

DORNIER



DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg

Digitale Bildverarbeitung für Barcodes und Definition und Gestaltung der Übergabezone

T3200 Studienarbeit

des Studienganges TFE 20-2, TEA 20

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

von
Robin Simanowski und Jeffrey Rose

Abgabedatum:	17. Juli 2023
Bearbeitungszeitraum:	03. April 2023 – 17. Juli 2023
Matrikelnummer:	96009168, 2876184
Kurs:	TFE 20-2, TEA 20
Ausbildungsfirma:	ZF Friedrichshafen AG, Dornier
Betreuer der Studienarbeit:	Prof. Dr. Dietmüller, B. Eng. Koirala
Gutachter der Dualen Hochschule:	Prof. Dr. Dietmüller

i. Eidesstattliche Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Projektarbeit mit dem Thema:

Digitale Bildverarbeitung für Barcodes und Definition und Gestaltung der Übergabezone

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 17. Juli 2023

_____

Robin Simanowski

_____

Jeffrey Rose

ii. Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit und der ihr vorausgegangenen im Winter 2022, soll eine Station eines Produktionssystems konzipiert und umgesetzt werden. Kernaufgabe der Station ist die Übergabe eines Werkstückes, die Bereitstellung von Werkstückträgern, sowie das Auslesen eines QR-Codes mit hinterlegten Bauteilinformationen.

Die zu fertigenden Werkstücke werden auf einer Transportpalette im Übergabebereich einsortiert. Anschließend werden sie mittels eines Knickarmroboters von der Palette auf einen Werkstückträger im Bandsystem gehoben. Die Bereitstellung und Lagerung der Werkstückträger ist ebenso Bestandteil dieser Projektarbeit. Außerdem wird ein an das Werkstück und den Werkstückträger angepasstes Greifwerkzeug für den Roboter entwickelt. Nachdem das Werkstück auf das Bandsystem gesetzt wurde, wird mittels des QR-Readers ein auf dem Werkstück angebrachter QR-Code gescannt. Die auf ihm gespeicherten Daten werden dem gesamten Produktionsnetzwerk zu Verfügung gestellt.

Ziel der Projektarbeit ist die Aneignung des benötigten Wissens, die Entwicklung der benötigten Konzepte, die Schaffung der Schnittstellen zu anderen Projektgruppen und die technische Umsetzung der Aufgabenstellung.

iii. Abstract

Within the scope of this work and the preceding one in winter 2022, a station of a production system is to be designed and implemented. The core task of the station is the transfer of a workpiece, the provision of workpiece carriers, and the reading of a QR code with further production information.

The workpieces to be produced are sorted on a transport pallet in the transfer area. The workpiece is then lifted from the pallet onto a workpiece carrier in the conveyor system by means of an articulated robot. The provision and storage of the workpiece carriers is also part of this project work. In addition, a gripping tool adapted to the workpiece and the workpiece carrier is developed for the robot. After the workpiece has been placed on the belt system, a QR code attached to the workpiece is scanned using the QR reader. The data stored on it is made available to the entire production network.

The aim of the project work is to acquire the required knowledge, develop the necessary concepts, create the interfaces to other project groups and technically implement the task.

iv. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übergabestation mit Lagerbereichen.....2
Abbildung 2: Rohteil.....3
Abbildung 3: Bauteilträger Zwischenlager.....4
Abbildung 4: fertiges Bauteil auf Transportfahrzeug.....5
Abbildung 5: Befestigungsarm IFM QR-Code Reader.....7
Abbildung 6: Übergabezone Werkstückträger.....8
Abbildung 7: Meldeleuchten am Transportfahrzeugdock.....9
Abbildung 8: Werkstücksensorik am Transportfahrzeugdock.....10
Abbildung 9: 3D Druckteil während des Druckes.....11
Abbildung 10: Erstentwurf Greife.....12
Abbildung 11: finaler Greifer.....12
Abbildung 12: Positionswinkel im Werkstückträgerlager.....13
Abbildung 13: Rohteilmagazin.....14
Abbildung 14: Schaltschrank der Gesamtanlage.....15
Abbildung 15: Aufgabengebiete Roboter.....17
Abbildung 16: Main Loop in der UR-Oberfläche.....19
Abbildung 17: Flowchart Programm C_load_transporter().....21
Abbildung 18: Flowchart gesamte Robotersteuerung.....22
Abbildung 19: spiegelnde Oberfläche 23
Abbildung 20: finale Einstellung 23
Abbildung 21: Werkstück im Produktionsumlauf 24
Abbildung 22: Datenaustausch mit zentraler SPS 25
Abbildung 23: Anschlussleitungen des QR-Codereaders 26
Abbildung 24: Spannschnallen 30
Abbildung 25: Ethernet Anschluss 30
Abbildung 26: Spannungsanschluss 30
Abbildung 27: korrekt montierter Greifer 31
Abbildung 28: Aufbau Bauteilträger- und Rohteillager in korrekter Orientierung 31
Abbildung 29: Rohteilmagazin mit Sicherungsklammer.....32

v. Sachwortverzeichnis

Cobot	UR5 Roboter
Array	Datenformat
IO	In Ordnung
Trigger	Auslöser
Rückgabestring	Datenformat
FUP	Funktionsplan
ERP	Enterprise-Resource-Planning
QR-Code	Quick Response Code
UR5	Universal Robots 5 Generation
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VPS	Verbindungsprogrammierte Steuerung
EVA	Eingabe Verarbeitung Ausgabe
CPU	Central Processing Unit
TIA	Totally Integrated Automation Portal

vi. Inhalt

1. Vorwort 1
2. Anforderungen an die Station 2
2.1 Ziel und Problemstellung 2
2.2 Auflegen von Rohteilen auf das Band 3
2.3 Verwaltung von Bauteilträgern 4
2.4 Abnehmen der fertigen Bauteile und Auflegen auf das Transportsystem 5
2.5 Ausgangsposition 6
3. Hardware 7
3.1 Installation Sensorik 7
4. 3D-Druck Konstruktion 11
4.1 Greifer 12
4.2 Lager für Bauteilträger 13
4.3 Halterungen/Klammern für wechselnde Aufgaben 14
4.4 Zuarbeit zu anderen Gruppen 15
5. Software 16
5.1 Bewegungsablaufsteuerung des Cobots 16
5.2 Design / Konzept 17
5.3 Implementierung | Verifizierung 19
5.4 Erstellen einer QR-Code Task 23
5.5 Einbindung in das Gesamtsystem | Programmierung SPS 25
5.6 Schnittstellen 26
5.7 Programmierung 27
5.8 Zuarbeit zu anderen Gruppen 28
6. Betriebsanleitung 29
6.1 Vorbereitung Technische Dokumentation CE-Kennzeichnung 29
6.2 Inbetriebnahme 30
6.3 Bedienung 32
7. Troubleshooting 33
8. Fazit und Ausblick 34
9. Quellen 35
10. Bildquellen 36
11. Anhang 37

1. Vorwort

In unserer hochtechnisierten Welt mit stark vernetzten Produktionsketten ist die Automatisierung längst in den meisten Produktionslinien angekommen. Der Mensch als Arbeitskraft wird immer öfter durch Maschinen ersetzt, die ohne Pause, Urlaub und Krankheitstagen eine gleichbleibend gute Qualität erzeugen. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Konzipierung und Umsetzung einer Teilstation innerhalb einer Produktionslinie erarbeitet. Auf dieser Linie soll ein Werkstück an zwei Standorten, mit teils automatisierten Stationen, gefertigt und auch wieder demontiert werden. Es wird in kleinem Maßstab simuliert, wie eine Fertigung in der Industrie ablaufen kann und nach Möglichkeiten gesucht die Prozesse bestmöglich zu optimieren. Neben der eigentlichen Problemstellung an den einzelnen Stationen ist eine gute Kommunikation und Planung aller beteiligten Gruppen essenziell für das Gelingen des Gesamtprojektes.

2. Anforderungen an die Station

2.1 Ziel und Problemstellung

Ziel dieser Studienarbeit ist die Realisierung einer Pick- and Place-Station, die das vollautomatisierte Auflegen der Rohlinge, sowie das Übergeben der fertigen Bauteile an ein externes Transportsystem ermöglicht. Somit stellt es gewissermaßen die Schnittstelle zwischen der Fertigungsstraße der Zukunftsfabrik und den Zulieferern oder Auftraggebern (ZDI) dar. Aufgrund der recht variabel aufgebauten Produktion des gesamten Systems muss auch diese Station sehr flexibel realisiert werden.

Die Aufgabengebiete dieser Station lassen sich in drei Themengebiete unterteilen: Auflegen von Rohteilen auf das Band (Aufgabengebiet A), abnehmen der fertigen Bauteile (B) und auflegen auf den Transportwagen sowie die Zwischenlager-Verwaltung (C).

Weiterhin werden die aufgelegten Teile mittels QR-Codes gleich eindeutig identifiziert. Dies ermöglicht, mittels ERP- bzw. MES-System vollautomatisiert, den Fortschritt der tatsächlichen Produktion nachzuverfolgen.

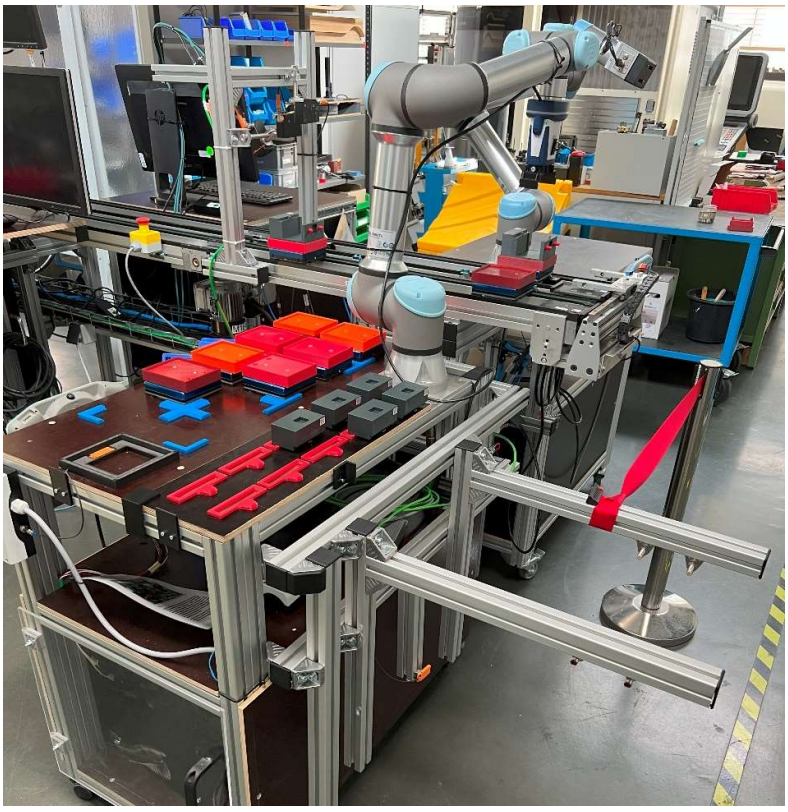


Abbildung 1: Übergabestation mit Lagerbereichen

2.2 Auflegen von Rohteilen auf das Band

Im Gegensatz zu den Anforderungen, die während der letzten Studienarbeitsphase berücksichtigt wurden, haben sich die Anforderungen verändert.

Während in der letzten Phase davon ausgegangen wurde, dass die Bauteile, die auf das Montageband aufgelegt werden sollen, mit dem Transportwagen aus der Fertigungsstraße des ZDI kommen sollten, hat sich diese Anforderung im Laufe der Studienarbeit verändert. Die Rohteile (vgl. Abbildung 2) sollen nun aus einem geeigneten Lager innerhalb dieser Station entnommen und auf das Band aufgelegt werden. Die benötigten Bauteilträger sollen, falls noch kein Bauteilträger auf dem Band liegt, auch zur Verfügung gestellt werden. Sobald Bauteilträger und Rohteil auf dem Band liegen wird der auf dem Rohteil angebrachte QR-Code gescannt. Diese Daten werden, zusammen mit dem Freigabesignal für das Band, an die SPS geliefert.

In zukünftigen Projekten soll die Demontage der zuvor montierten Bauteile realisiert werden. Dies soll bereits in der jetzigen Phase mitbedacht und vorbereitet werden. Darum wurden Greifer und Lagerorte so realisiert, dass das Auflegen eines fertigen Bauteils für die Demontage mit der bereits installierten Hardware problemlos möglich wäre.



