DHBW
Duale Hochschule
Baden-Württemberg

DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen
Studiengang Elektrotechnik – Automation TEA22

Studienarbeit T3200 zum Thema

Qualitätsprüfung in der Demontage mit Hilfe eines Kamerasystems

---

von

Patrick Buschek & Viktor Golovchenko

Bearbeitungszeitraum:	KW 15 / 2025 bis KW 29 / 2025
Abgabedatum:	14.07.2025
Matrikelnummer:	3455119 / 7142148
Betreuer:	M. Art. Edvin Hamzić

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.

Wir versichern hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit mit dem Thema:

Qualitätsprüfung in der Demontage mit Hilfe eines Kamerasystems

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet haben und diese Arbeit bei keiner anderen Prüfung mit gleichem oder vergleichbarem Inhalt vorgelegt haben und diese bislang nicht veröffentlich wurde.

Loßburg, den 11.07.2025

P.Buschek, V.Golovchenko

Patrick Buschek, Viktor Golovchenko

Kurzfassung

Die vorliegende Studienarbeit baut auf der vorherigen Arbeit T3100 auf und beschäftigt sich mit der Integration und Inbetriebnahme eines Robotersystems in einer End-of-Line-Anwendung zur Qualitätsüberprüfung eines Demontageprozesses in einer industriellen Anlage. Dabei werden unter anderem die bereits vorhandenen Kamerafunktionen optimiert und an die spezifischen Anforderungen des Prozesses angepasst.
Nach einer Einführung, die in der Aufgabenstellung und Zielsetzung dargelegt werden, folgt ein Rückblick auf die vorherige Studienarbeit, die als Grundlage für die Analyse dient. Darauf aufbauend wird eine Anforderungsanalyse erstellt, welche sowohl die Anforderungen an das Projekt selbst als auch an die weiteren beteiligten Projektgruppen umfasst.
Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Definition und Anpassung des Prozesses sowie dessen praktischer Umsetzung. Zunächst werden grundlegende Prinzipien von Robotersystemen erläutert, gefolgt von einer Beschreibung des Aufbaus und der Funktionsweise von Industrierobotern. Besonderes Augenmerk gilt dem in der Anlage eingesetzten Robotersystem Universal Robots UR5e.
Die praktische Umsetzung beinhaltet den elektrischen Anschluss, die Vernetzung mit der SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung), sowie die Inbetriebnahme des Robotersystems. Darüber hinaus werden die Optimierung des Kamerasystems und die Inbetriebnahme der Gesamtanlage beschrieben.
Die Bewertung des Systems erfolgt anhand definierter Kriterien wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrationsfähigkeit. Abschließend werden die erzielten Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen im Rahmen einer zukünftigen Studienarbeit gegeben.

Abstract

This work deals with the integration and commissioning of a robotic system in an end-of-line application for quality inspection within a disassembly process in an industrial facility. It builds upon the previous study project T3100 and focuses, among other aspects, on optimising the existing camera functions and adapting them to the specific requirements of the process.

Following an introduction that outlines the task and objectives, the report provides a review of the prior study, which serves as a foundation for the subsequent analysis. Based on this, a requirements analysis is conducted, encompassing both the demands of the project itself and those of the additional project teams involved.

A further emphasis is placed on the definition and adaptation of the process, as well as its practical implementation. Fundamental principles of robotic systems are first explained, followed by a description of the structure and functionality of industrial robots. Particular attention is given to the robotic system used in the facility — the Universal Robots UR5e.

The practical implementation includes the electrical connection, networking with the PLC (programmable logic controller), and the commissioning of the robotic system. Furthermore, the optimisation of the camera system and the commissioning of the overall installation are described.

The system is evaluated based on defined criteria such as accuracy, reliability, and integrability. Finally, the results achieved are summarised, and a perspective is provided on potential future developments within the scope of a subsequent study project.

Inhaltsverzeichnis

ERKLÄRUNG ..... **II**

KURZFASSUNG ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

INHALTSVERZEICHNIS ..... **V**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS ..... **VI**

