahlblech mit maximal 1,5mm und Aluminiumblech mit maximal 2,5mm geschnitten werden kann.

### 7.2.2 Bauteile rutschen nicht zur Abholposition

Die Schülerinnen und Schüler werden im Rahmen des Projekts in die Richtung gebracht, dass die Rutsche auf ITEM-Profilen montiert werden soll. Die Montage des Rutschen-Profiles erfolgt über die *Item Winkelfeststellung 8 80x40 0.0.615.59*, dadurch kann die Neigung genau eingestellt werden. Diese muss von den Schülerinnen und Schülern so gewählt werden, dass die Teile schön an die Abholposition rutschen, sollte aber nicht so steil sein, dass diese darüber hinaus fliegen.

### 7.2.3 Greiferprobleme

Die Schülerinnen und Schüler sind dazu angehalten, vor Fertigung der Greiferbacken ein CAD Modell des Parallelgreifers zu erstellen und sowohl die geöffnet als auch geschlossenen-Position darzustellen. Daran können sie die maximale und minimale Greiferöffnung in 3D messen und sicherstellen, dass dieser das Musterbauteil mit 50x50mm aufnehmen kann. Je nach verfügbarem Projektfortschritt und Zeit kann auch eine Kräfteanalyse der Greiferbacken mit den im Datenblatt des Greifers angegebenen Kräfte (Anhang D) durchgeführt und die Verformung simuliert werden.

## 7.3 Kommunikation Roboter-Kamera

Je nachdem, welche Projekte bzw. Gruppen zuvor den Roboter benutzt haben, kann es vorkommen, dass diverse Einstellungen an der Kamera oder am Roboter verändert wurden.

Damit die Kommunikation zwischen den Geräten einwandfrei funktioniert, müssen die IP-Adressen wie in Tabelle 2.8 dargestellt konfiguriert werden. Die Konfiguration des Roboters erfolgt über das Handprogrammiergerät, die IP-Adresse des Laptops kann in den System- bzw. Netzwerkeinstellungen konfiguriert werden. Die Software In-Sight Explorer findet die Kamera in der Regel unabhängig von der IP-Adresse, diese kann dann dort eingestellt werden.

Damit das vom Hersteller vorkonfigurierte Makro funktioniert, muss die IP-Adresse der Kamera zwingend **192.168.0.34** sein.

## 7.4 Roboterprobleme

### 7.4.1 Job kann nicht erstellt werden

Die Schülerinnen und Schüler darauf hinweisen, dass die Erstellung eines Jobs nur im Programmiermodus möglich ist und nicht im Run-Modus.

### 7.4.2 Die Positionen des Roboters sind völlig falsch

Dieses Problem tritt bevorzugt nach einem Crash auf. Der Roboter verliert dann möglicherweise seine korrekte Position. Um dies zu überprüfen, muss der Roboter bei jeder Achse auf seine Nullposition gefahren werden. An jeder Achse befinden sich kleine rote Pfeile, sollten die nicht gegenüberstehen, muss der Roboter neu kalibriert werden. Dies muss von der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Beschreibung dazu befindet sich im Yaskawa-Ordner bei der Wartungsschulung.

### 7.4.3 Toolcenterpoint Probleme

Oft ist es zum besseren Anfahren der Positionen sinnvoll, einen Toolcenterpoint für den Greifer zu definieren. Sollte es damit Probleme geben, sind meist zwei Dinge daran Schuld:

- Falsches Tool im Programm gewählt
- Crash gefahren

Im Fall eines Crashes müssen die Nullpositionen überprüft werden!

### 7.4.4 Singularität

Eine Singularität ist eine bestimmte Stellung eines oder mehrerer Gelenkwinkel des Roboters, in der er nicht mehr in alle Richtungen verfahren werden kann, der Roboter verliert an dem jeweiligen Gelenk also einen Freiheitsgrad. [6]

Dieser Zustand kann zu Einschränkungen bzw. überbestimmten Zuständen führen, bei denen der Roboter eine Fehlermeldung bringt und nur mehr beschränkt bedienbar ist. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die Positionen möglichst so angefahren werden müssen, dass es nicht zu einer Singularität kommt.

## 7.5 Bildverarbeitung

### 7.5.1 Makro wird nicht korrekt aufgerufen

Sollte das Makro kein gültiges Ergebnis liefern, ist die Bildverarbeitungsroutine mit großer Wahrscheinlichkeit nicht korrekt auf der Kamera in Betrieb genommen. Die Schülerinnen und Schüler müssen sicherstellen, dass die *Teil inspizieren*-Routine gespeichert und mit *Job ausführen* auf der Kamera ausgeführt wird.