Abbildung 2: Rohteil

2.3 Verwaltung von Bauteilträgern

Die Funktionsweise des Bandumlaufsystems macht die Verwendung von Bauteilträgern notwendig. Da die Anzahl der Bauteile, die in der Produktionsstraße bearbeitet werden, variieren kann, sollen die Bauteilträger flexibel/passend zur Anzahl der Bauteile ein- oder ausgelagert werden. Dafür soll ein Zwischenlager für Bauteilträger realisiert werden. Wenn der Bedarf an Bauteilträgern größer als die Kapazität des Zwischenlagers ist, so sollen weitere händisch auf einen Übergabeplatz gelegt werden und per Tastendruck vom Cobot in das Zwischenlager einsortiert werden. In gleicher Weise können Bauteilträger ausgelagert werden, sollte die Kapazität des Zwischenlagers (vgl. Abbildung 3) überschritten werden.

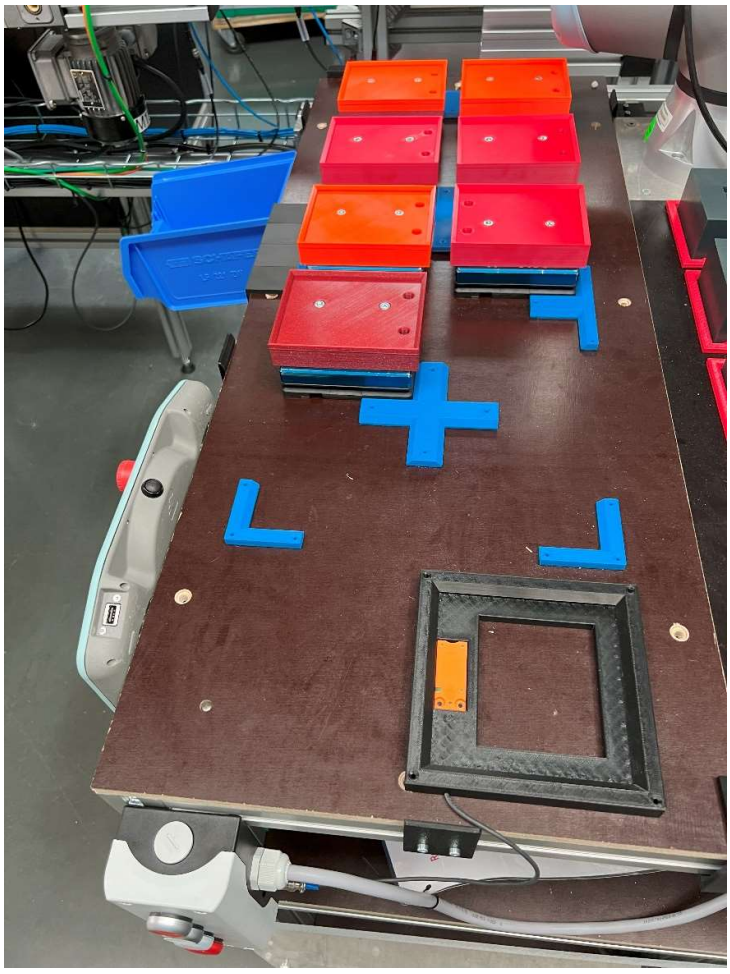


Abbildung 3: Bauteilträger Zwischenlager

2.4 Abnehmen der fertigen Bauteile und Auflegen auf das Transportsystem

Die fertigen Bauteile, die von der EOL-Station als IO bewertet werden, sollen auf den Transporter einsortiert werden, der sie anschließend zum ZDI transportiert (vgl. Abbildung 4). Sollte kein freier Platz auf dem Transporter vorhanden sein, oder der Transporter gar nicht bei der Zukunftsfabrik geparkt sein, dann sollen die fertigen Bauteile zwischengelagert werden, um einen Produktionsstopp der Anlage zu verhindern. Sobald leere Plätze auf einem Transporter vorhanden sind, sollen dann die fertigen Bauteile aus dem Zwischenlager auf den Transporter geladen werden. Sobald dieser vollständig beladen ist (für die jetzige Phase wird von einer Transportkapazität von vier fertigen Bauteilen ausgegangen) soll das Abfahrtssignal ausgegeben werden.

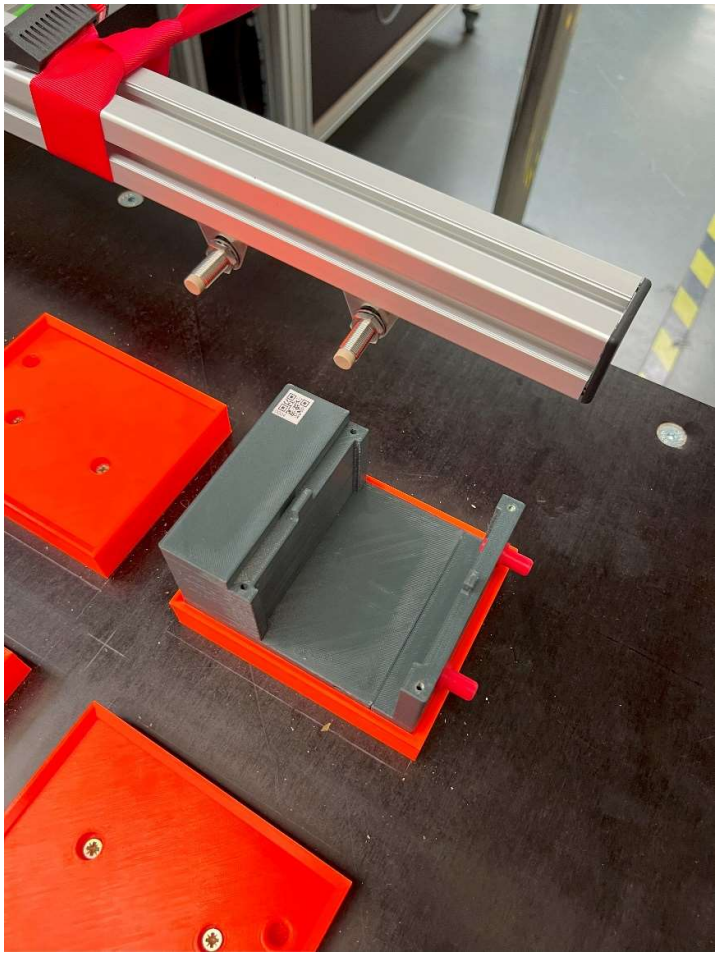


Abbildung 4: fertiges Bauteil auf Transportfahrzeug

2.5 Ausgangsposition

Im Rahmen der vorherigen Studienarbeit wurde bereits ein Konzept zur Umsetzung der im vorherigen Kapitel erläuterten Anwendung erstellt, sowie Grundlagenarbeit bezüglich der benötigten Komponenten durchgeführt. Weiterhin war der Cobot bereits auf der dafür vorgesehenen Montagevorrichtung installiert worden.

In der aktuellen Phase soll das Projekt nun realisiert werden. Dafür waren folgende Schritte notwendig:

- Konstruktion und Fertigung diverser 3D-Druckteile
- Bestellung und Installation sämtlicher Sensorik
- Konkrete Definition wichtiger Schnittstellen in Bezug auf andere Stationen
- Design, Implementierung und Verifizierung der Bewegungsablaufsteuerung des Cobots
- Einbindung der Station (incl. QR-Codescanner) in das Gesamtsystem
- Vorbereitung Technische Dokumentation zur CE-Zertifizierung
- Zuarbeit zu anderen Gruppen (1,2&5)

3. Hardware

3.1 Installation Sensorik

Nachdem im Rahmen der letzten Studienarbeit ein Sensorkonzept entwickelt und teilweise getestet wurde, wurde dieses im Rahmen der jetzigen Studienarbeit eingebaut und in Betrieb genommen. Außerdem wurde es durch kurzfristige Änderungen am Bandsystem angepasst und erweitert.

Zum einen wurde der QR-Reader an einer Alu-Traverse über dem Bandsystem befestigt, um die auf den Werkstücken angebrachten QR-Codes einlesen zu können. Die Alu-Traverse wird zusätzlich von der End of Line Testing Gruppe für deren Sensorik verwendet. Zur Befestigung des QR-Readers wurde eine spezielle Montagehalterung des Herstellers IFM verwendet (vgl. Abbildung 5). Die Stromversorgung, sowie der Profibusanschluss sind direkt über den Schaltschrank der Anlage realisiert worden.

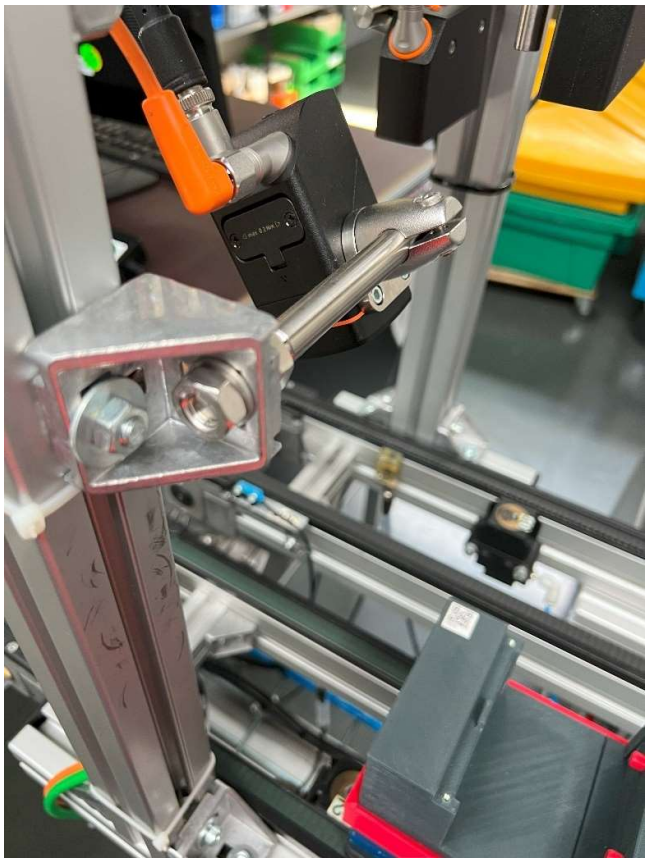


Abbildung 5: Befestigungsarm IFM QR-Code Reader

Außerdem wurde die Sensorik für das Werkstückträgerlager montiert. Hierzu gibt es einen kapazitiven Sensor in der Lagerschale im Übergabebereich (vgl. Abbildung 6). Dieser Sensor wirkt zusammen mit der Handbedieneinheit, über die das Signal zum Ein- oder Auslagern per Drucktaster gegeben werden kann. Hierfür wurde ein Aufbautastergehäuse gewählt. Neben den beiden Tastern für Ein- und Auslagern sind hier noch Meldelampen verbaut, welche einen laufenden Vorgang des Lagerprozesses signalisieren. Die komplette Bedieneinheit mitsamt Sensor ist an den Steuerungsrechner des Roboters angeschlossen. Somit wurden lange Wegstrecken zum Anlagenschaltschrank vermieden und die ohnehin vorhandenen Signalein- und -ausgänge am Roboter genutzt.

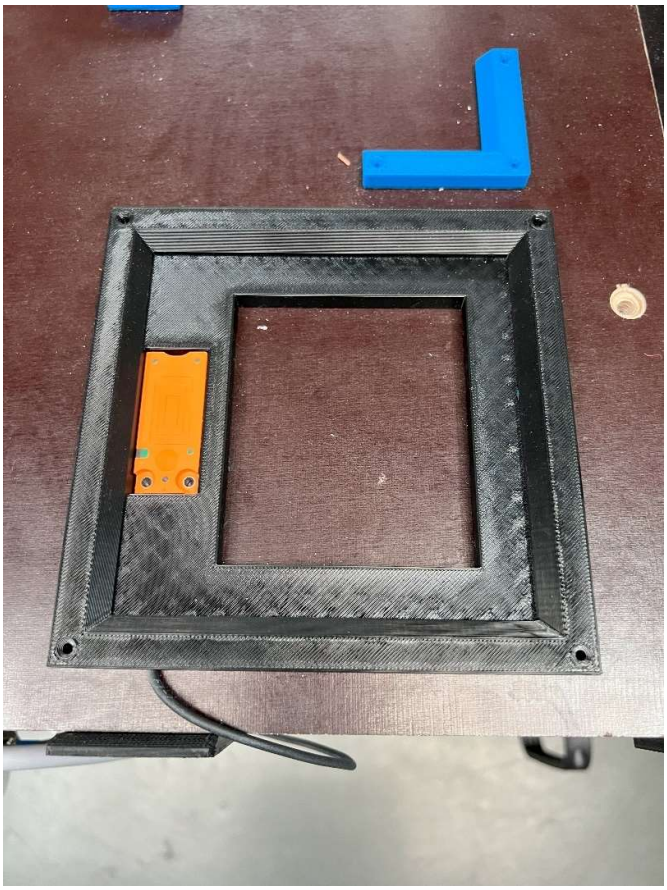


Abbildung 6: Übergabezone Werkstückträger

Ein weiteres Aufbaugehäuse mit Meldelampen wurde als Signalanlage für das Transportfahrzeug installiert (vgl. Abbildung 7). Da dieses nicht wie ursprünglich geplant autonom fährt, sondern vorerst per Fernbedienung gesteuert wird, benötigt der Fahrer ein Signal, wann er abfahren darf. Hierzu hat er eine Meldelampe, welche ihm signalisiert, dass das Fahrzeug beladen und abfahrtsbereit ist. Eine zweite Meldelampe signalisiert das Erreichen der Parkposition. Diese ist sehr wichtig, da der Roboter die Bauteile an einen definierten Punkt absetzt und sich das Fahrzeug auch genau dort befinden muss. Da das Robotersystem noch unabhängig vom Produktionsnetzwerk für Ausbildungszwecke genutzt wird, wurden noch zwei weitere Meldelampen installiert. Diese haben im aktuellen Produktionssystem keine Funktion. Alle vier Meldeleuchten wurden an noch freie Signalausgänge des Roboters angeschlossen.