TABELLENVERZEICHNIS ..... **VII**

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS ..... **VIII**

1. EINLEITUNG **1**

1.1. AUFGABENSTELLUNG 1

1.2. ZIELDEFINITION 1

2. BEZUGNAHME AUF DIE VORANGEGANGENE STUDIENARBEIT **2**

3. ANFORDERUNGSANALYSE **5**

4. DEFINITION UND ANPASSUNG DES PROZESSES **6**

5. KOMMUNIKATIONSSCHNITTSTELLEN **8**

6. ROBOT SYSTEME IM INDUSTRIELLEN UMFELD **9**

6.1. UNIVERSAL ROBOTS 12

6.2. ANSCHLUSS 14

6.3. DATENAUSTAUSCH SPS 15

6.4. INBETRIEBNAHME / PARAMETRIERUNG 17

7. WEITERENTWICKLUNG DER QUALITÄTSPRÜFUNG **21**

7.1. IDENTIFIKATIONSSYSTEM 22

7.2. BLITZBELEUCHTUNG 24

8. ERPROBUNG UND VALIDIERUNG **26**

8.1. ERPROBUNG DER ROBOTER-TEILPROGRAMME 26

8.2. VALIDIERUNG DER BLITZBELEUCHTUNG 26

8.3. KONTROLLE DER QR-CODE-ERKENNUNG 27

9. INBETRIEBNAHME DES GESAMTSYSTEMS **28**

10. BEWERTUNG **30**

11. FAZIT / AUSBLICK **31**

LITERATURVERZEICHNIS **33**

ANHANG **34**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Werkstücke mit abgebrochener Nase und beiden verstopften Taschen 2
Abbildung 2: Flussdiagramm des Prozesses 6
Abbildung 3: Einteilung von Handhabungsgeräten [1] 9
Abbildung 4: 6-Achs Roboter der Firma Kuka [1] 10
Abbildung 5: UR5e Roboter von Universal Robots [8] 12
Abbildung 6: Schnittstellen Spannungsversorgung 14
Abbildung 7: Steuerung UR-Robot 14
Abbildung 8: Anbindung UR-Roboter an die SPS 15
Abbildung 9: Einfügen der Ein- und Ausgabegruppen und Vergabe der IP-Adresse 16
Abbildung 10: Home Position des Roboters 17
Abbildung 11: Bauteil 1 gut in die Ablage 18
Abbildung 12: Bauteil 1 schlecht in die Kiste 18
Abbildung 13: Gutteilablage Bauteil 1 19
Abbildung 14: Gutteilablage Bauteil 2 19
Abbildung 15: Bauteil 2 schlecht in die Kiste 19
Abbildung 16: Bauteil 2 gut auf die Rollenbahn 19
Abbildung 17: Aufruf der Teilprogramme im Hauptprogramm 20
Abbildung 18: IFM Codeleser 22
Abbildung 19: Position der QR-Codes auf den Bauteilen 22
Abbildung 20: Integration der Identifikationsfunktion in uniVision3 23
Abbildung 21: Anschlussschema einer Wenglor-Beleuchtung im Trigger-Betrieb [7] 24
Abbildung 22: Anschluss von T-Verbindungskabel ZC4G003 25
Abbildung 23: Anschluss von Y-Verbindungskabel ZDCG004 25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Programmabläufe *18*
Tabelle 2: Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen *34*

Abkürzungsverzeichnis

GSDML	Generic Station Description Markup Language
EMS	Manufacturing Execution System
EoL	End of Line
QR-Code	Quick Response Code
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TCP	Tool Center Point
UR	Universal Robots
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Die vorliegende Studienarbeit baut auf den Ergebnissen der vorhergehenden Arbeit auf und beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung des bestehenden Automatisierungsprozesses im Bereich der Qualitätsprüfung in der Demontage an der Produktionsanlage der Zukunftsfabrik Bodensee. Im Fokus stehen dabei die Optimierung der Qualitätssicherung durch den Einsatz eines Robotersystems sowie der Weiterentwicklung der Qualitätsüberprüfung mit Hilfe einer Kamera.

1.1. Aufgabenstellung

Diese Studienarbeit beschäftigt sich, aufbauend auf der vorrausgegangen mit der Integration eines Kamerasystems und eines Roboters in eine bestehende Produktionsanlage. Dabei wird zunächst ein kurzer Überblick über die bereits erledigten Schritte der vorherigen Studienarbeit eingegangen. Anschließend werden die theoretischen Grundlagen zum vorhanden Robot-System der Firma Universal Robots beschrieben. Im nächsten Schritt wird die Einbindung des Robot-Systems in das Netzwerk der SPS und die Umsetzung des Montageprozesses mit Hilfe des Kamerasystems erläutert. Abschließend erfolgten die Erprobung und Validierung der Gesamtanlage in Verbindung mit anderen Projektgruppen.

1.2. Zieldefinition

Ziele der Studienarbeit „Qualitätsprüfung in der Demontage mit Hilfe eines Kamerasystems“:

- Umsetzung des Montageprozesses mit dem Kamerasystem
- Programmierung Roboter End of Line
- Einbindung Roboter End of Line in die definierten Prozesse
- Erprobung und Validierung des Systems
- Erstellen und Abgabe der Daten an den digitalen Zwilling

2. Bezugnahme auf die vorangegangene Studienarbeit

Die Zukunftsfabrik Bodensee als Lern- und Forschungsumgebung verfolgt ein Konzept der Kreislaufwirtschaft, bei dem Baugruppen und Komponenten möglichst wiederverwendet werden. In diesem Kontext besteht in der Montage und Demontage die Herausforderung, fehlerhafte Bauteile zu erkennen und aus dem Produktionskreislauf auszuschleusen, während intakte Bauteile dem Kreislauf wieder zugeführt werden. Vor diesem Hintergrund wurde in der vorangegangenen Studienarbeit die Integration eines Kamerasystems zur automatisierten Qualitätsprüfung im Demontageprozess untersucht und erfolgreich umgesetzt. Im Folgenden wird auf diese Vorarbeit Bezug genommen und dargelegt, welche offenen Punkte sich daraus ergeben haben und wie die aktuelle Arbeit darauf aufbaut.