### **7.5.2 Bildverarbeitung erkennt Muster nicht**

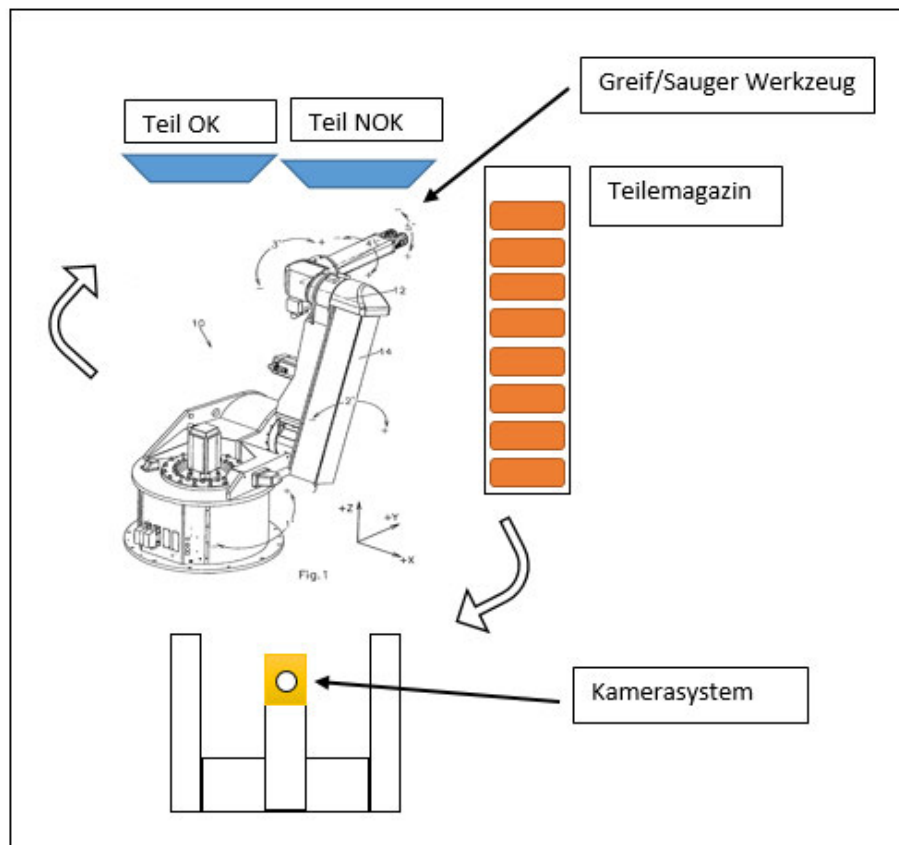
Ein möglicherweise auftretender Fehler bei der Programmierung der Bildverarbeitung ist es, dass die Beleuchtung nicht aktiviert wurde. Diese muss vor den Arbeiten am In-Sight Explorer am Programmierhandgerät eingeschaltet werden, indem das Programm *BELEUCHTUNG-EIN* (Quelltext 3.1) aufgerufen wird. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Bildverarbeitung auch bei veränderten Lichtverhältnissen konstant zu guten Ergebnissen führt.



# Anhang A: Aufgabenstellung Final

## A.1 Aufgabe

Abbildung A.1: Blockschaltbild Aufgabenstellung



Deine Firma ist ein erfolgreiches Unternehmen im Bereich der mechatronischen, vollautomatisierten Fertigungstechnik und hat den Auftrag bekommen eine Sortieranlage zu bauen, die Bauteile nach guten Teilen und Ausschussteilen sortiert und palettiert. Der Kunde hat ein Werkstück, welches in der Fertigung gelegentlich Probleme hervorruft. Die technische Zeichnung zu diesem Werkstück befindet sich im Klassenordner. Eine Analyse ergab, dass die Bohrungen gelegentlich Abweichungen aufweisen.

Mit Hilfe eines Kamerasystems sollen die guten von den Ausschussteilen unterschieden werden. Erkennt die Kamera gute Teile sollen diese vom Roboter an einem bestimmten Platz abgelegt werden. Der Grundbaustein der Anlage ist der Roboter Yaskawa Motoman MH3N und ein Kamerasystem der Firma Cognex mit der Bildverarbeitungssoftware In-Sight Explorer.

Die Funktion der Kamera soll die Sortierung mittels Bildverarbeitung von Produkten zwischen optimaler Fertigung und Ausschuss entlasten.

Die Anlieferung der Bauteile ist noch nicht vorhanden. Deine Aufgabe ist das Konstruieren und Fertigen eines Magazins, aus dem die Bauteile einzeln vom Roboter entnommen werden können. Mit dem Greifer werden die Bauteile der Reihe nach aus dem Magazin genommen und zur Überprüfung zur Kamera gebracht. Die Konstruktion des Greifers ist ebenfalls Teil des Auftrags. Aus anderen Projekten befindet sich eine große Anzahl des Greifers *MPG-plus 50* der Firma *Schunk* im Lager, dieser soll dafür verwendet werden. Das Datenblatt zum Greifer findest du ebenfalls im Klassenordner. Die Kamera überprüft die Werkstücke und sendet ein IO oder NIO Signal (IO= In Ordnung oder NIO= nicht in Ordnung) aus. Wenn ein IO Signal gesendet wird das Bauteil palettiert. Auf einer Palette ist Platz für 15 geprüfte Werkstücke.

Bei der Errichtung der Anlage müssen alle Richtlinien der EN-ISO 13849-1 berücksichtigt werden. Erarbeite dir im Kompetenzbereich Mechatronische Technologie, Angewandte Mathematik und Angewandte Elektrotechnik sämtliche Fertigkeiten der Robotik nach Anleitung deines Fachlehrers, um so eine gute Grundlage für dieses Projekt zu erhalten. Erarbeite Dir in einer Projekt- und Gruppenarbeit die theoretisch, fachlichen Grundlagen für die Durchführung der Arbeit, erarbeite dir die benötigten mathematischen Voraussetzungen zur Fertigung, konstruiere die Aufgabenstellungen und fertige sie anschließend an. Kaufe Maschinenelemente nach vorheriger Angebotseinholung zu und programmiere die Maschinen und Roboter. Erstelle eine Dokumentation in deutscher und englischer Sprache und eruiere die Kosten für die Herstellung im Rahmen eines fächerübergreifenden Kompetenzunterrichts. Achte auf die Unfallverhütungs- und die Sicherheitsvorschriften und denke über ein Sicherheitskonzept der kompletten Anlage nach. Das Thema Marketing und Präsentation muss ebenfalls beachtet werden.