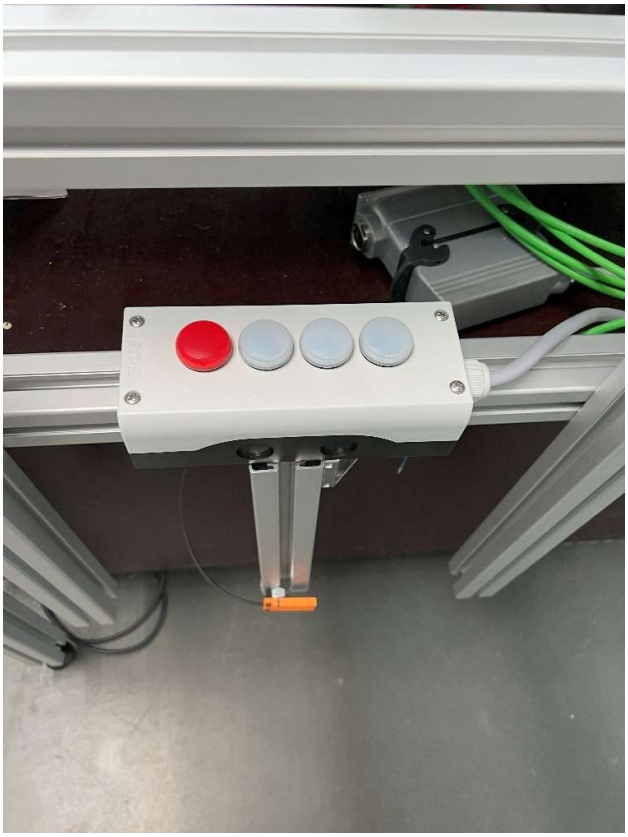


Abbildung 7: Meldeleuchten am Transportfahrzeugdock

Das letzte Sensorsetup besteht aus fünf kapazitiven Sensoren (vgl. Abbildung 8). Einer erfasst die Parkposition des Transportfahrzeuges, die vier anderen detektieren Werkstücke in den vier Ladebuchten des Fahrzeuges. Diese Sensorik ist am Gestell des Bandsystems angebracht und die Verkabelung wurde mittels trennbarer Steckverbindung zum Steuerrechner des Roboters geführt. Dies ist nötig, da der gesamte Roboter für Ausbildungszwecke an anderen Orten benötigt wird.



Abbildung 8: Werkstücksensorik am Transportfahrzeugdock

4. 3D-Druck Konstruktion

Da sich auch nach der Konzeptionsphase, sprich während der aktuellen Phase der Studienarbeit, die Anforderungen an die Station mehrmals änderten, stellt der 3D-Druck (vgl. Abbildung 9) eine äußerst sinnvolle Art der Realisierung von Hardwareanforderungen dar. Mit geringem Aufwand können Bauteile im CAD (NX Student) entworfen und Prototypen gefertigt werden (Stratasys F370). Die Vorteile dieser schnellen Prototypisierung wurde in mehreren kleinen Projekten genutzt. Die Dateien wurden auf den Rechnern des PTZ gespeichert und für folgende Studienarbeiten zur Verfügung gestellt (P:\Zukunftsfabrik\Stat4)

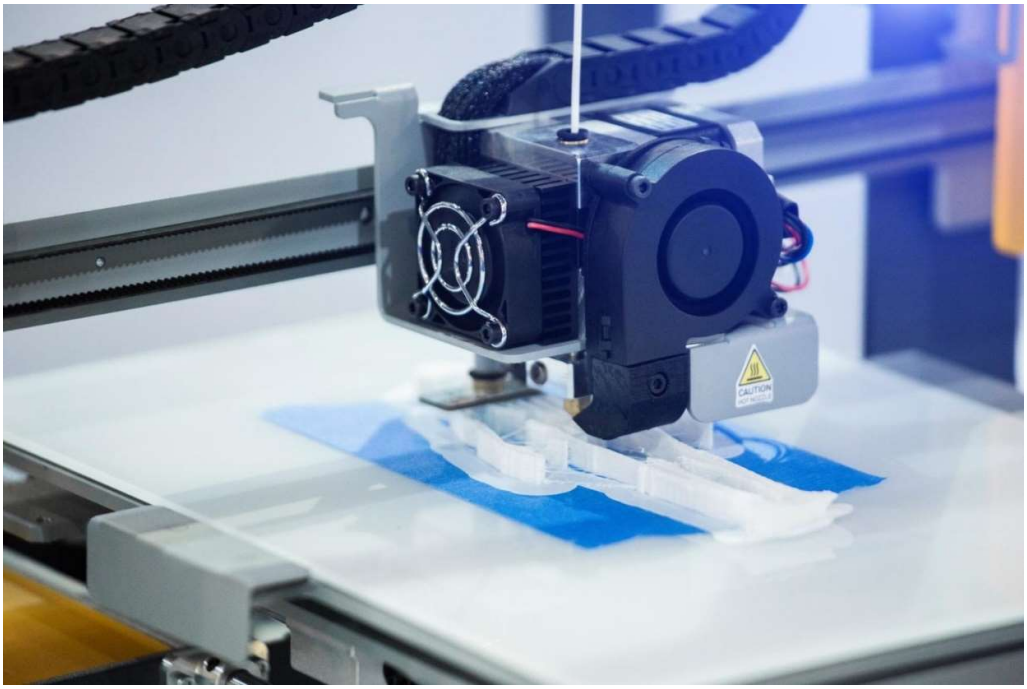


Abbildung 9: 3D Druckteil während des Druckes

4.1 Greifer

Da der am Ende des Cobots verbaute Greifer nur eine sehr eingeschränkte Bewegungsfreiheit (21 mm) hat, musste ein spezieller Greifer-Aufsatz entwickelt werden, um sowohl Bauteil als auch Bauteilträger greifen zu können.

Das in der letzten Phase entstandene Stufenkonzept (vgl. Abbildung 10) wurde, nachdem Änderungen in Art und Format von sowohl Bauteil als auch Bauteilträger bekannt wurden, überarbeitet. Hierzu gehörte die Anpassung der neuen Maße sowie die Verstärkung der Konstruktion durch Rippen. Aufgrund von unterschiedlichen Erfahrungswerten bezüglich der Stabilität von Bauteilen stellte sich diese Variante als für die Fähigkeiten des verwendeten Druckers überdimensioniert heraus. Nach Rücksprache mit dem verantwortlichen Labortechniker wurde der Greifer also ein weiteres Mal überarbeitet (vgl. Abbildung 11). Dieser Prototyp wurde anschließend gedruckt und ist bis dato in Verwendung. Da die Oberfläche des Druckes nicht ausreichend am Bauteilträger haftete, wurde mithilfe von doppelseitigem Klebeband ein passendes Stückchen Gummi aus einem alten Fahrradschlauch angebracht, was nun ausreichend Haftung bietet.

Kleine Verbesserungen wurden notiert und für zukünftigen 3D-Druck in der Druckdatei angepasst.

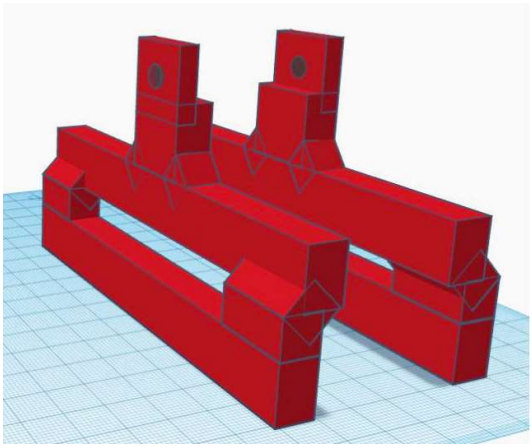


Abbildung 10: Erstentwurf Greifer

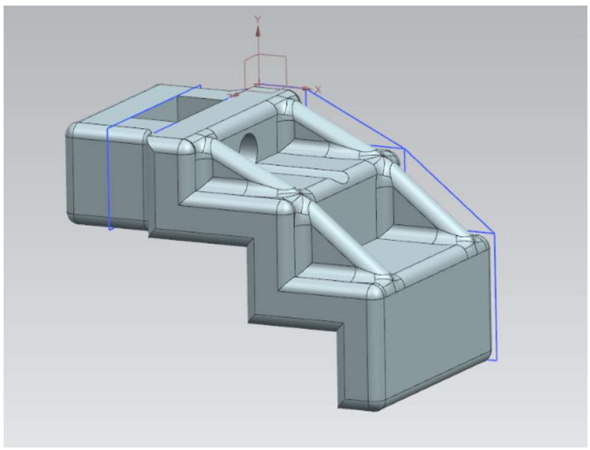


Abbildung 11: finaler Greifer

4.2 Lager für Bauteilträger

Die Idee für die Implementierung des Zwischenlagers war, viele kleine Winkel mit geringer Höhe zu drucken, die auf einer Siebdruckplatte montiert werden (vgl. Abbildung 12). So bleibt der Aufbau einerseits sehr flexibel, andererseits wird nur eine geringe Menge Material benötigt. Da die Bauteilträger quadratisch sind, reichen zwei Winkel diagonal gegenüber, um die Bauteilträgerposition vollständig zu definieren. Diese Winkel werden zusätzlich mit einer Phase versehen, die die Anlagensicherheit erhöhen, da Bauteilträger beim Ablegen sozusagen zentriert werden.

Neben dem beschriebenen Winkel wurden zwei weitere Varianten erstellt, in dem diese gleich zu zweit bzw. zu viert zusammengefasst wurden, um die Handhabung zu erleichtern.

Die Prototypen wurden gedruckt und sind bis dato in Verwendung. Weitere Verbesserungen waren nicht notwendig.

Analog dazu konnte das Magazin der Rohteile realisiert werden. Aufgrund der Bauteilgeometrie konnten Schlitze in eine Siebdruckplatte gesägt, und dann mithilfe eines 3D-gedruckten Rahmens vollständig definiert werden.

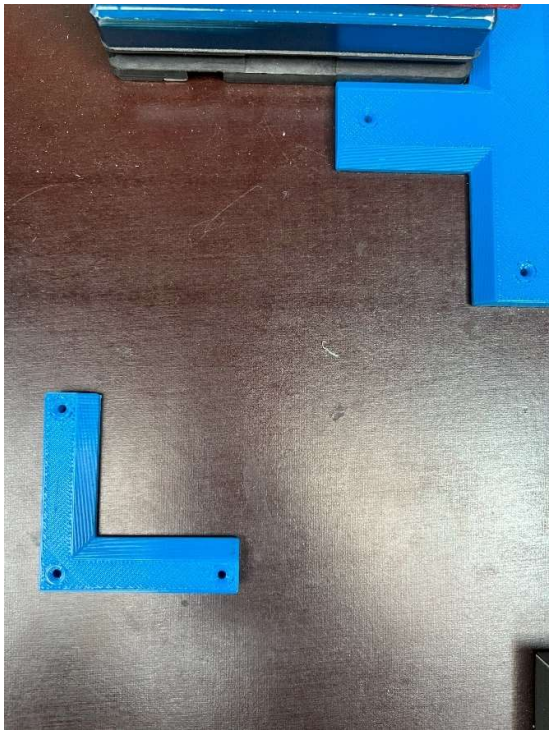


Abbildung 12: Positionswinkel im Werkstückträgerlager

4.3 Halterungen/Klammern für wechselnde Aufgaben

Da der Cobot neben seinen Tätigkeiten in der Zukunftsfabrik auch zu Schulungszwecken verwendet wird, mussten sämtliche Aufbauten modular wechselbar gestaltet werden. So ist die gesamte Siebdruckplatte, auf der das Trägerzwischenlager montiert ist, austauschbar. Stattdessen kann hier eine Siebdruckplatte gleichen Maßes eingebaut werden, auf der der Schulungsaufbau montiert ist.

Dazu wurden Halterungen, sowie Klammern entworfen und gedruckt, die innerhalb von Sekunden den Austausch der Platten ermöglichen.