In der vorherigen Studienarbeit stand die Einbindung der Smart-Kamera B60P203 von der Firma Wenglor in die bestehende Demontagelinie der Zukunftsfabrik Bodensee im Mittelpunkt. Die Kamera wurde an der Demontagestation mechanisch montiert und in das Steuerungskonzept der Produktionslinie integriert. Dabei erfolgten der elektrische Anschluss an die speicherprogrammierbare Steuerung[1] der Anlage sowie die Parametrierung und Kalibrierung des Kamerasystems mit Hilfe der Software Wenglor Uni-Vision. Die Kamera übernimmt die Bildaufnahme und -auswertung autonom und erkennt anhand vier definierter Merkmale (siehe Abbildung 1), ob ein demontiertes Bauteil wiederverwendbar (unbeschädigt) oder defekt ist.

Die Prüfergebnisse – also die Entscheidung Gutteil oder Schlechtteil – wurden in Echtzeit an die SPS übermittelt, sodass prinzipiell eine automatische Weiterverarbeitung dieser Information im Anlagenablauf möglich ist. Die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeit zeigten, dass das Kameraprüfsystem die Qualitätsmerkmale der Bauteile zuverlässig erkennen kann. Das System wurde nach Kriterien wie Genauigkeit der Detektion,

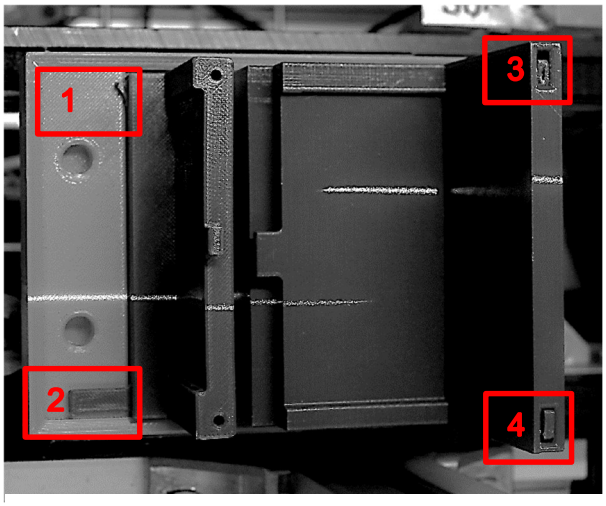


Abbildung 1: Werkstücke mit abgebrochener Nase und beiden verstopften Taschen

[1] Im Folgenden SPS genannt.

Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb und Integrationsfähigkeit in die bestehende Anlagenumgebung bewertet. Es konnte demonstriert werden, dass die Kamera in der Lage ist, die definierten Werkstückfehler mit einer Trefferquote bis auf hundert Prozent zu identifizieren. Zudem ließ sich das Kamerasystem nahtlos in die Steuerungsarchitektur der Zukunftsfabrik einbinden, wodurch die Grundlage für eine weitergehende Automatisierung geschaffen wurde. Insgesamt bestätigten die Resultate der ersten Studienarbeit das Potenzial eines kamerabasierten Prüfsystems für die Demontagequalität – jedoch traten auch Grenzen und offene Punkte zutage, die in der aktuellen Fortsetzung adressiert werden.

Ein wesentlicher offener Punkt betraf die physische Umsetzung der Prüfentscheidungen. Zwar wurden die Kameraergebnisse erfolgreich an die SPS gemeldet, allerdings fehlte in der ersten Projektphase eine Anbindung eines Handhabungs- oder Robotersystems, um basierend auf diesen Prüfergebnissen auch tatsächlich automatisiert zu sortieren. Mit anderen Worten: es war nach der Kameraprüfung noch kein automatischer Mechanismus vorhanden, der ein als schlecht bewertetes Bauteil aus dem Materialfluss entfernt bzw. ein gutes Bauteil zurück in den Produktionskreislauf befördert. Die Aussortierung fehlerhafter Komponenten erfolgte bislang allenfalls manuell oder provisorisch. Dies wurde in der Vorarbeit als entscheidende Ausbaustufe identifiziert, um den Qualitätsprüfprozess in der Demontage vollständig zu automatisieren und die angestrebte Kreislaufwirtschaft effizient umzusetzen. Neben der fehlenden physischen Sortierung wurde auch Verbesserungspotenzial bei der Beleuchtung des Kamerasystems erkannt: in der ersten Umsetzung war die Beleuchtung zur Bildaufnahme dauerhaft eingeschaltet. Der kontinuierliche Betrieb der Beleuchtungsquelle ist nicht nur energetisch suboptimal, sondern verringert auch die Lebensdauer der Lichtquelle. Eine triggergesteuerte Beleuchtung, die sich synchron zur Bildaufnahme ein- und ausschaltet, wurde als sinnvolle Optimierung vorgeschlagen, jedoch im Rahmen der ersten Studienarbeit wegen fehlender Hardware noch nicht realisiert.