## A.2 Arbeitsschritte

Führe folgende Arbeitsschritte durch:

- Beschreibe die einzuhaltenden Sicherheitsvorschriften bei der Sortieranlage und bei sämtlichen Arbeiten laut Vorgaben der AUVA und der EN-ISO 13849-1
- Erarbeite in der Projektgruppen und mit den Lehrpersonen aus der Berufsschule die theoretischen Grundlagen zur Programmierung der Anlagen und zur Vernetzung des Gesamtsystems
- Konstruiere alle benötigten Bauteile (Greifer, Magazin, ...) Normgerecht und erstelle zu allen Teilen technische Fertigungszeichnungen
- Hole Angebote zur Beschaffung er unterschiedlichen Bauteile, Baugruppen, Gerätschaften und Materialien ein. Bestelle die Bauteile nach Absprache mit dem Lehrer
- Erarbeite dir die Grundlagen der Fertigungstechniken der benötigten Bauteile unter bedacht aller Sicherheitsvorschriften und Unfallverhütungsmaßnahmen
- Fertige alle benötigten Bauteile, um das Projekt abzuschließen
- Erarbeite dir die theoretischen und praktischen Grundlagen zur Programmierung der Roboterzelle unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften und der EN ISO 10218-2
- Erarbeite die theoretischen und praktischen Grundlagen zum Kamerasystem und zur Software In-Sight Explorer, benutze dazu das dafür vorgegebene Musterformenblatt
- Baue das Gesamtsystem zusammen und programmiere den Roboter entsprechend deines Aufbaus

- Teste den gesamten Aufbau und führe das Projekt der Lehrperson vor
- Erstelle eine Präsentation über das Gesamtprojekt und ein Dokumentationsbuch in der Gruppe, ein Kapitel der Dokumentation soll in Englisch verfasst werden
- Präsentiere die Arbeit einem Fachpublikum und stelle Dich den Fragen in den Sprachen Deutsch und Englisch

### **A.3 Hilfsmittel und Rahmenbedingungen**

Folgende Hilfsmittel und Rahmenbedingungen stehen dir für das Projekt zur Verfügung:

- Für die Durchführung der Aufgaben stehen dir 4,66 Wochen zur Verfügung
- Fachkunde Buch Mechatronik, Tabellenbuch Mechatronik, Unterlagen AUVA, Internet, Werkstätteneinrichtung, Werkzeuge und Maschinen, Bedienungsanleitungen von Maschinen, Kontakt zu Deiner Lehrfirma und zu Firmen Deiner Kollegen, Kontakt zu Lieferanten, Lehrer-Schüler-Interaktion, Fachhochschule, Teamarbeit

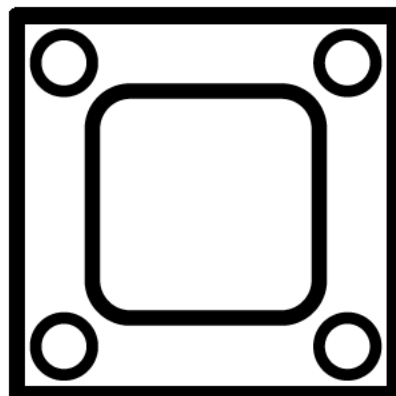
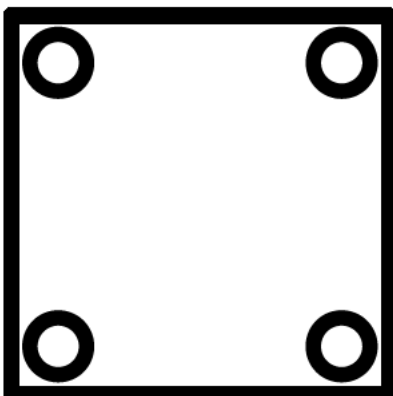
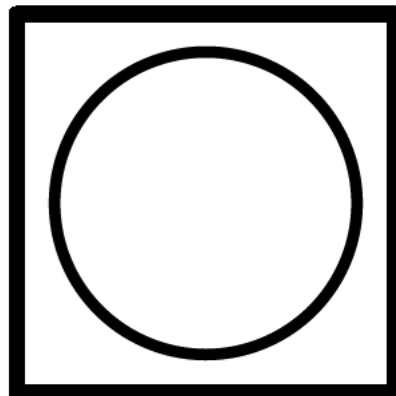
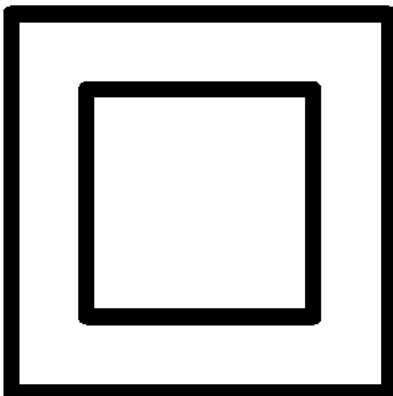
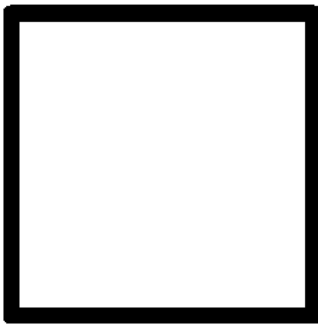
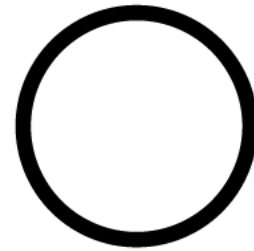
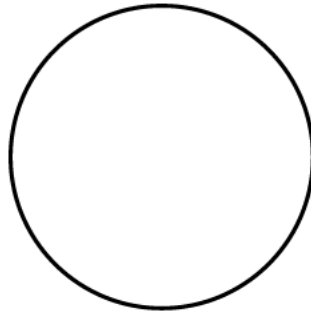
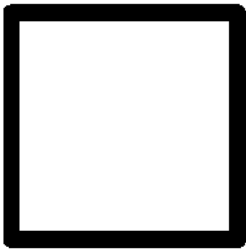