Diese stellten sich als sehr nützlich heraus, als im Laufe der Phase ersichtlich wurde, dass ein „Magazin“ an Rohteilen auch auf dem Wagen eingebaut werden sollte. So konnte dieses auch einfach auf einer Siebdruckplatte implementiert werden und mit dem bereits verifizierten System des Platten-Tauschens kann nun auch das Rohteil-Magazin gewechselt werden (vgl. Abbildung 13).

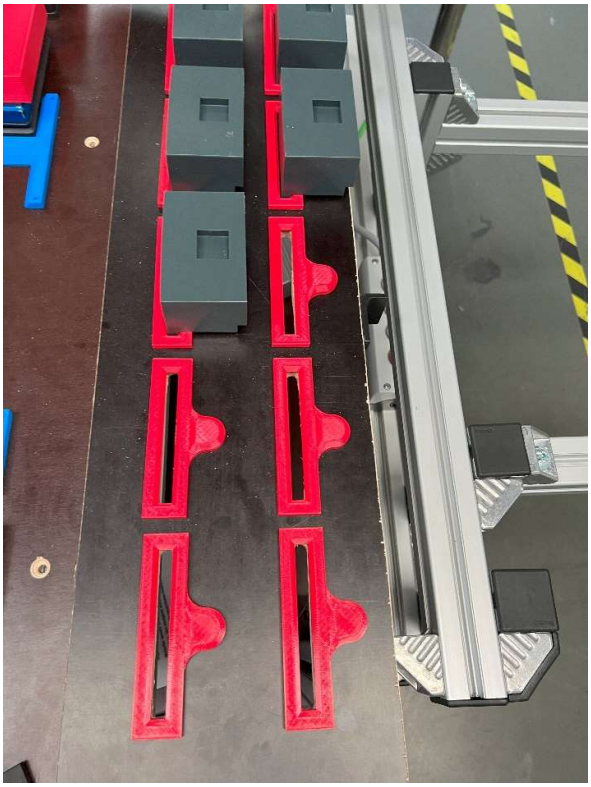


Abbildung 13: Rohteilmagazin

4.4 Zuarbeit zu anderen Gruppen

Mit fortlaufendem Projekt stellten sich kapazitive Engpässe bei einigen Projektgruppen heraus. Besonders die Gruppe, welche das Transportsystem aufbaut benötigte Unterstützung. Dies lag hauptsächlich am sehr großen Umfang ihres Aufgabenpaketes, das zu zweit fast nicht zu bewältigen war. Deshalb unterstützten wir diese Gruppe in zwei Bereichen.

Zum einen wurde bei der Konzipierung und Implementierung des SPS-Programms unterstützt. Hierbei wurde eine Logik entwickelt, um die benötigten Informationen aller Gruppen bereitzustellen. Außerdem wurde die Steuerung des Bandsystems, welches das Bindeglied zwischen den einzelnen Stationen darstellt, implementiert.

In Zusammenarbeit mit Gruppe 2 wurden die Bauteilträger überarbeitet, um den Anforderungen des Cobots gerecht zu werden.

Des Weiteren wurde bei der Auswahl und Beschaffung von Hardware zum Schaltschrankbau unterstützt. Hierbei ging es vor allem um die Verkabelung und Kabelführung zu den einzelnen Stationen (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Schaltschrank der Gesamtanlage

5. Software

5.1 Bewegungsablaufsteuerung des Cobots

In einem ersten Schritt des Programmentwurfes musste entschieden werden, auf welche Art die Ablaufsteuerung implementiert werden soll. Der Universal Robot kann auf zwei Levels kontrolliert werden:

Einerseits kann eine Ablaufsteuerung innerhalb der graphischen Oberfläche des UR, beispielsweise auf dem Teachpendant realisiert werden. Dies stellt einen sehr einfachen Einstieg dar, da keine Vorkenntnisse notwendig sind und sämtliche Befehle innerhalb des Programms eine Beschreibung enthalten. Die Funktionalität ist dafür teilweise etwas eingeschränkt.

Andererseits kann der Roboter auf der Script-Ebene programmiert werden. Dieses URScript ist vergleichbar mit anderen Hochsprachen wie Python oder C++, auch wenn eine eigene Syntax zugrunde liegt.

In den meisten Anwendungsfällen in der Industrie ist die Script-Programmierung zu bevorzugen. Wenn man die Sprache beherrscht, kann eine Steuerung oft übersichtlicher und schneller realisiert werden (allein schon wegen der Möglichkeit der Verwendung eines Keyboards). In diesem Fall haben wir uns allerdings entschieden, mit dem User Interface zu arbeiten. Dies hatte folgende Gründe:

- Die Einarbeitung in das User Interface ist deutlich weniger aufwendig. Aufgrund der relativ simplen Natur dieser Anwendung und dem begrenzten Zeitraum dieser Studienarbeit ist dies ein wichtiger Faktor. Auch im Hinblick auf zukünftige Studienarbeiten ist dies ausschlaggebend, da auch hier der geringere Aufwand für die Einarbeitung von zentraler Bedeutung sein wird.
- Sollten ausnahmsweise komplexere Vorgänge notwendig sein, die normalerweise nicht mittels UI möglich sind, können dank des Script-Bausteins auch einzelne Befehle in Script-Sprache implementiert werden, also muss keinerlei Funktion eingebüßt werden.

5.2 Design / Konzept

Um einen übersichtlichen und gut strukturierten Code für die Steuerung des Roboters schreiben zu können wurden zunächst verschiedene Aufgaben für den Roboter definiert. Dazu wurde auf die eingangs (in Kapitel 2.1) erwähnten Aufgabenbereiche der Cobots eingegangen. Die Aufgabenbereiche wurden in einzelne Tasks unterteilt. Daraus ergab sich folgende Aufgabenstruktur:

Auflegen (A)	A_load_carrier()	der Bauteilträger wird aus dem Zwischenlager auf das Band aufgelegt
	A_load_workpiece()	das Rohteil wird aus dem Magazin auf das Band gelegt
Abnehmen (B)	B_unload_workpiece()	das fertige Bauteil wird vom Band abgenommen und an die passende Ablagestelle gelegt
	B_unload_carrier()	der Bauteilträger wird vom Band abgenommen und in das Zwischenlager einsortiert
Zwischenlager-verwaltung (C)	C_load_carrier()	der an der Übergabestelle liegene Bauteilträger wird in das Zwischenlager einsortiert
	C_unload_carrier()	ein Bauteilträger aus dem Zwischenlager wird an die Übergabestelle gelegt
	C_load_transporter()	zwischengelagerte Bauteile werden auf den Transporter geladen

Abbildung 15: Aufgabengebiete Roboter

Diese Tasks stellen jeweils eine lineare Schrittkette dar, die ohne Unterbrechung abgearbeitet wird.

Diese Schrittketten führen zum Teil Aufgaben durch, die während des gesamten Projekts mehrmals auftreten, beispielsweise das Greifen eines Rohteils, eines Bauteils oder eines Bauteilträgers. Der Ablauf ist in allen drei Szenarien identisch: Greifer öffnen, Anfahrtsposition über der Greifposition anfahren, Greifposition linear anfahren, Greifer schließen, warten bis der Greifer geschlossen ist, Rückzugsposition anfahren. Diese Schrittkette könnte theoretisch in einem Sub-Task realisiert werden, der mit geeigneten Parametern aufgerufen wird. Um Redundanzen zu vermeiden und den Programmieraufwand zu minimieren wäre die Realisierung als Subprogramm sehr sinnvoll. Leider erlaubt die graphische Oberfläche den Aufruf von Subprogrammen innerhalb eines Subprogramms nicht, weshalb der Code streng linear realisiert wurde. Dies hat wiederum den Vorteil, dass aufgrund der Linearität die Komplexität des Codes minimiert und dadurch einfacher verständlich wird, was sehr wichtig ist, da dieses Programm auch in Zukunft während Studienarbeiten schnell verstanden und bearbeitet werden soll.

5.3 Implementierung | Verifizierung

Für jeden einzelnen Task wurde ein Subprogramm implementiert und möglichst bald verifiziert. Erst im zweiten Schritt wurden Interaktionen und Abhängigkeiten zwischen den Subprogrammen implementiert, wobei das Programm auch hier möglichst schlicht gehalten wurde. Sämtliche Bedingungen werden innerhalb der Main loop abgefragt (vgl. Abbildung 16). Sobald die externen Gegebenheiten so sind, dass eine der Subprogramme ausgeführt werden kann, wird dieses ausgeführt. Nach Beendigung des Tasks wird zurück in die Main gesprungen, um weiter die Bedingungen zu überprüfen. Die Bedingungen werden so abgefragt, dass eine Priorisierung der Subprogramme stattfindet. Beispielsweise ist es wichtiger, dass Bauteile vom Band abgenommen werden, als dass neue Rohteile aufgelegt werden. Dementsprechend würde zuerst das Subprogramm ausgeführt, welches das Bauteil abnimmt, und erst danach jenes, das Rohteile auflegt.



Abbildung 16: Main Loop in der UR-Oberfläche

Eine Interaktion zwischen den einzelnen Subprogrammen findet nur in Bezug auf die (Zwischen-)Lager statt. Diese sind im Ablaufprogramm als Palette angelegt. Eine virtuelle Palette ist im Grunde genommen nichts weiter als eine Positionsmatrix, die in einem Array gespeichert ist. Sobald eine Position bearbeitet, also in unserem Fall gepickt/geplaced wurde, wird der Index des Arrays erhöht. Universal Robots bietet in der graphischen Programmierung einen sog. Palettierungsassistenten an. Hier müssen nur wenige Positionen und die Geometrie der Palette angegeben werden und sämtliche weiteren Positionen werden automatisch berechnet und das Inkrementieren der Positionsvariable wird vollautomatisch übernommen. Diese virtuelle Palette kann nur an einer Stelle im Ablaufprogramm eingefügt werden. In unserem Fall müssen allerdings mehrere Subprogramme auf ein und dieselbe virtuelle Palette zugreifen, um die richtige Position im reellen Zwischenlager anzufahren. Diese Funktionalität wird von der graphischen Programmierung nicht unterstützt. Dies stellte zunächst eine Herausforderung dar, die allerdings mithilfe eines Workarounds gelöst werden konnte:

Eine Kopie der Palette wird in allen Subprogrammen implementiert, die auf das Zwischenlager zugreifen. Als nächstes wird die interne Variable ausfindig gemacht, die als Positionsvariable in der ersten Palette dient. Vor dem Zugriff auf die kopierten Paletten wird nun also der Inhalt der Positionsvariablen der Originalpalette in die Positionsvariable der kopierten Palette geschrieben. Nach Ablauf des Palettenzugriffs wird die Positionsvariable der Originalpalette inkrementiert. Alternativ dazu hätte ein Script-Befehl eingefügt werden können, in dem eine allgemein gültige virtuelle Palette aufgebaut wird, dies wäre allerdings mit erhöhtem Aufwand verbunden gewesen. Der Lösungsansatz wurde aufgrund der Effizienz ausgewählt.

Eine weitere Besonderheit in der Implementierung stellt das Subprogramm C_load_transporter() dar. Im Gegensatz zu allen anderen Subprogrammen wird hier keine lineare Schrittkette abgearbeitet. Zwei Faktoren bestimmen, wohin das Bauteil gelegt wird. Die Entscheidungskette wird in Abbildung 17 dargestellt.

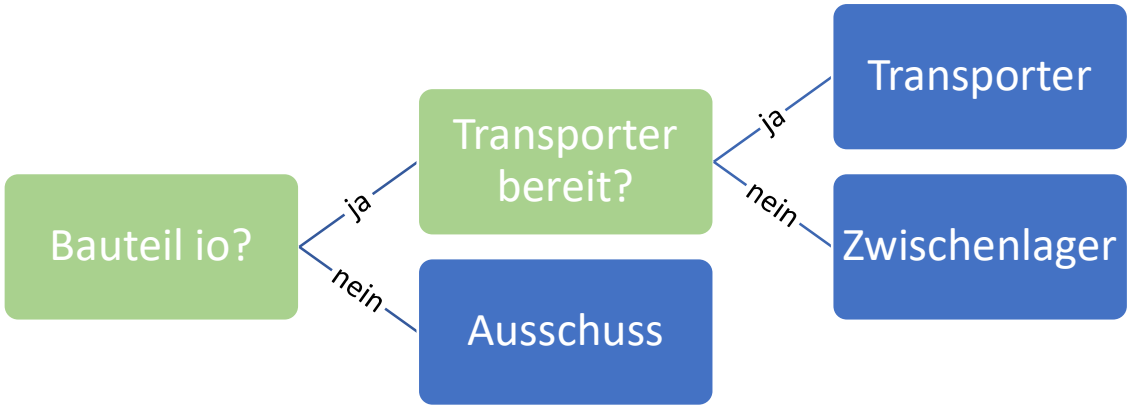


Abbildung 17: Flowchart Programm C_load_transporter()

Sollte während der End of Line (EOL) Kontrolle auffallen, dass das Bauteil nicht in Ordnung ist, wird eine Flag auf der SPS gesetzt. In diesem Fall wird das Bauteil vom Band genommen, allerdings nicht auf den Transporter gelegt, sondern in einen dafür vorgesehenen Behälter. In Zukunft soll ein zweiter Cobot die NIO – Teile abgreifen und auf ein Nachbesserungsband legen.