Die vorliegende Studienarbeit knüpft unmittelbar an diese Erkenntnisse und offenen Punkte an. Schwerpunkt ist die Integration eines vorhandenen Industrieroboters (ein kollaborativer UR-Roboter der Firma Universal Robots) in den Demontage- und Prüfprozess. Durch die Kopplung von Kamerasystem und Roboter wird nun die zuvor fehlende automatische Sortierfunktion umgesetzt. Konkret bedeutet dies, dass der Roboter basierend auf der Kamera-Entscheidung gut / schlecht das entsprechende Bauteil handhabt: Defekte Teile werden vom Roboter aktiv aus dem Produktfluss entnommen

und in eine vorgesehene Ausschusskiste abgelegt, wohingegen wiederverwendbare Teile wieder geordnet dem Produktionskreislauf zugeführt werden. Diese Erweiterung schließt die Automatisierungslücke zwischen Erkennung und Aktion – das System trifft nicht nur eine Qualitätsentscheidung, sondern setzt sie nun auch mechanisch um. Die dafür nötige Kommunikation zwischen Kamera, SPS und Roboter sowie die Pfadplanung und Greifroutine des Roboters werden im Zuge der Arbeit entwickelt und in Betrieb genommen. Durch die Roboterintegration wird erwartet, dass das Gesamtsystem erheblich an Autonomie gewinnt und manuelle Eingriffe zur Sortierung minimiert werden.

Im Wesentlichen baut die aktuelle Studienarbeit auf den Ergebnissen der ersten Arbeit auf und setzt die begonnenen Entwicklungen konsequent fort. Die erfolgreiche Kameraintegration aus der Vorarbeit wird nun durch eine Robotik-gestützte Sortierung ergänzt, die Beleuchtungsbedingungen werden verbessert und die Gesamtlösung im Kontext der intelligenten Produktionsumgebung validiert. Damit leistet diese Fortsetzung einen wichtigen Beitrag zur vollständigen Automatisierung der Qualitätsprüfung in der Demontage und zur Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgedankens in der Zukunftsfabrik Bodensee.

3. Anforderungsanalyse

Im ersten Schritt der Weiterentwicklung des automatisierten Demontageprozesses müssen die Anforderungen an das bestehende System erneut bewertet und gezielt angepasst werden. Ziel dieser Analyse ist es, sicherzustellen, dass sowohl die während der Umsetzung der vorhergehenden Studienarbeit gewonnenen Erkenntnisse als auch die von anderen Gruppen sowie vom betreuenden Dozenten eingebrachten Vorschläge und Anforderungen berücksichtigt werden und die Integration erweiterter Funktionalitäten reibungslos gelingt.

Eine zentrale Anforderung besteht in der Einbindung des kollaborativen Robotersystems Universal Robots UR5e in den bestehenden Demontageprozess. Der Roboter soll in der Lage sein, Bauteile automatisiert auf Grundlage der Prüfergebnisse des Kamerasystems zu sortieren.

Des Weiteren soll das Potenzial der Wenglor-Kamera im Hinblick auf die Fehlererkennung weiter ausgeschöpft werden. Ziel ist es, mögliche Störungen durch unerwünschte Verschiebungen des Bauteilträgers im Erfassungsbereich oder durch ungleichmäßige externe Lichteinflüsse auszugleichen. Darüber hinaus soll die Kamerafunktionalität um die Erfassung von QR-Codes erweitert werden.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Lichtsteuerung des Kamerasystems. In der vorherigen Projektphase war die Beleuchtung dauerhaft eingeschaltet, was sowohl energetisch als auch im Hinblick auf die Lebensdauer der Beleuchtungseinheit suboptimal war. Im Rahmen der aktuellen Arbeit ist daher die Umstellung auf eine triggergesteuerte Beleuchtung vorgesehen, die ausschließlich synchron zur Bildaufnahme aktiviert wird.

Die Hauptanforderung an das fertige System lautet: Die End-of-Line-Station muss in der Lage sein, bei der abschließenden Demonstration, bei der dreißig Werkstücke demontiert werden, defekte Bauteile zuverlässig auszusortieren. Dies soll durch die Überprüfung der Funktionsfähigkeit einzelner Komponenten sowie des Zusammenspiels des Gesamtsystems rechtzeitig gewährleistet werden. Dabei ist eine regelmäßige Abstimmung mit parallel arbeitenden Projektgruppen essenziell, um Schnittstellenprobleme frühzeitig identifizieren und lösen zu können.

Schließlich sind alle Änderungen an der Anlagenkonstruktion sowie an deren Funktionalität strukturiert an einen digitalen Zwilling der Produktionsanlage zu übergeben.

4. Definition und Anpassung des Prozesses

Dadurch, dass sich der bereits definierte Prozess aus der vorherigen Arbeit ändert, werden in diesem Kapitel die wesentlichen Änderungen des Prozesses beschrieben. Die Definition bzw. die Anpassung des Prozesses ist wichtig, da hieraus die einzelnen Funktionalitäten entstehen.