## **Anhang B: Musterformenblatt**

Um das Blatt maßstabsgetreu darzustellen, wurde es auf der nächsten Seite abgedruckt.

Abbildung B.1: Musterformenblatt

Kalibrierung  
DM40



# Anhang C: Technische Zeichnungen

Die technischen Zeichnungen zu den Musterlösungen befinden sich nicht maßstabsgetreu auf den nächsten Seiten. Die PDFs in Originalgröße werden im Lehrerordner als Vorlage abgelegt.

**Abbildung C.1:** Technische Zeichnung Musterwerkstück

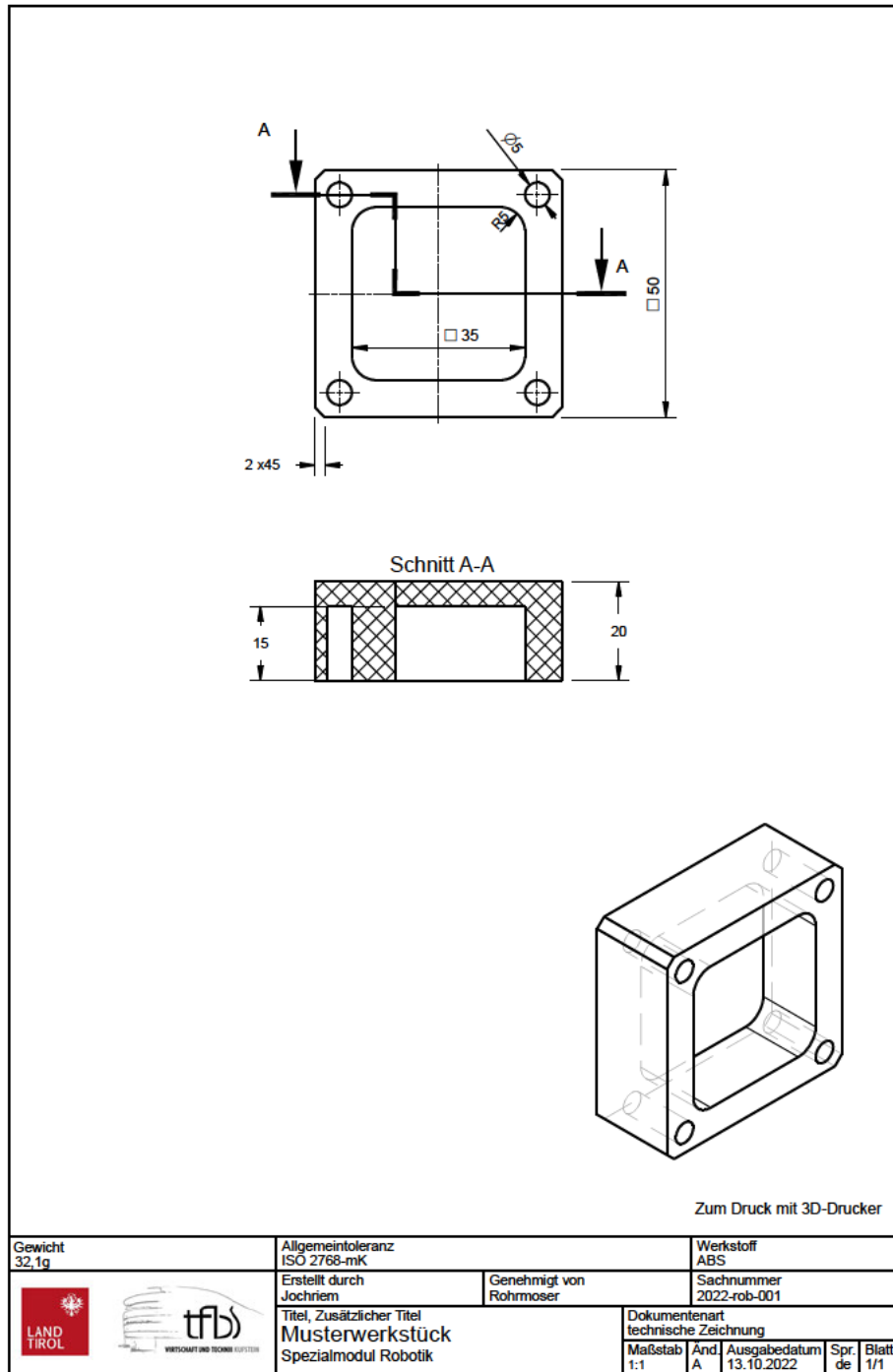
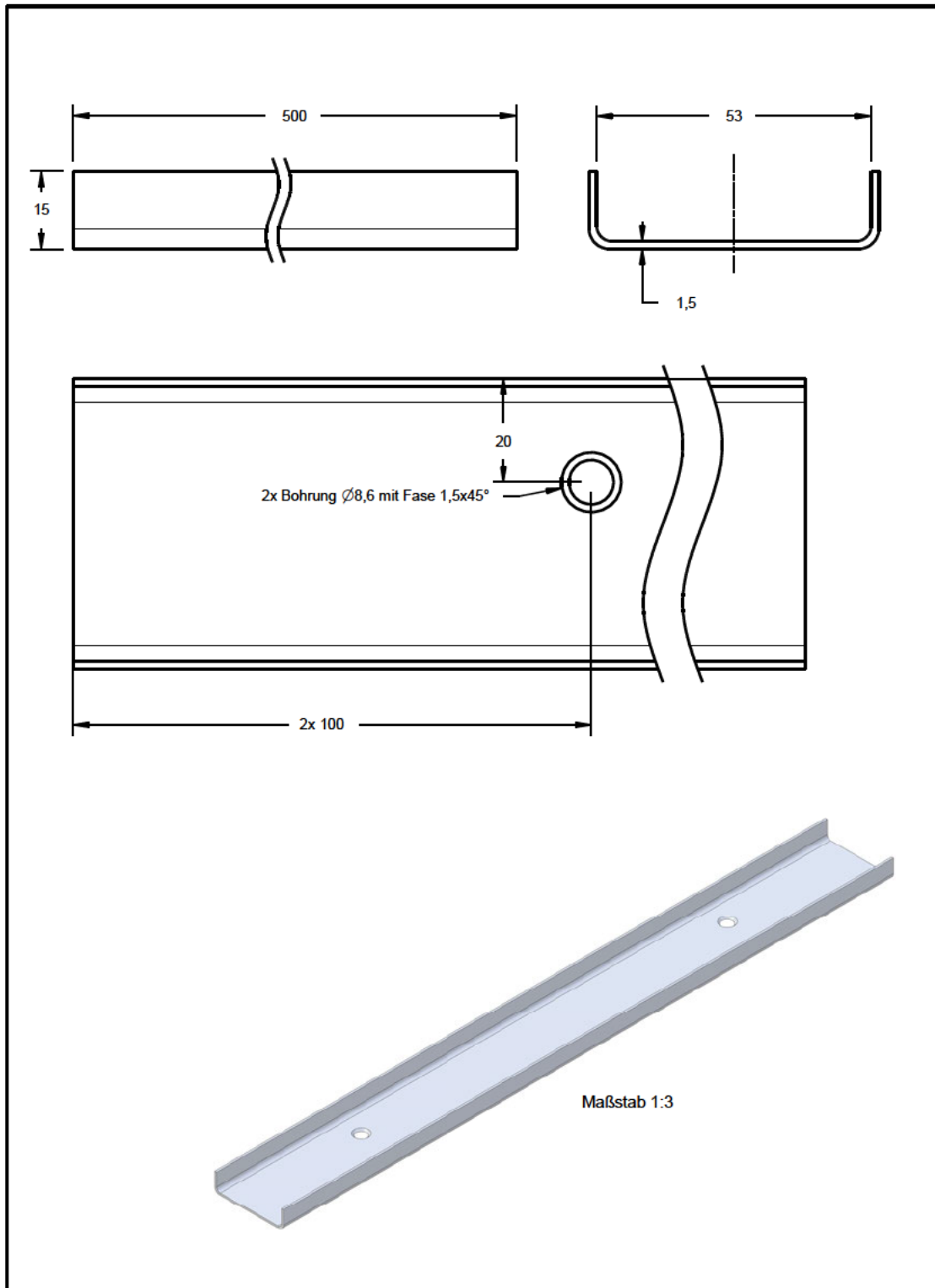