Teile, die IO sind, werden entweder direkt auf den Transporter gelegt oder, falls dieser nicht bereit sein sollte, zwischengelagert. Deswegen wird ein weiteres Subprogramm notwendig, das sämtliche zwischengelagerte Bauteile auf den Transporter lädt, sobald dieser bereit ist.

Im Folgenden ist ein Flowchart abgebildet, Abb. 18, das zur besseren Verständlichkeit des Programmaufbaus sämtliche Zusammenhänge visualisiert:

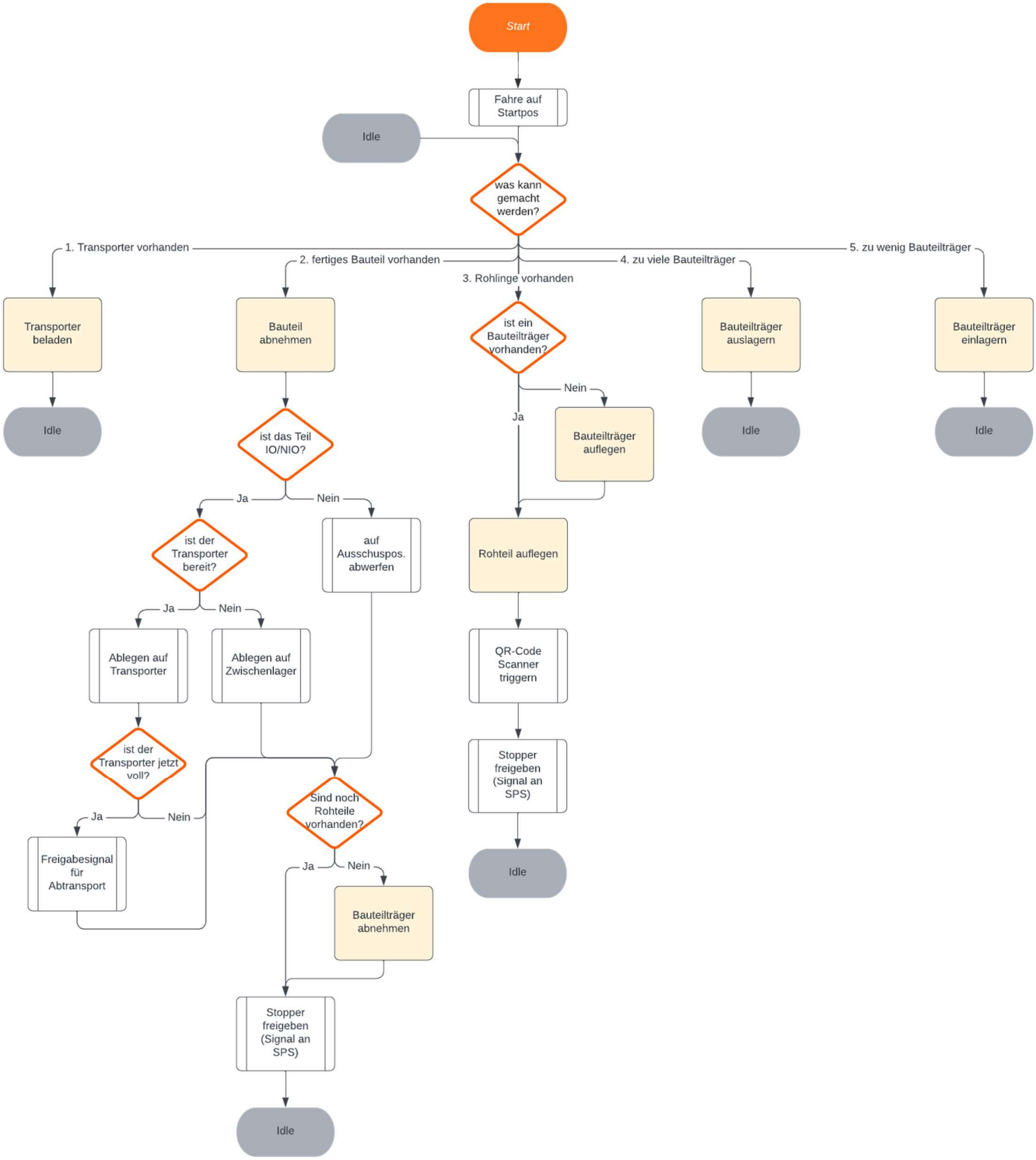


Abbildung 18: Flowchart gesamte Robotersteuerung

5.4 Erstellen einer QR-Code Task

Für die Erkennung der QR-Codes wird ein O2Ixxx-Sensor der Firma IFM verwendet.

Um sinnvolle Daten an die SPS übermitteln zu können muss eine Applikation innerhalb der Kamera implementiert werden. Neben einem sehr einfachen Verfahren, dem sog. “One-Button-Teach" ist die Bedienung auch mittels der IFM Vision Assistant Software möglich.

Um die Parametrisierung der Profinet-Schnittstelle zu ermöglichen, wurde die Applikation in unserem Fall mittels Vision Assistant erstellt. Zunächst wurde der Code in das Sichtfeld der Kamera gelegt. Automatische Focus- und Belichtungsoptimierer finden die optimale Einstellung zur Erkennung des Codes. Standardmäßig ist die interne Beleuchtung des Scanners aktiviert. Aufgrund der Oberfläche der Aufkleber stellte sich dies allerdings als Problem heraus, da diese leicht spiegelnde Eigenschaften besitzt (vgl. Abbildung 19). Die Beleuchtung wurde also deaktiviert und es konnte eine prozesssichere Einstellung gefunden werden (vgl. Abbildung 20). Anschließend wurden Ein-/Ausgänge, sprich Trigger und Rückgabestrings definiert und auf dem im O2I Scanner verbauten USB-Stick gespeichert. So kann bei einem Defekt der Kamera diese einfach gegen eine neue ausgetauscht werden, ohne dass Programmierung oder Parametrisierung stattfinden müssen, da sämtliche Informationen auf dem Stick gespeichert sind, der mittelts USB-Schnittstelle mit der neuen Kamera verbunden werden kann.



Abbildung 19: spiegelnde Oberfläche



Abbildung 20: finale Einstellung

Die Codes wurden auf QR.io generiert, mittels Etikettendrucker ausgedruckt und auf die Bauteile aufgebracht. Da dieses System ständig umgebaut und erneuert wird, wurden neben dem QR-Code, der nur für Maschinen verständlich ist, auch der Inhalt des Codes in für Menschen verständlicher Form abgedruckt. Der Inhalt dieser Codes ist eine vierstellige Zahl, die jedem Rohteil eine eigene Nummer zuordnet. In Zukunft wird ein ERP-System in die Produktion eingebunden werden. Dieses System wird Aufträge und Varianten mit den physikalischen Bauteilen verknüpfen. So können sämtliche Bauteile nachverfolgt und der exakte Auftragsstand vollautomatisiert und abgebildet werden.

Die Einbindung des ERP-Programms sprengt allerdings den Rahmen dieser Studienphase. Daher wurde eine Art pseudo-ERP implementiert, das die Rohteile mit den zu fertigenden Varianten verknüpft.

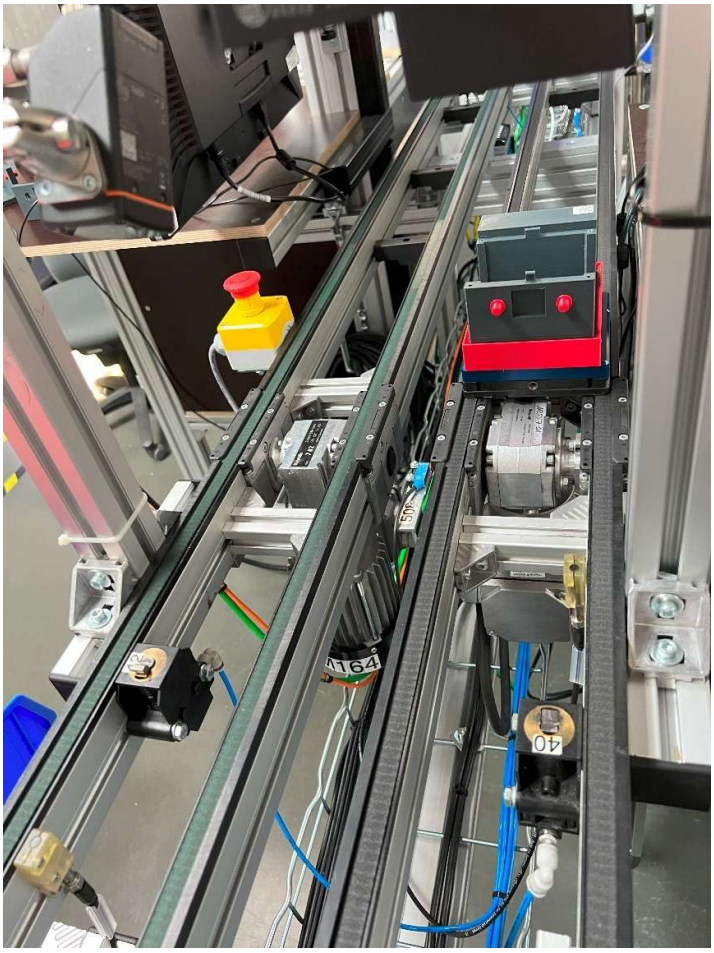


Abbildung 21: Werkstück im Produktionsumlauf

5.5 Einbindung in das Gesamtsystem | Programmierung SPS

Die Zukunftsfabrik ist in mehrere Stationen unterteilt, die von mehreren Studierenden-Teams realisiert werden. Um einen reibungslosen Ablauf der Gesamtanlage zu ermöglichen, ist eine Siemens SPS verbaut. Dank ihrer E/A-Karten können Sensoren/Aktoren angesteuert werden. Weiterhin ermöglicht die SPS die Kommunikation der Stationen untereinander bzw. steuert Abläufe wie beispielsweise das Bandumlaufsystem.

Da der UR Cobot mit einem eigenen Controller ausgestattet ist, der die Möglichkeit hat, digitale Ein- und Ausgänge zu lesen/schreiben, werden die digitalen E/A-Karten der SPS nicht benötigt. Dennoch muss mit dem Gesamtsystem kommuniziert werden. Für die Funktion unserer Station sind folgende Informationen notwendig:

input	Bauteil io.	bool
	Bauteil fertig / in position	bool
	Bauteilträger in Position	bool
output	Rohteil fertig aufgelegt	bool
	Bauteil abgenommen	bool
	Status des Roboters	Statusword
	Art der Störung	int
	QR-Code Inhalt (Bauteilnr.)	string
	Status QR-Codescanner	word

Abbildung 22: Datenaustausch mit zentraler SPS

5.6 Schnittstellen

Als Schnittstelle von QR-Codescanner und Roboter-Controller zur SPS wird Profinet verwendet.

Um die Verbindung zwischen Roboter und SPS herzustellen, wurde zunächst die Profinet-Schnittstelle in der Installationsdatei des UR 5 aktiviert. Als nächstes wurde die GSD-Datei des Roboters in der TIA Portal Umgebung installiert und das Gerät anschließend in der Hardware-Konfiguration übernommen. Anschließend wurden Datentypen angelegt, die die anfallenden Daten verarbeiten können. In einem Funktionsbaustein, der zyklisch aufgerufen wird, werden die Daten von den Ein-/Ausgängen in die dafür geeigneten Datenbausteine gespeichert und für andere Stationen zur Verfügung gestellt.

Analog dazu wurde eine Verbindung zum QR-Codescanner hergestellt, wobei hier eine Trigger-Funktion innerhalb des Funktionsbausteins realisiert wurde. Nun wird, sobald das Bauteil platziert und der Cobot in Ausgangsposition ist, vom Roboter eine Flag gesetzt. Diese Flag triggert den Scanner, der anschließend den Code-Inhalt zur Verfügung stellt.