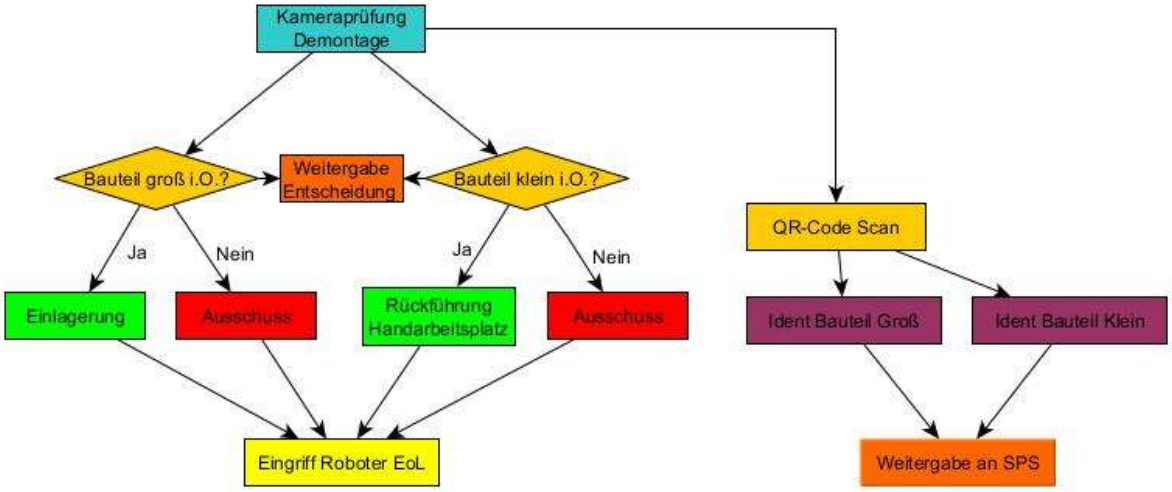


Abbildung 2: Flussdiagramm des Prozesses

Der wesentliche Unterschied zu dem bereits definierten Prozess, ist die Erweiterung der Kamerafunktionalität um das Scannen eines aufgebrachten QR-Codes auf dem großem und auf dem kleinen Bauteil. Durch das Anbringen dieser QR-Codes wird eine eindeutige Identifikation der Bauteile ermöglicht, was wiederum die Rückverfolgbarkeit und dokumentierte Speicherung qualitätsrelevanter Informationen erlaubt. Die erfassten QR-Code-Daten werden über die SPS in ein Manufacturing Execution System überführt, welches als zentrale Schnittstelle zwischen der Fertigungsebene und den übergeordneten Enterprise Ressource Planning Systemen fungiert. Dadurch lassen sich qualitätsbezogene Informationen, wie Seriennummer und Qualitätsentscheidung archivieren. Dies schafft die Grundlage für eine durchgängige Nachvollziehbarkeit über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg. Darüber hinaus ermöglicht die strukturierte Datenerfassung eine statistische Auswertung der Qualitätsdaten.

Der beschriebene Prozess leistet einen wesentlichen Beitrag zur digitalen Vernetzung im Sinne von Industrie 4.0. Die Integration von Sensorik, Bildverarbeitung und Datenerfassung mit übergeordneten IT-Systemen erlaubt nicht nur eine Echtzeit-Überwachung der Produktqualität, sondern fördert auch adaptive Prozesse und datenbasierte Entscheidungsfindung.

Ein weiterer Unterschied zu dem in der vorherigen Arbeit definierten Prozess ist, dass alle Bauteile egal ob Gutteil oder Schlechtteil vom End of Line[2] Roboter vom Bauteilträger heruntergenommen und aussortiert oder auf den jeweiligen Stationen abgelegt werden. Dies erleichtert die Prozesse innerhalb der Gesamtanlage und optimiert die Zykluszeit.

[2] Im Folgenden EoL genannt.

5. Kommunikationsschnittstellen

Um den Erfolg des Gesamtprojekts sicherzustellen, ist eine gut strukturierte und organisierte Kommunikation zwischen den beteiligten Gruppen von zentraler Bedeutung. In unserem Projekt haben wir eng mit mehreren Schlüsselgruppen zusammengearbeitet, um eine reibungslose Integration aller Komponenten und einen kontinuierlichen Informationsfluss zu gewährleisten.

Ein zentraler Kommunikationspartner war die Gruppe, die sich mit der Programmierung der SPS beschäftigte. Diese war dafür verantwortlich, unsere Kamera und unseren Roboter in das Steuerungsprogramm zu integrieren. In enger Abstimmung mit ihnen wurden die Schnittstellen sowie der Signalaustausch zwischen der Kamera, dem Roboter und der SPS definiert.