Abbildung C.2: Fertigungszeichnung Biegeteil





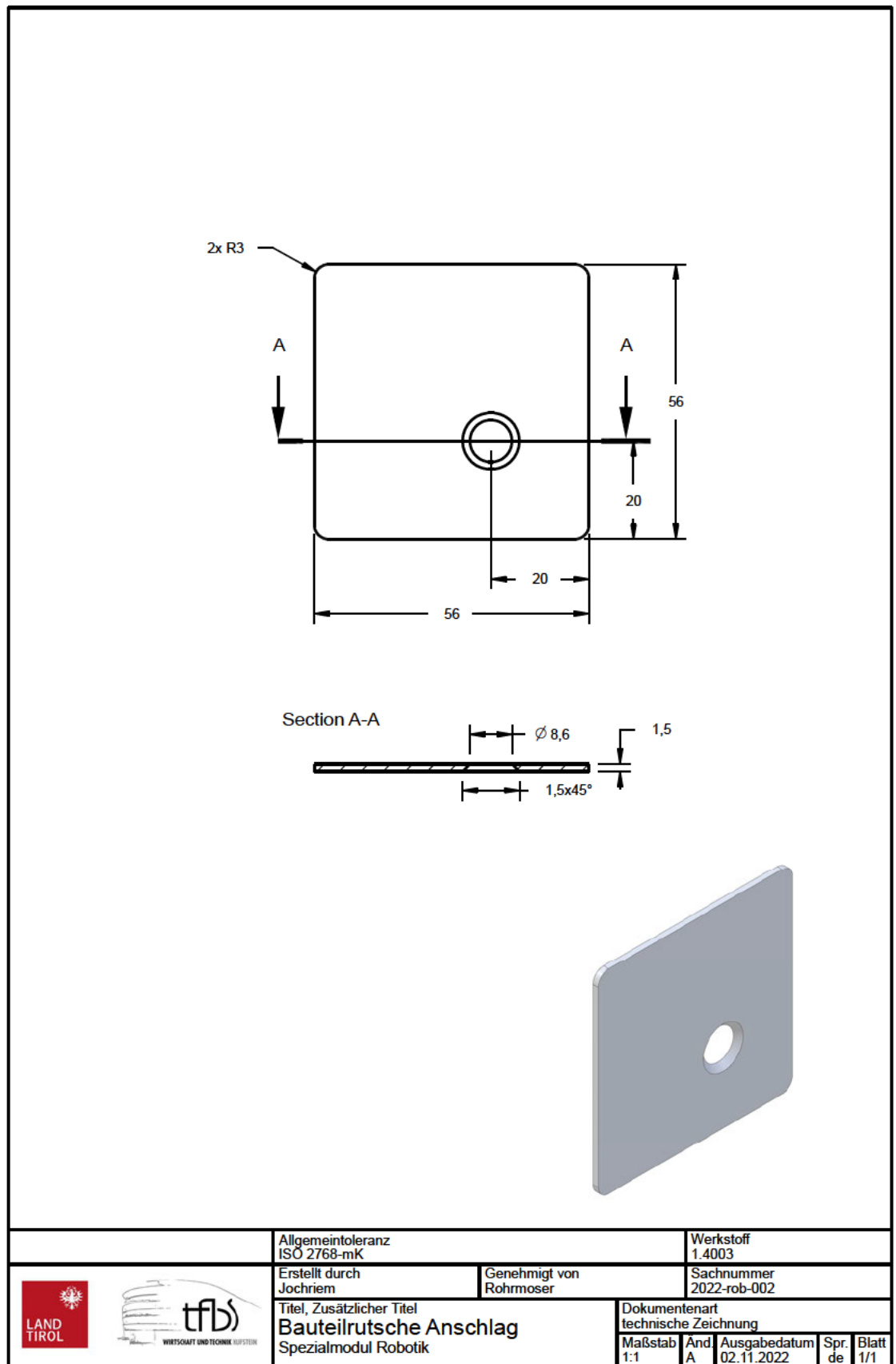
Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Werkstoff 1.4003	
Erstellt durch Jochriem	Genehmigt von Rohmoser	Sachnummer 2022-rob-003	
 		Dokumentenart technische Zeichnung	
Titel, Zusätzlicher Titel <b>Bauteilrutsche</b> Spezialmodul Robotik		Maßstab 1:1	And A
		Ausgabedatum 02.11.2022	Spr. de
			Blatt 1/1