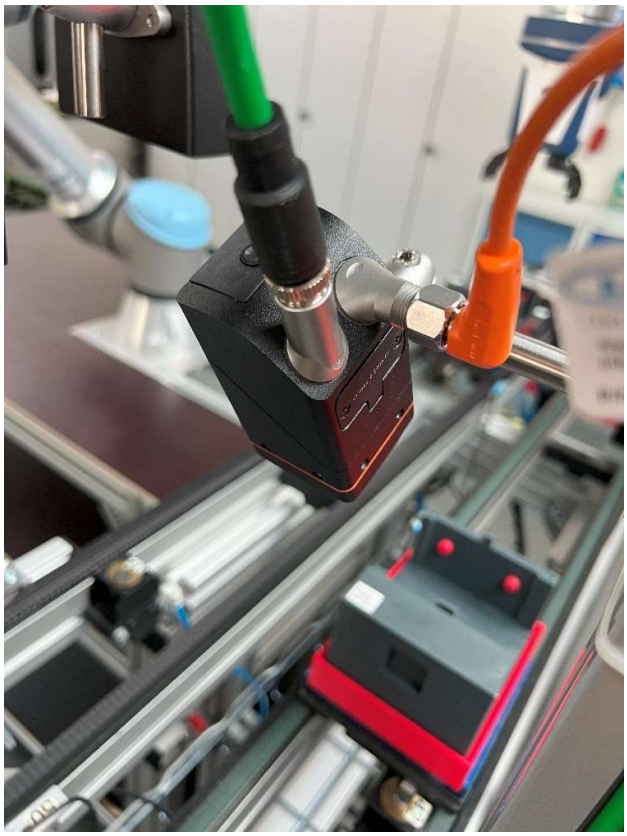


Abbildung 23: Anschlussleitungen des QR-Codereaders

5.7 Programmierung

Da innerhalb der SPS keine komplexen Aufgaben implementiert werden, ist die Übersicht und Verständlichkeit in FUP am besten. Ähnlich wie schon bei der Entscheidung zwischen UR-Interface und dem Script, war dies ausschlaggebend, vor allem in Anbetracht der Tatsache, dass weitere Studierenden-Teams folgen werden, die sich in den Code einarbeiten müssen. Dies ist der Grund, warum sämtliche Funktionsbausteine in FUP realisiert wurden.

Um die Funktion der folgenden Station gewährleisten zu können, dürfen sich keine Bauteile anstauen. Darum wurde auf der SPS ein Funktionsbaustein implementiert, der eine Flag setzt, sobald das letzte Bauteil von der folgenden Station bearbeitet wurde, dann erst darf der Cobot das nächste Bauteil abschicken.

Weiterhin werden im Zuge des Condition Monitoring viele zusätzliche Daten benötigt, die in einem entsprechenden Baustein zur Verfügung gestellt werden. Beispielsweise wurde der jeweils zuletzt gescannte QR-Code auf dem Peak-Board der Produktionsanlage visualisiert.

5.8 Zuarbeit zu anderen Gruppen

Auf Anfrage anderer Gruppen hin wurden einige Software-bezogene Aufgaben, die nicht in den Aufgabenbereich der Station 004 fielen, bearbeitet. Hierbei handelte es sich vor allem um Aufgaben, die im TIA-Projekt der Gesamtanlage angesiedelt waren. Beispielsweise wurde die Ansteuerung der Schütze für die Motorsteuerung wie auch die Freigabesteuerung für die Pneumatik des Transportsystems realisiert.

Auch die gesamte Einbindung der Station 005, sprich erstellen der Profinet-Verbindung und Implementierung der Funktionsbausteine, wurde übernommen. Da diese Station auch einen UR-Cobot verwendete, ließen sich einige Parallelen erkennen, allerdings wurde im Gegensatz zu dieser Station der Cobot nicht von der UR-Oberfläche, sondern von einem Bin-Picking-System namens Mikado gesteuert. Dementsprechend war die Einbindung etwas aufwendiger.

6. Betriebsanleitung

6.1 Vorbereitung Technische Dokumentation CE-Kennzeichnung

Vor der offiziellen Inbetriebnahme einer Produktionsanlage ist eine CE-Zertifizierung erforderlich. Diese soll im Rahmen einer zukünftigen Studienarbeit umgesetzt werden.

Die dafür notwendige Technische Dokumentation soll in diesem Kapitel vorbereitet werden. Neben einer Betriebsanleitung sollten unter anderem die angewandten Normen, technische Zeichnungen, die Einbauerklärung bzw. EU/EG-Konformitätserklärung der verwendeten unvollständigen Maschinen (zugekaufte Teile), eine eigene EG-Konformitätserklärung, sowie die Dokumentation der Risikoanalyse enthalten sein.

Die Konformitätserklärungen der unvollständigen Maschinen, in unserem Fall Universal Robots – UR5E und Schunk Greifer – Co-act EGP-C, sowie technische Zeichnungen und Vorlagen zur EG-Konformität befinden sich im Anhang. Weiterhin wurden sämtliche CAD-Modelle im Netzwerk des PTZ gespeichert.

Um eine Betriebsanleitung im Sinne des ProdSG §3 (2) bzw. (4) mit den nötigen Warnungen und Sicherheitshinweisen erstellen zu können wäre die fertige Risikoanalyse notwendig. Darum beschränkt sich die hier aufgeführte Betriebsanleitung auf die Funktions- und Bedienhinweise. Warnungen werden ausdrücklich nicht betrachtet und müssen, je nach Notwendigkeit ergänzt werden.

6.2 Inbetriebnahme

Vor der Inbetriebnahme sind sämtliche Verbindungen zur Zukunftsfabrik Bodensee zu überprüfen. Hierzu gehören einerseits die mechanische Verbindung bestehend aus vier Spannschnallen (vgl. Abbildung 22),



Abbildung 24: Spannschnallen

sowie die elektrische Verbindung bestehend aus einer Ethernetleitung und einer 230V Spannungsversorgung, Abb. 25 und 26

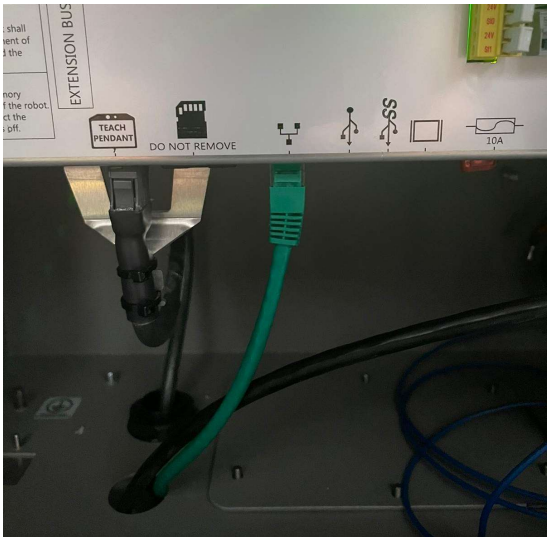


Abbildung 25: Ethernet Anschluss

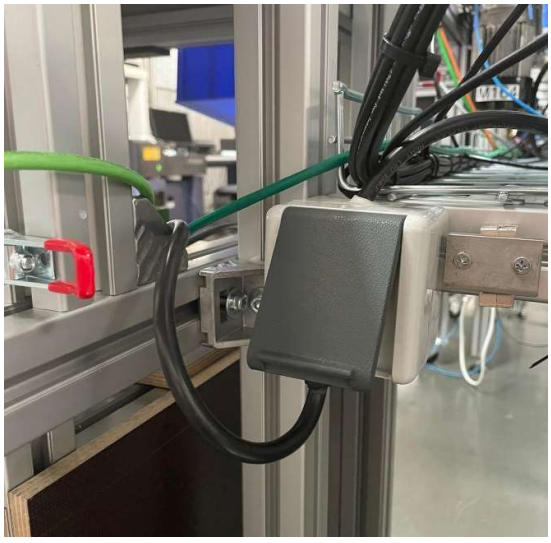


Abbildung 26: Spannungsanschluss

Weiterhin sollte sichergestellt werden, dass der korrekte Greifer, (vgl. Abbildung 27) sowie der korrekte Aufbau mit der gefüllten Rohteilpalette, montiert sind (vgl. Abbildung 28). Hierbei ist auch auf die Orientierung der Werkstückträger und Bauteile zu achten.



Abbildung 27: korrekt montierter Greifer

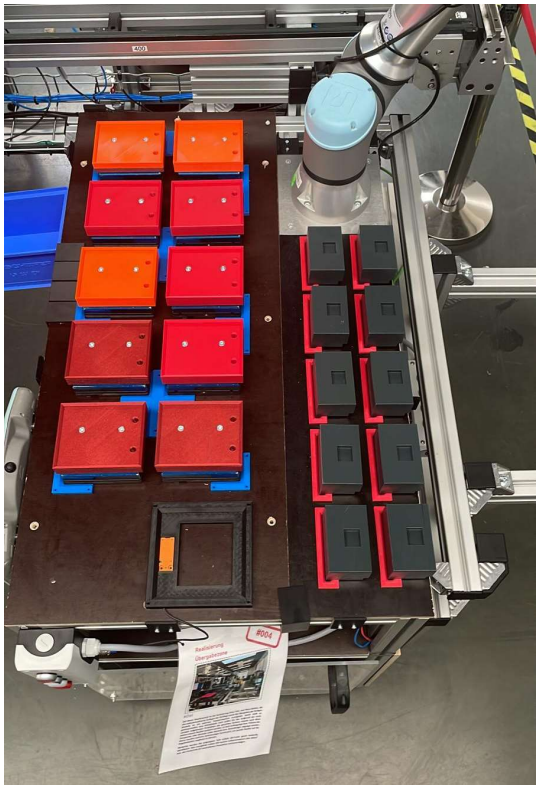


Abbildung 28: Aufbau Bauteilträger- und Rohteillager in korrekter Orientierung

Hierzu müssen ggf. die Klammern gelöst und der korrekte Aufbau eingelegt und mit den Schnallen gesichert werden. Anschließend ist die Verbindung zur Sensorik mittels Harting-Stecker und Stecker am Eaton-Gehäuse der seitlich montierten Bedieneinheit, herzustellen.

6.3 Bedienung

Zum Starten der Anlage ist zunächst der Roboter hochzufahren und anschließend das passende Programm auszuwählen. Drücken Sie dazu auf die Schaltfläche: Öffnen -> Programm -> Produktionsnetz_Stat_1 -> Zukunftsfabrik_stat4.urp Das Programm wird nun geladen und ist zum Abspielen bereit.

Bevor es gestartet werden darf, muss die Anlage in ihre Ausgangsposition gebracht werden, sprich das gesamte Bauteillager muss befüllt werden, vgl. Abbildung 28, hierbei ist auf die Orientierung der Träger zu achten.

Das Rohteilmagazin muss gefüllt und mit Klammer gesichert sein (vgl. Abbildung 29).

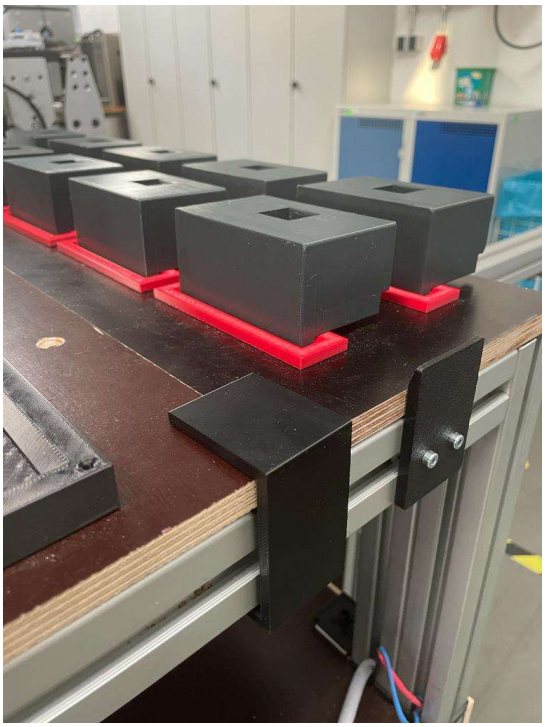


Abbildung 29: Rohteilmagazin mit Sicherungsklammer

Anschließend kann das Programm durch Betätigen der Play-Schaltfläche gestartet werden. Der Roboter initialisiert nun sämtliche Werte und möchte auf die Startposition gefahren werden. Halten Sie dazu die Move-to-Startpos Taste gedrückt bis das Ziel erreicht ist und achten sie darauf, dass keine Kollision entsteht. Erst wenn die Startposition erreicht ist, können Kollisionen im Regulär-Betrieb ausgeschlossen werden. Durch Bestätigen der Starttaste wird nun der vollautomatische Betrieb gestartet.

Achtung: der Roboter kann sich ab jetzt jederzeit ohne Vorwarnung bewegen.

7. Troubleshooting

Zum Einfügen in die Betriebsanleitung aber auch für die Unterstützung der nachfolgenden Gruppen wurde ein “FAQ” erstellt.