Mit der Gruppe Wissensmanagement fand ein Austausch in Bezug auf die Dokumentation statt. Dabei wurden Programme, Anleitungen und weitere projektrelevante Informationen geteilt und hochgeladen. Ziel war es, das vorhandene Wissen strukturiert aufzubereiten und nachhaltig verfügbar zu machen – sowohl für die interne Nutzung als auch für eine spätere Weiterverwendung im Projektkontext.

Ein weiterer neuer Aspekt ist die Übergabe der erhobenen Daten an einen digitalen Zwilling der Anlage. Im Sinne von Industrie 4.0 und zur weiteren Forschung wird die Demontagelinie digital abgebildet, um den Status von Bauteilen und den Zustand der Anlage in Echtzeit oder zeitversetzt virtuell nachverfolgen zu können. Die in dieser Arbeit gewonnenen Daten über Bauteilqualität (Kameraresultate) und Handhabungsentscheidungen (Robotik) fließen in dieses digitale Modell ein. Dadurch lässt sich die Performance des Systems auch virtuell auswerten und zukünftige Szenarien können simuliert werden, ohne die reale Anlage zu beeinflussen.

Insgesamt bildete die transparente, abgestimmte Kommunikation mit den genannten Gruppen eine wesentliche Grundlage für den Projekterfolg. Sie ermöglichte es, technische Anforderungen effizient umzusetzen, Informationen zielgerichtet zu teilen und eine konsistente Umsetzung im Gesamtprojekt sicherzustellen.

6. Robot Systeme im industriellen Umfeld

In diesem Kapitel werden zunächst der Begriff „Roboter“ definiert und die theoretischen Grundlagen zur Robotik dargestellt. Der Begriff „Roboter“ stammt ursprünglich aus dem Tschechischen und geht auf das Wort *robota* zurück, das „Arbeit“ oder „Frondienst“ bedeutet. Er wurde erstmals 1921 im Bühnenstück *Rossums Universal Robots* von Karel Čapek verwendet, in dem Roboter für körperlich schwere Arbeiten eingesetzt werden sollten, sich jedoch im Verlauf der Handlung gegen ihre menschlichen Schöpfer auflehnen. Auch heute wird der Begriff „Roboter“ häufig mit menschenähnlichen Maschinen assoziiert, die mechanische Tätigkeiten verrichten können und dabei teilweise mit menschlichen Eigenschaften oder einer eigenen Willenssteuerung ausgestattet erscheinen. In der technischen Fachwelt ist der Begriff hingegen differenzierter gefasst. Hier werden auch Systeme als Roboter bezeichnet, die mit Sensoren ausgestattet sind, Umweltinformationen verarbeiten und daraufhin autonome oder teilautonome Handlungen ausführen – etwa autonome Fahrzeuge oder automatisierte Baumaschinen.

Im technischen Aspekt wird der klassische Industrieroboter als Handhabungsgerät definiert. Die Einteilung der Handhabungsgeräte erfolgt wie in Abbildung 3 zu sehen, in manuell und programmgesteuerte Handhabungsgeräte.

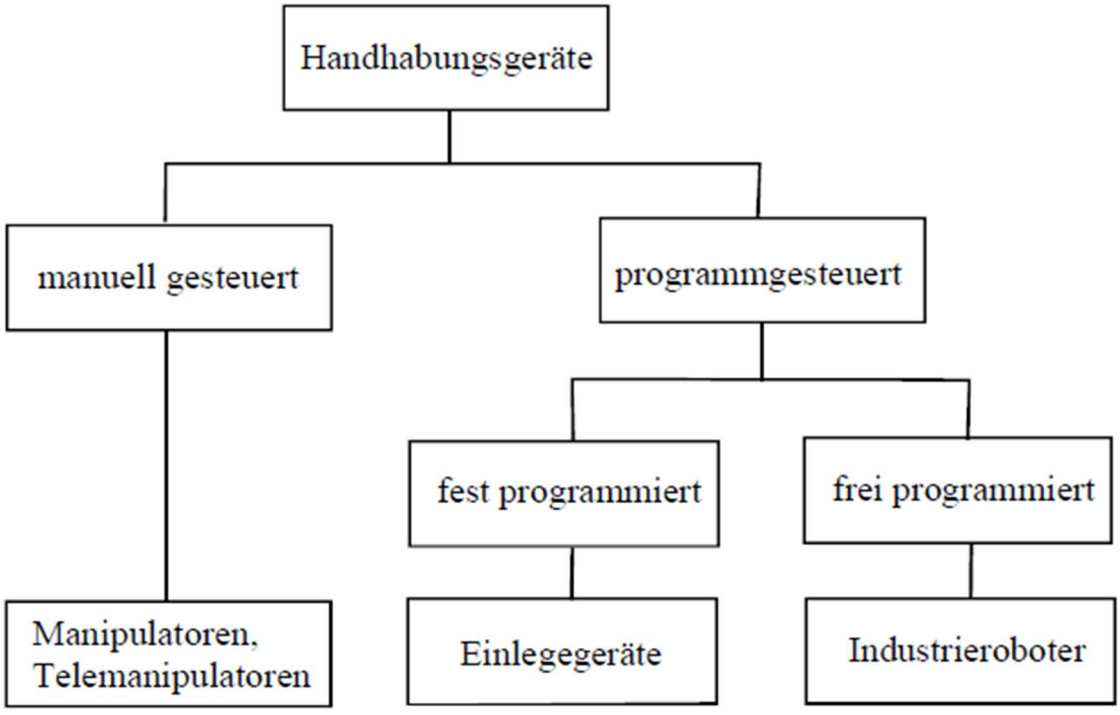


Abbildung 3: Einteilung von Handhabungsgeräten [1]