Abbildung C.3: Fertigungszeichnung Anschlag





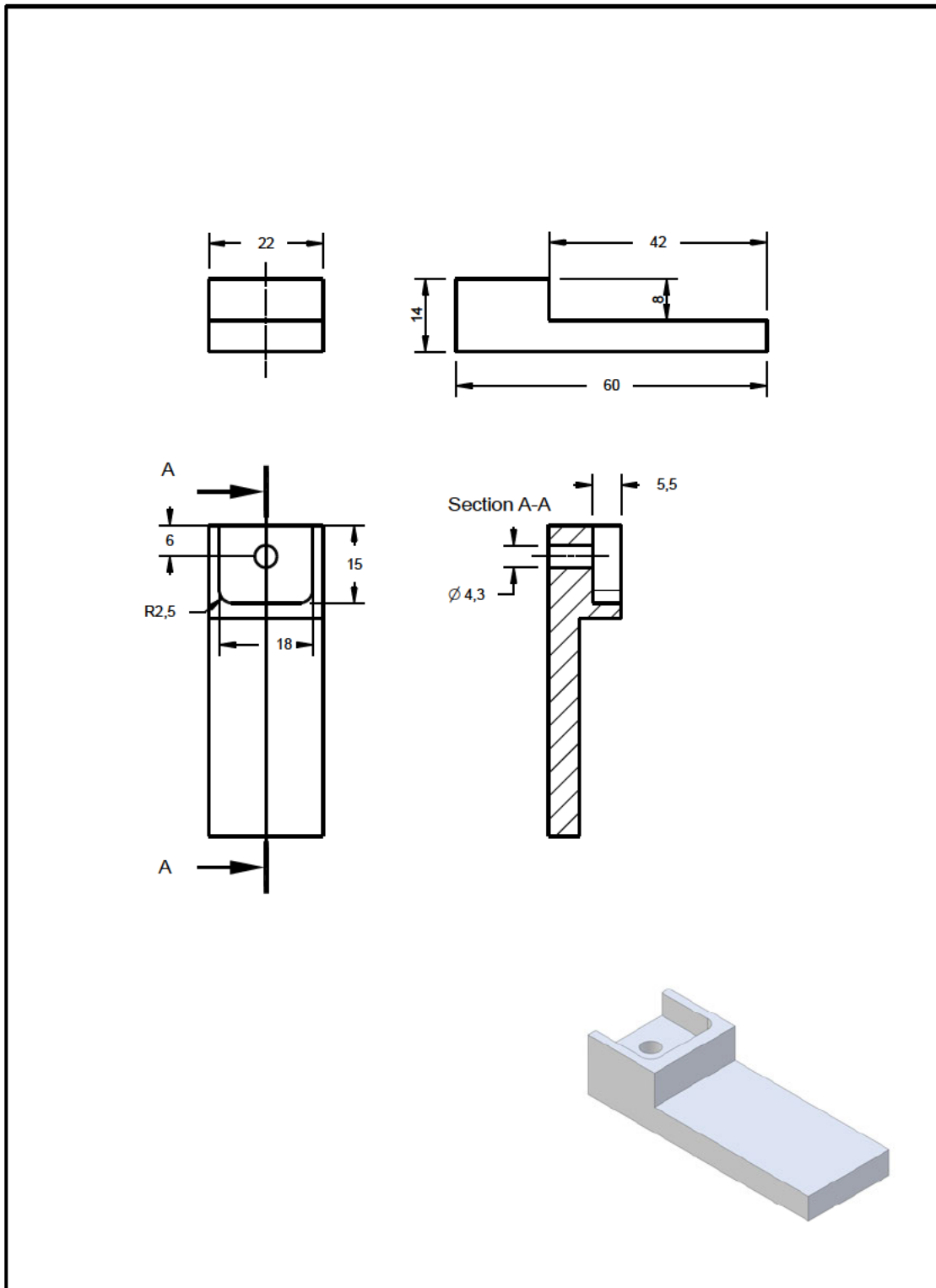


Allgemeintoleranz ISO 2768-mK		Werkstoff 1.4003	
Erstellt durch Jochriem	Genehmigt von Rohmoser	Sachnummer 2022-rob-002	
 		Dokumentenart technische Zeichnung	
Titel, Zusätzlicher Titel <b>Bauteilrutsche Anschlag</b> Spezialmodul Robotik		Maßstab 1:1	And A
		Ausgabedatum 02.11.2022	Spr. de
		Blatt 1/1	

Abbildung C.4: Fertigungszeichnung Spannbacke



		Allgemeintoleranz ISO 2768-mK	Werkstoff EN AW-2007	
		Erstellt durch Jochriem	Genehmigt von Rohmoser	
		Titel, Zusätzlicher Titel Spannbacke Greifer Spezialmodul Robotik		Dokumentenart technische Zeichnung
 		Maßstab 1:1	And A	Ausgabedatum 09.11.2022
		Spr. de	Blatt 1/1	
		Sachnummer 2022-rob-004		

# Anhang D: Datenblatt Schunk MPG50

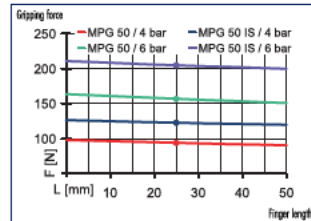
Abbildung D.1: Datenblatt Schunk MPG50

## MPG 50

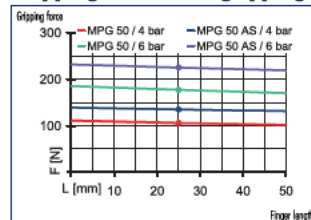
Pneumatic · 2-Finger Parallel Gripper · Gripper for Small Components



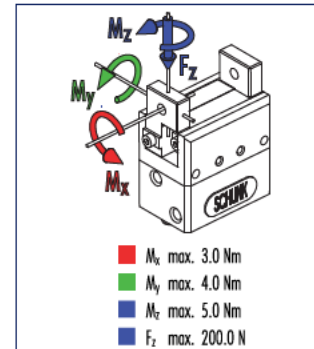
### Gripping force, I.D. gripping



### Gripping force, O.D. gripping



### Finger load



ⓘ Moments and forces apply per base jaw and may occur simultaneously.  $M_y$  may arise in addition to the moment generated by the gripping force itself. If the max. permitted finger weight is exceeded, it is imperative to throttle the air pressure so that the jaw movement occurs without any hitting or bouncing. Service life may reduce.