Problem	Lösungsvorschlag
Der Roboter bootet nicht	Spannungsversorgung überprüfen
Das Programm läuft, der Roboter bewegt sich aber nicht	Nothalt und Prozess_aktiv Variablen der SPS überprüfen, ggf. wird das Anfahren des Roboters von anderen Anlagenteilen blockiert Läuft das Band? Der Roboter darf nur laufen, wenn das Band läuft Ist eine Meldung auf dem Teachpendant zu sehen? Gibt es noch Aufgaben, die der Roboter erledigen kann?
Der Roboter kollidiert aufgrund des Greifers oder greift nicht, obwohl er greifen sollte (Greifer reagiert nicht)	Am Kabel oben direkt am Greifer rütteln, manchmal besteht ein Wackelkontakt Ausgänge des Controllers überprüfen (E/A Funktion am Touchpanel)
Der Roboter legt einen Bauteilträger auf, aber kein Rohteil	Wird die Freigabe von der Binpicking Station erteilt?
Die Profinet-Verbindung leuchtet nicht grün, nur gelb	Ist die IP-Adresse korrekt eingestellt? Kabel überprüfen
Der Roboter fährt an die falsche Stelle einer Palette	Ausgangszustand herstellen (Vgl. Abbildung 28) und Programm neu starten Palleten-Variablen beobachten (Variablen Funktion am Touchpanel)
Der Bauteilträger wird unpräzise abgelegt und fährt direkt weiter	Roboter wurde vermutlich vom Huskey verschoben. Entweder Position im Programm ändern oder gesamten Aufbau mit Roboter zurückschieben

8. Fazit und Ausblick

Nach Beendigung der zweiten Projektphase ist das Produktionssystem erfolgreich in Betrieb gegangen und kann aus technischer Sicht die geforderten Werkstücke produzieren. Um das ganze System auch sicher betreiben zu können bedarf es allerdings noch weiterer Schritte. Als erstes müsste eine vollständige elektrische Prüfung der Anlage durchgeführt werden. Für diese fehlen aber noch einige Aspekte, wie zum Beispiel eine vollständige Dokumentation oder auch ein redundantes Not-Aus-System.

Aus sicherheitstechnischer Sicht wären eine Risikoanalyse sowie eine detaillierte Bedienungsanleitung auch dringend erforderlich.

Ansonsten gibt es noch einige offene Themen, was die Vernetzung mit dem Transportfahrzeug angeht. Dieses fährt aktuell noch per Fernbedienung und nicht, wie ursprünglich geplant, autonom. Auch der Parkbereich des Transportfahrzeuges an der Übergabestation kann noch weiter an das Fahrzeug angepasst werden.

Natürlich gibt es auch einen Optimierungsbedarf der gesamten Ablaufsteuerung, da diese in der jetzigen, ersten Version, lediglich auf Funktion und nicht auf Umlaufzeit oder Effizienz ausgelegt ist. Später soll das gesamte System auch den Demontagezyklus des Produktes bewerkstelligen, was auch noch mal ein großes Maß an Entwicklungsarbeit mit sich bringt.

Abschließend bleibt zu sagen, dass in einer halbjährigen Projektzeit das geforderte Ergebnis, ein funktionierendes Bandsystem zu implementieren, gelungen ist. Durch etliche Abstimmungsrunden und flexible Stationsanpassung bis kurz vor Start of Production, ist es gelungen das Gesamtprojekt durch das enge Zusammenwirken aller Beteiligten zu einem erfolgreichen Ende zu bringen und zukünftigen Projektarbeiten eine solide Grundlage zur Weiterarbeit zu liefern. Klicken Sie hier, um Text einzugeben.

9. Quellen

ADT Zielke (2016): Technische Dokumentation für die CE-Kennzeichnung. Hg. v. ADT Zielke. Hamburg. Online verfügbar unter https://adt-zielke.com/technische-dokumentation-fuer-die-ce-kennzeichnung.

Heimbold, Tilo (2015): Einführung in die Automatisierungstechnik. Automatisierungssysteme, Komponenten, Projektierung und Planung ; mit 43 Tabellen. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl.

Heinrich, Berthold; Linke, Petra; Glöckler, Michael (2015a): Grundlagen Automatisierung. Sensorik, Regelung, Steuerung. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch).

Heinrich, Berthold; Linke, Petra; Glöckler, Michael (2015b): Grundlagen Automatisierung. Sensorik, Regelung, Steuerung. Wiesbaden: Springer Vieweg (Lehrbuch).

IHK Koblenz (2021): Was ist eine EG/EU- Komformitätserklärung? Hg. v. IHK Koblenz. Koblenz. Online verfügbar unter https://www.ihk.de/koblenz/unternehmensservice/innovation-und-technologieberatung/innovation-1359/konformitaetserklaerung/eg-konformitaetserklaerung-3327820.

Kamiske, Gerd F.; Brauer, Jörg-Peter (2011): Qualitätsmanagement von A bis Z. Wichtige Begriffe des Qualitätsmanagements und ihre Bedeutung. 7., aktualisierte und erweiterte Auflage. München, Wien: Hanser.

Lambert, Miklós (1991): Grundlagen der Sensortechnik. Aachen: Elektor-Verl.

Seitz, Matthias (2021): Speicherprogrammierbare Steuerungen in der Industrie 4.0. Objektorientierter System- und Programmentwurf, Motion Control, Sicherheit, Industrial IoT. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).

10. Bildquellen

Abbildung 1 - 8:	Robin Simanowski / Jeffrey Rose (Produktionsnetzwerk PTZ)
Abbildung 9:	https://www.wissenschaft.de/technik-digitales/3d-druck-moeglichkeiten-grenzen-zukunftsvisionen/
Abbildung 10 – 29:	Robin Simanowski / Jeffrey Rose (Produktionsnetzwerk PTZ)

Sämtliche Bilder und Grafiken, abgesehen von Abbildung 9; sind im Rahmen dieser Arbeit entstanden und sind auf die Quelle: Robin Simanowski / Jeffrey Rose (Produktionsnetzwerk PTZ) zurückzuführen.

11. Anhang

Zertifikat
Nr. **HM 220154**
vom 05.09.2022

DGUV Test
Prüf- und Zertifizierungsstelle
Fachbereich Holz und Metall

DGUV Test Zertifikat

Name und Anschrift des Zertifikatsinhabers: (Auftraggeber)	Schunk GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik Bahnhofstr. 106-134 74348 Lauffen/Neckar
Produktbezeichnung:	**Greifer geeignet für den kollaborierenden Betrieb, gewährleistet durch eine sichere Strombegrenzung.**
Typ:	Co-act EGP-C- 25 Co-act EGP-C- 40 Co-act EGP-C- 50 Co-act EGP-C- 64
Prüfgrundlage:	GS-HM-20:2022-03 Industrieroboter
Zugehöriger Prüfbericht:	2022-0031 vom 24.08.2022
Weitere Angaben:	In der Applikation sind die biomechanischen Grenzwerte gemäß ISO TS 15066 einzuhalten. Nachfolgebescheinigung zu Nr. MF 18007 vom 18.05.2018

Das geprüfte Baumuster stimmt mit den in § 3 Absatz 1 des Produktsicherheitsgesetzes genannten Anforderungen überein. Das Baumuster entspricht somit auch den einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 2006/42/EG **(Maschinen)**. Der Zertifikatsinhaber ist berechtigt, das umseitig abgebildete DGUV Test-Zeichen an den mit dem geprüften Baumuster übereinstimmenden Produkten anzubringen.

Dieses Zertifikat einschließlich der Berechtigung zur Anbringung des DGUV Test-Zeichens ist gültig bis: **04.09.2027**
Weiteres über die Gültigkeit, eine Gültigkeitsverlängerung und andere Bedingungen regelt die Prüf- und Zertifizierungsordnung.

Dipl.-Ing. Jan Stegmann
Leiter Zertifizierung

PZB09MA 04.17

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) e.V.
Spitzenverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften und der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand
Vereinsregister-Nr. VR 751 B, Amtsgericht Charlottenburg

DGUV Test Prüf- und Zertifizierungsstelle
Fachbereich Holz und Metall
Isaac-Fulda-Allee 18 • 55124 Mainz • Deutschland
Telefon: +49 6131 802-14 293 • Fax: +49 6131 802-24 293

Rückseite DGUV Test Zertifikat HM 220154

DGUV Test Zeichen



EG-Konformitätserklärung [A]

gemäß der EG-Maschinen-Richtlinie 2006/42/EG vom 17. Mai 2006, Anhang II A

Hiermit erklären wir, dass die nachstehend bezeichnete Maschine in ihrer Konzeption und Bauart sowie in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der EG-Richtlinie 2006/42/EG entspricht. Bei einer mit uns nicht abgestimmten Änderung der Maschine verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit.

Hersteller[1] :
Hersteller GmbH
Herstellerstraße 65
27635 Stadt

Bevollmächtigter (Sitz in der EU):
Bevollmächtigte GmbH
Bevollmächtigtestrasse 65
12345 Stadt

Beschreibung und Identifizierung der Maschine:

- Funktion:
- Typ/Modell :
- Seriennummer:
- Baujahr:

Es wird die Übereinstimmung mit weiteren, ebenfalls für das Produkt geltenden Richtlinien/Bestimmungen erklärt (*Beispiele geltender Richtlinien*):

- EG- Druckgeräte-Richtlinie 2014/68/EU vom 15. Mai 2014
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU vom 26. Februar 2014

Angewandte harmonisierte Normen insbesondere (*Beispiel geltender Normen*):

- DIN EN 12100:2011-03 Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze, Grundsätzliche Terminologie, Methodik, Risikobeurteilung
- DIN EN 60204-1:2014-10 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstungen von Maschinen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 13849-1:2016-06 Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen

Angewandte sonstige technische Normen und Spezifikationen[2]:

Benannte Stelle des EG-Baumusterprüfverfahrens nach Anhang IX:
(Name, Anschrift und Kennnummer; Nummer der Prüfbescheinigung)

Benannte Stelle für Prüfung QS-System nach Anhang X:
(Name, Anschrift und Kennnummer)

Bevollmächtigter für die Technische Dokumentation:
(Name; Anschrift)[3]
Ort/Datum:

Angabe zur Person des bevollmächtigten Unterzeichners:
(Name, Position)

Unterschrift:

[A] Diese Erklärung ist in derselben Sprache abzufassen wie die Originalbedienungsanleitung; maschinen-schriftlich oder in Druckbuchstaben. Eine Übersetzung in die Landessprache muss beigefügt sein. 1) Vollständige Anschrift des Herstellers; bei in der EU niedergelassenen Bevollmächtigten ebenfalls vollständige Anschrift des Herstellers 2) Sofern noch keine entsprechenden harmonisierten Normen vorliegen. 3) Muss in der Gemeinschaft ansässig sein

EG-Konformitätserklärung (XXX) [1)]

gemäß der EU-Richtlinie 2014/30/EU (elektromagnetische Verträglichkeit) vom 26. Februar 2014

Hiermit erklären wir, dass das nachstehend bezeichnete Gerät in seiner Konzeption und Bauart sowie in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der EU-Richtlinie 2014/30/EU entspricht. Bei einer mit uns nicht abgestimmten Änderung des Gerätes verliert diese Erklärung ihre Gültigkeit.

Hersteller:[2)] Muster GmbH,
Musterstraße 65
D-27635 Musterstadt

Bevollmächtigter:[3)] (*Name und Anschrift*)

Die alleinige Verantwortung für die Ausstellung dieser Konformitätserklärung trägt der Hersteller.

Beschreibung des Gerätes:

- Typbezeichnung :.....
- Seriennummer:.....
- Baureihe:.....

Gegenstand der Erklärung (Bezeichnung des Geräts zwecks Rückverfolgbarkeit; dazu kann eine hinreichend deutliche Farbabbildung gehören, wenn dies zur Identifikation des Geräts notwendig ist)

Es wird die Übereinstimmung mit weiteren, ebenfalls für das Produkt geltenden EG-Richtlinien erklärt:

- *EU- Richtlinie (LVD) (2014/35/EU) vom 26. Februar 2014 (Beispiel)*
- *EU-Richtlinie (RoHS2) 2011/65/EU vom 8. Juni 2011 (Beispiel)*
- *EU-Richtlinie (Öko-Design, ERP) 2009/25/EG vom 21. Oktober 2009 (Beispiel)*

harmonisierten Normen, die zugrunde gelegt wurden, einschließlich des Datums der Norm:

Angewandte weitere Spezifikationen:

Gegebenenfalls: Die notifizierte Stelle … (*Name, Kennnummer*) … hat … (*Beschreibung ihrer Maßnahme*) … und folgende Bescheinigung ausgestellt: ….

Ort und Datum der Ausstellung:.....

Name des Unterzeichners:.....

Funktion des Unterzeichners:.....

Unterschrift:.....