Bei den programmgesteuerten werden zusätzlich fest und frei programmierbare Handhabungsgeräte unterschieden. Freiprogrammierbare Handhabungsgeräte werden hierbei als Industrieroboter bezeichnet. In diesem Aspekt bedeutet freiprogrammierbar, dass die Bewegungen und Gelenkwinkel frei, bis hin zu den Grenzen programmiert werden können. Im Gegensatz zu den frei programmierten Handhabungsgeräten werden Einlegegeräte fest programmiert. Das heißt, sie sind für einen bestimmten Einsatz bestimmt und sind nicht flexibel einsetzbar.

Ein Industrieroboter hat die Aufgabe einen Effektor in einem Raum zu bewegen. Der Effektor kann ein Greifer, eine Messspitze oder auch ein Bearbeitungswerkzeug sein, der mit der Umgebung in Interaktion tritt, um z.B. Bauteile aufzunehmen. Ein wichtiger Punkt an einem Effektor ist der so genannte Tool Center Point. Alle Bewegungen des Roboters, wie Drehungen oder lineare Bewegungen werden auf Basis des Tool Center Points ausgeführt. Ein Roboter besteht aus einer Aneinanderreihung von beliebig vielen Armen die über Gelenke (Achsen) verbunden sind. Die Gelenke können je nach Ausführung in einem bestimmten Arbeitsbereich bewegt werden. Diese Art von Roboter wird als Knickarmroboter bezeichnet und ist in Abbildung 4 dargestellt. Neben den Knickarmrobotern werden auch Linear Roboter eingesetzt, die ausschließlich lineare Bewegungen durchführen können. Optional können hier in Greifernähe Drehachsen angebracht werden, um Drehungen mit Werkstücken zu realisieren.

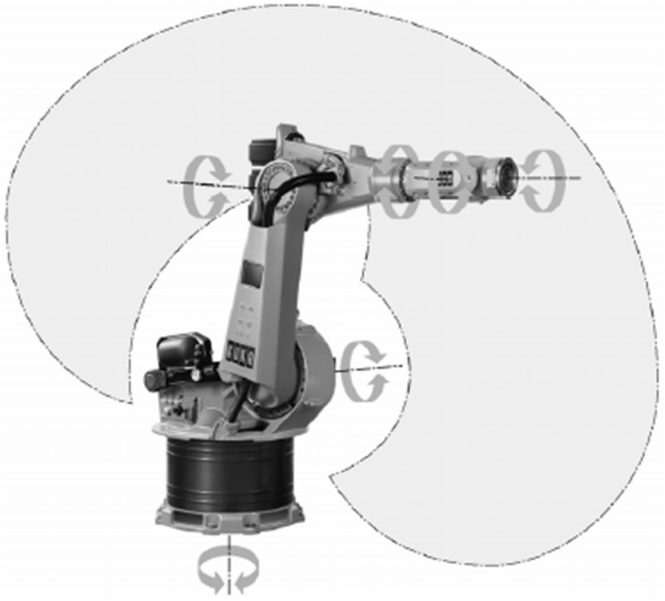


Abbildung 4: 6-Achs Roboter der Firma Kuka [1]

Um die im mechanischen Aufbau vorgesehenen Bewegungen zu realisieren, ist ein entsprechender elektrischer Aufbau erforderlich. Dabei werden die einzelnen Gelenke oder Achsen mit geeigneten Antrieben, Sensoren und Steuerungskomponenten ausgestattet. So lässt sich jede mechanische Bewegung gezielt ansteuern und überwachen.

Der elektrische Aufbau umfasst im Wesentlichen die in den einzelnen Achsen integrierten Servomotoren, den Schaltschrank mit der Steuerungseinheit und den Frequenzumrichtern sowie das Programmierpanel, das als Benutzerschnittstelle zur Interaktion mit der Steuerung dient. [1] [2]