### Technical data

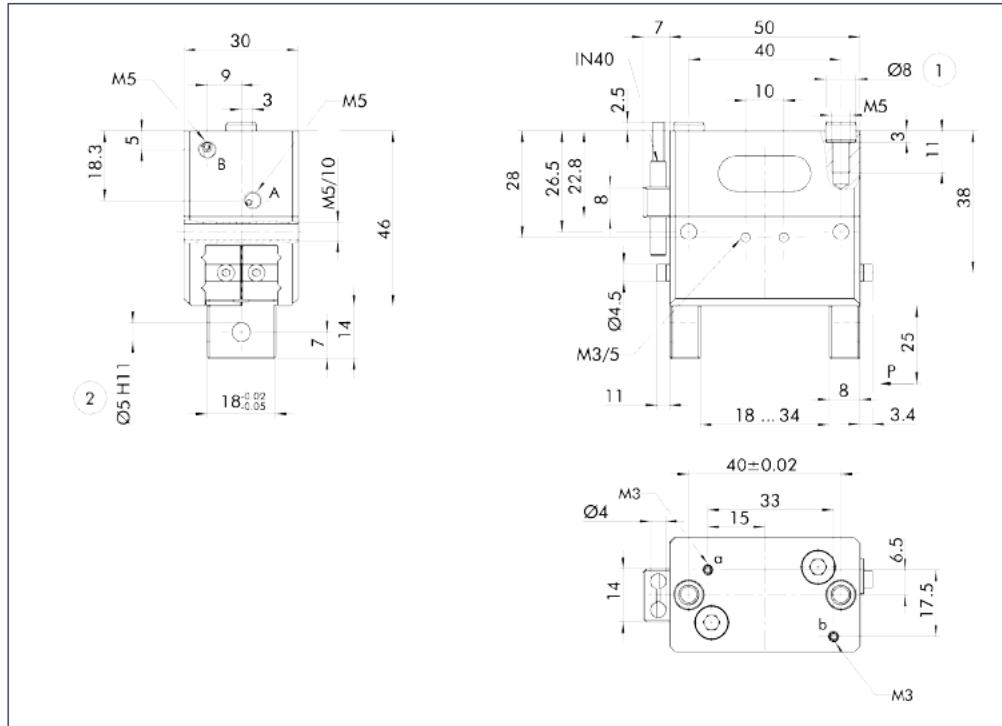
Description	ID	MPG 50	MPG 50-AS	MPG 50-IS
Stroke per finger	[mm]	8.0	8.0	8.0
Closing force	[N]	175.0	225.0	
Opening force	[N]	155.0		190.0
Min. gripping force through spring	[N]		50.0	35.0
Weight	[kg]	0.35	0.4	0.4
Recommended workpiece weight	[kg]	0.85	0.85	0.85
Air consumption per double stroke	[cm <sup>3</sup> ]	11.33	19.98	16.6
Nominal pressure	[bar]	6.0	6.0	6.0
Minimum pressure	[bar]	2.0	4.0	4.0
Maximum pressure	[bar]	8.0	6.5	6.5
Closing time	[s]	0.01	0.01	0.02
Opening time	[s]	0.01	0.02	0.01
Closing/opening time with spring only	[s]		0.3	0.3
Max. permitted finger length	[mm]	50.0	50.0	50.0
Max. permitted weight per finger	[kg]	0.14	0.14	0.14
IP class		30	30	30
Min. ambient temperature	[°C]	-10.0	-10.0	-10.0
Max. ambient temperature	[°C]	90.0	90.0	90.0
Repeat accuracy	[mm]	0.02	0.02	0.02

Abbildung D.2: Abmessungen Schunk MPG50

**MPG 50**

**Pneumatic · 2-Finger Parallel Gripper · Gripper for Small Components**

**Main views**

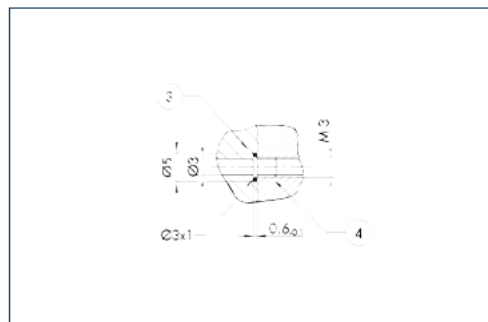


The drawing shows the gripper in the basic version with open jaws, the dimensions do not include the options described below.

- A,a Main/direct connection, gripper opening
- B,b Main/direct connection, gripper closing
- ① Gripper connection
- ② Finger connection

① The SDV-P pressure maintenance valve can also be used (see „Accessories“ catalog section) for I.D. or O.D. gripping as an alternative or in addition to the spring-loaded, mechanical gripping force safety device.

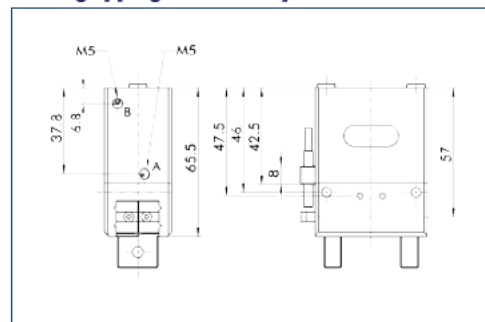
**Hose-free direct connection**



- ③ Adapter
- ④ Gripper

The direct connection is used for supplying compressed air to the gripper without hoses. Instead, the pressure medium is fed through bore-holes in the mounting plate.

**AS/IS gripping force safety device**



The mechanical gripping force safety device ensures a minimum gripping force even if there is a drop in pressure. This acts as closing force in the AS version, and as opening force in the IS version. In addition, the gripping force safety device can also be employed as a gripping force booster or for single-acting gripping.

## Literaturverzeichnis

- [1] Yaskawa Europe GmbH, *Motoman MH5*, 1. Juli 2014. (besucht am 02. 08. 2022).
- [2] Yaskawa Europe GmbH, *Motoman MH3*, 5. Juni 2017. (besucht am 02. 08. 2022).
- [3] FANUC Europe Corporation, *MDS-03813-DE LR Mate 200iD*, 2019. (besucht am 01. 07. 2022).
- [4] Mitsubishi Electric, *RV-FR Series Standard Specifications Manual*, 2022. (besucht am 15. 11. 2022).
- [5] Cognex Corporation, *In-Sight 7000 Series*, 17. Okt. 2022. (besucht am 22. 10. 2022).
- [6] W. Weber und H. Koch, *Industrieroboter: Methoden der Steuerung und Regelung*, 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser, 2022, 260 S., ISBN: 978-3-446-46869-6.



## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich – Hannes Jochriem – an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt oder anderweitig veröffentlicht.

Kufstein, 22. Januar 2023

Ort, Datum



Hannes Jochriem, B.Eng.