1)Der Hersteller kann auf freiwilliger Basis der Konformitätserklärung eine Nummer zuteilen.
2) Vollständige Anschrift des Herstellers;
3) Bei Sitz des Herstellers **nicht** innerhalb der EU; gegebenenfalls die vollständige Anschrift des in der EU niedergelassenen Bevollmächtigten

EG-Einbauerklärung [(A)]

gemäß der EG-Maschinen-Richtlinie 2006/42/EG vom 17. Mai 2006, Anhang II B

Hiermit erklären wir, dass die nachstehend bezeichnete Maschine in ihrer Konzeption und Bauart sowie in der von uns in Verkehr gebrachten Ausführung den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der EG-Richtlinie 2006/42/EG entspricht. Die Maschinenkomponente darf erst dann in Betrieb genommen werden, wenn festgestellt wurde, dass die Maschine, in die die Maschinenkomponente eingebaut werden soll, den Bestimmungen der Richtlinie (2006/42/EG) entspricht.

Hersteller:[1]
Muster GmbH
Musterstraße 65
27635 Musterstadt

Bevollmächtigter mit Sitz in der EU:
Bevollmächtigte GmbH
Bevollmächtigtestrasse 66
12345 Stadt

Beschreibung und Identifizierung der Maschine:

- Funktion:
- Typ/Modell :
- Seriennummer:
- Baujahr:

Es wird die Übereinstimmung mit weiteren, ebenfalls für das Produkt geltenden Richtlinien/Bestimmungen erklärt (*Beispiele weiteren relevanten Richtlinien*):

- EG- Druckgeräte-Richtlinie 2014/68/EU vom 15. Mai 2014
- EMV-Richtlinie 2014/30/EU vom 26. Februar 2014

Angewandte harmonisierte Normen insbesondere (*Beispiele von Normen*):

- DIN EN 12100:2011-03 Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze: Grundsätzliche Terminologie, Methodik, Risikobeurteilung
- DIN EN 60204-1:2014-10 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstungen von Maschinen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- DIN EN ISO 13849-1:2016-06 Sicherheit von Maschinen- Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen

Angewandte sonstige Normen und technische Spezifikationen[2]:

Wir erklären weiterhin, dass die speziellen technischen Unterlagen für diese unvollständige Maschine nach Anhang VII, Teil B erstellt wurden und verpflichten uns, diese auf Verlangen über unsere <*Konstruktionsleitung*>[4]) den Marktaufsichtsbehörden zu übermitteln.

Bevollmächtigter für die Technische Dokumentation:
(Name; Anschrift)[3]

Ort/Datum:

Angabe zur Person des bevollmächtigten Unterzeichners:
(Name, Position)

Unterschrift:

[(A)] Diese Erklärung ist in derselben Sprache abzufassen wie die Originalbedienungsanleitung; maschinen-schriftlich oder in Druckbuchstaben. Eine Übersetzung in die Landessprache muss beigefügt sein. [1)] Vollständige Anschrift des Herstellers; bei in der EU niedergelassenen Bevollmächtigten ebenfalls vollständige Anschrift des Herstellers [2)] Sofern noch keine entsprechenden harmonisierten Normen vorliegen. [3)] Muss in der Gemeinschaft ansässig sein [4)] ist nur als Beispiel anzusehen

UNIVERSAL ROBOTS

EU Einbauerklärung des Herstellers *(gemäß 2006/42/EC Annex II B)* *de (übersetzung des EN Originals)*

Hersteller	Person der Gemeinschaft, die für die Zusammenstellung der technischen Datei autorisiert ist
Universal Robots A/S Energivej 25 DK-5260 Odense S Denmark	**David Brandt** Technology Officer, R&D Universal Robots A/S, Energivej 25, DK-5260 Odense S

Description and Identification of the Partly-Completed Machine(s):

Beschreibung und Identifizierung der teilweise fertiggestellten Maschine(n) Produkt und Funktion	**Industrieroboter** *(mehrachsiger Manipulator mit Control-Box und Teach-Pendant).* Die Funktion wird durch die fertige Maschine (mit Anbaugerät und Verwendungszweck) bestimmt. *Zertifizierungen und diese Erklärung umfassen:* *Gültig ab Oktober 2020: StandardTeach Pendant (TP) und Teach Pendant mitdreistufigem Zustimmtaster (3PE TP)* *Gültig ab Mai 2021: UR10e Spezifikationsverbesserung zu 12.5kg Nutzlast*
Modell	**UR3e, UR5e, UR10e, UR16e** (e-Series)
Seriennummer	**Starting 2021 5 0 00000 and higher** *year* — *e-Series* *Sequential numbering, restarting at 0 each year* *3 = UR3e, 5 = UR5e, 0 = UR10e, 2 = UR10e mit 12.5kg Nutzlast, 6 = UR16e*
Einbauerklärung	**Die Universal Robots UR3e, UR5e, UR10e und UR16e dürfen erst dann in Betrieb genommen werden, wenn sie in eine endgültige vollständige Maschine (Robotersystem, Zelle oder Anwendung) integriert sind, die den Bestimmungen der Maschinenrichtlinie und anderer anwendbarer Richtlinien entspricht.**

Es wird erklärt, dass obenstehende Produkte entsprechend der Lieferung die unten ausgeführten Richtlinien erfüllen:

Wenn diese unvollständige Maschine integriert ist und zu einer vollständigen Maschine wird, ist der Integrator dafür verantwortlich, festzustellen, ob die fertige Maschine alle geltenden Richtlinien erfüllt, und die harmonisierten und anderen Normen zu aktualisieren.

I. Maschinenrichtlinie 2006/42/EC	**Die folgenden wesentlichen Anforderungen sind erfüllt:** 1.1.2, 1.1.3, 1.1.5, 1.2.1, 1.2.4.3, 1.2.5, 1.2.6, 1.3.2, 1.3.4, 1.3.8.1, 1.3.9, 1.5.1, 1.5.2, 1.5.5, 1.5.6, 1.5.10, 1.6.3, 1.7.2, 1.7.4, 4.1.2.3, 4.1.3 Es wird erklärt, dass die relevante technische Dokumentation in Übereinstimmung mit Teil B des Anhangs VII der Maschinenrichtlinie erstellt worden ist.
II. Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU	Verweis auf die Niederspannungsrichtlinie und die verwendeten harmonisierten Normen weiter unten.
III. EMC-Richtlinie 2014/30/EU	Verweis auf die Niederspannungsrichtlinie und die verwendeten harmonisierten Normen weiter unten.
IV. RoHS-Richtlinie 2017/2102/EU	Siehe die RoHS-Richtlinie.
V. WEEE-Richtlinie 2019/2193/EU	Siehe die WEEE-Richtlinie.

Die folgenden harmonisierten Normen wurden gemäß Artikel 7 Absatz 2 der MD & LV-Richtlinien und Artikel 6 der EMV-Richtlinie verwendet:

(I) EN ISO 10218-1:2011 *TÜV Nord Certificate # 44 708 14097607*	**(I)** EN ISO 14118:2018	**(III)** EN 61000-3-3: 2013
(I) EN ISO 13732-1:2008	**(I)** EN 60204-1:2018	**(III)** EN 61000-6-1:2019
(I) EN ISO 13849-1:2015 *TÜV Nord Certificate # 44 207 14097610*	**(II)** EN 60320-1:2015+AC:2016	**(III)** EN 61000-6-2:2019
(I) EN ISO 13849-2:2012	**(II)** EN 60529:1991+A1:2000+A2:2013	**(III)** EN 61000-6-3:2007+A1: 2011
(I) EN ISO 13850:2015	**(I)** EN 60947-5-5:1997+A1:2005 +A11:2013+A2:2017	**(III)** EN 61000-6-4:2019
	(III) EN 61000-3-2:2019	**(II)** EN 61131-2:2007
		(II) EN 61140:2016

Andere verwendete technische Standards und technische Spezifikationen:

(I) ISO 9409-1:2004 *[Type 50-4-M6]*	**(III)** EN 60068-2-64:2008+A1:2019	**(III)** EN 61326-3-1: 2017 *[Industrielle Nutzung SIL 2]*
(I) ISO/TS 15066 *soweit anwendbar*	**(II)** EN 60664-1:2007	ISO 14644-1:2015 *[Reinraum Klasse 6 für Steuerungsbaugruppe mit Gehäuse und Klasse 5 für UR3e, UR5e,UR10e und UR16e Manipulatoren]*
(III) EN 60068-2-1: 2007	**(II)** EN 60664-5:2007	
(III) EN 60068-2-2:2007	**(I)** EN 60947-5-8:2020	
(III) EN 60068-2-27:2008	**(II)** EN 61784-3:2010 *[SIL2]*	

Der Hersteller oder sein autorisierter Vertreter muss auf begründetes Verlangen der nationalen Behörden einschlägige Informationen über die unvollständige Maschine übermitteln.

Genehmigung einer umfassenden Qualitätsmanagementnorm (ISO 9001) durch die benannte Stelle Bureau Veritas, Zertifizierung #DK013489.

Odense Denmark, 16 Feb 2023

Roberta Nelson Shea, Global Technical Compliance Officer

Universal Robots A/S, Energivej 25, DK-5260 Odense S, Denmark
CVR-nr. 29 13 80 60
Phone +45 8993 8989
Fax +45 3879 8989
info@universal-robots.com
www.universal-robots.com

UNIVERSAL ROBOTS

EU Declaration of Incorporation (DOI) *(in accordance with 2006/42/EC Annex II B)* *original EN*

Manufacturer:	**Person in the Community Authorized to Compile the Technical File:**
Universal Robots A/S Energivej 25 DK-5260 Odense S Denmark	**David Brandt** Technology Officer, R&D Universal Robots A/S, Energivej 25, DK-5260 Odense S

Description and Identification of the Partially-Completed Machine(s):

Product and Function:	**Industrial robot** *(multi-axis manipulator with AC or DC powered OEM controller)* Function is determined by the completed machine (with end-effector and intended use). Below cited documents and this declaration include: *Effective October 2020: Teach Pendants with 3-Position Enabling (3PE TP) & standard Teach Pendants.* *Effective May 2021: UR10e specification improvement to 12.5kg maximum payload.*
Model:	**e-Series robots with either AC or DC OEM controllers:** **UR3e OEM AC, UR5e OEM AC, UR10e OEM AC, UR16e OEM AC** **UR3e OEM DC, UR5e OEM DC, UR10e OEM DC, UR16e OEM DC**
Serial Number:	**Starting 2019 5 0 00000 and higher** *Effective 1 May 2021* *year* / *e-Series* — *Sequential numbering, restarting at 0 each year* *3 = UR3e, 5 = UR5e, 0 = UR10e (10kg payload), 2 = UR10e (12.5kg payload), 6 = UR16e*
Incorporation:	**Universal Robots e-Series OEM robots (UR3e, UR5e, UR10e and UR16e) shall only be put into service upon being integrated into a final complete machine (robot system, cell or application), which conforms with the provisions of the Machinery Directive and other applicable Directives.**

It is declared that the above products, for what is supplied, fulfil the following directives as detailed below:
When this incomplete machine is integrated and becomes a complete machine, the integrator is responsible for determining that completed machine fulfils all applicable Directives and update the harmonized and other standards.

I. Machinery Directive 2006/42/EC	**The following essential requirements have been fulfilled:** 1.1.2, 1.1.3, 1.1.5, 1.2.6, 1.3.4, 1.3.8.1, 1.5.2, 1.5.10, 1.7.2, 1.7.4, 4.1.2.3 It is declared that the relevant technical documentation has been compiled in accordance with Part B of Annex VII of the Machinery Directive.
II. Low-voltage Directive 2014/35/EU	Reference the Low-voltage Directive.
III. EMC Directive 2014/30/EU	Reference the EMC Directive.
IV. RoHS Directive 2011/65/EU	Reference the RoHS Directive 2011/65/EU.
V. WEEE Directive 2012/19/EU	Reference the WEEE Directive 2012/19/EU

Reference the Harmonized Standards Used, as Referred to in Article 7(2) of the MD & LV Directives and Article 6 of the EMC Directive:

(I) EN ISO 13732-1:2008, *as applicable*	**(II)** EN 60204-1:2006/ A1:2010, *as applicable*	**(II)** EN 60320-1:2001/ A1:2007 **(II)** EN 61140:2002/ A1:2006

Reference to Other Technical Standards and Specifications Used:

(I) ISO 9409-1:2004	**(II)** EN 60664-1:2007 **(II)** IEC 60664-5:2007	**(II)** IEC 61784-3:2010 *[SIL2]* ISO 14644-1:2015

The manufacturer, or his authorised representative, shall transmit relevant information about the partly completed machinery in response to a reasoned request by the national authorities.

Approval of full quality assurance system (ISO 9001), by the notified body Bureau Veritas, certificate #DK008850.

Odense Denmark, 16 Feb 2023

Roberta Nelson Shea, Global Technical Compliance Officer

Universal Robots A/S, Energivej 25, DK-5260 Odense S, Denmark
CVR-nr. 29 13 80 60
Phone +45 8993 8989
Fax +45 3879 8989
info@universal-robots.com
www.universal-robots.com