6.1. Universal Robots

In der Produktionsanlage der Zukunftsfabrik Bodensee kommt ein kollaborativer Roboter der Firma Universal Robots zum Einsatz. Die kollaborativen Roboter (Cobots) von Universal Robots repräsentieren eine zukunftsorientierte Technologie zur Optimierung industrieller Produktionsprozesse. Sie tragen dazu bei, sowohl die Effizienz als auch die Qualität und Sicherheit in der Fertigung zu steigern. Universal Robots hat sich als einer der weltweit führenden Anbieter im Bereich kollaborativer Robotik etabliert und bietet maßgeschneiderte Automatisierungslösungen für Unternehmen unterschiedlicher Größenordnungen und Branchen. Mit Sitz in Dänemark bietet Universal Robot Qualität Made in Europe an. Ein zentraler Vorteil der Cobots von Universal Robots liegt in ihrer einfachen Programmierbarkeit. Die intuitive Benutzeroberfläche ermöglicht es auch fachfremdem Personal, die Roboter innerhalb kurzer Zeit zu konfigurieren und zu bedienen. Dieser Aspekt macht die Technologie besonders attraktiv für kleine und mittelständische Unternehmen, die häufig nicht über spezialisierte Fachkräfte oder umfangreiche Budgets für komplexe Automatisierungslösungen verfügen. Durch geringe Anschaffungs- und Betriebskosten sowie eine schnelle Implementierung erreichen Unternehmen einen raschen Return on Investment (ROI). Damit sind Cobots insbesondere für Unternehmen geeignet, die kurzfristige Effizienzsteigerungen anstreben. [3]



Abbildung 5: UR5e Roboter von Universal Robots [8]

Um den Roboter anschließen und dann programmieren zu können, wird zunächst der Aufbau und die Funktion der einzelnen Komponenten des Cobots beschrieben. Der Roboter selber verfügt über sechs Achsen, die einzeln angesteuert werden können. An der letzten Achse kann zusätzlich ein Peripheriegerät in Form eines Greifers oder Vakuumsaugers angebracht werden. Dieser dient zur Aufnahme und Ablage von verschiedenen Bauteilen.

In Abbildung 7 ist die Steuerung des Cobots zu sehen. Diese vereint mehrere essenzielle Komponenten innerhalb einer kompakten Steuereinheit. Zentrales Element bildet ein industrietauglicher PC auf dem das betriebseigene Betriebssystem basiert auf einer Linux-Architektur ausgeführt wird. Dieser Rechner übernimmt sowohl die Abarbeitung der Roboterprogramme als auch die Bedienung über die grafische Benutzeroberfläche. Für die präzise Bewegungssteuerung der Roboterachsen sind integrierte Leistungselektronikmodule verantwortlich. Diese sogenannten Motorcontroller regulieren die Versorgung der Motoren mit den notwendigen Strömen und ermöglichen eine exakte Steuerung von Position, Geschwindigkeit und Drehmoment jeder einzelnen Achse. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil ist das integrierte Sicherheitsmodul. Dieses umfasst sowohl hardwareseitige als auch softwareseitige Sicherheitsfunktionen, die den aktuellen Normen für kollaborative Robotersysteme entsprechen. Es bietet unter anderem sichere Eingänge für externe Not-Halt-Kreise, Schutztürabfragen oder Lichtvorhänge sowie Funktionen wie die sichere Überwachung von Geschwindigkeit und Position. Für die Kommunikation mit externen Systemen verfügt die Steuerung über mehrere Schnittstellen. Hierzu gehören standardmäßig Ethernet-Ports zur Einbindung in lokale Netzwerke oder zur direkten Anbindung an eine SPS. Darüber hinaus werden verschiedene industrielle Kommunikationsprotokolle unterstützt, wie beispielsweise Profinet, Ethernet/IP oder Modbus TCP. Neuere Modelle von Universal Robots bieten zudem die Option auf EtherCAT-Kommunikation. Integrierte digitale und analoge I/O-Module ermöglichen die direkte Ansteuerung von Peripheriegeräten wie Greifern, Sensoren oder Aktoren. Diese Ein- und Ausgänge arbeiten üblicherweise mit einer 24 V DC-Spannungsversorgung. Zur thermischen Absicherung der Komponenten ist die Steuerung mit Lüftungs- und Kühlsystemen ausgestattet, die je nach Temperaturdynamik automatisch geregelt werden. Optional lässt sich die Funktionalität der Steuerung durch zusätzliche URCaps-Module erweitern. Diese Soft- und Hardware-Erweiterungen erlauben die einfache Integration neuer Technologien wie Kamerasysteme, spezialisierte Endeffektoren oder Schweißmodule in die bestehende Roboterarchitektur. [4]

6.2. Anschluss

Um den Roboter in Betrieb zu nehmen und mit der Speicherprogrammierbaren Steuerung[3] zu vernetzen, muss dieser zunächst elektrisch angeschlossen werden. Hierfür sind am Schaltschrank verschiedene Schnittstellen vorgesehen. In Abbildung 6 ist der Anschluss des Schaltschranks an die 230 V Spannungsversorgung rot umrandet dargestellt. Über diesen Anschluss wird der Schaltschrank über einen Schutzkontaktstecker mit Energie versorgt. Ebenfalls in Abbildung 6 jedoch blau umrandet, befindet sich der Anschluss für den Roboter. Über diese Schnittstelle werden die einzelnen Achsen des Roboters mit der benötigten Antriebs- und Steuerspannung sowie mit Signalen zur Kommunikation versorgt.

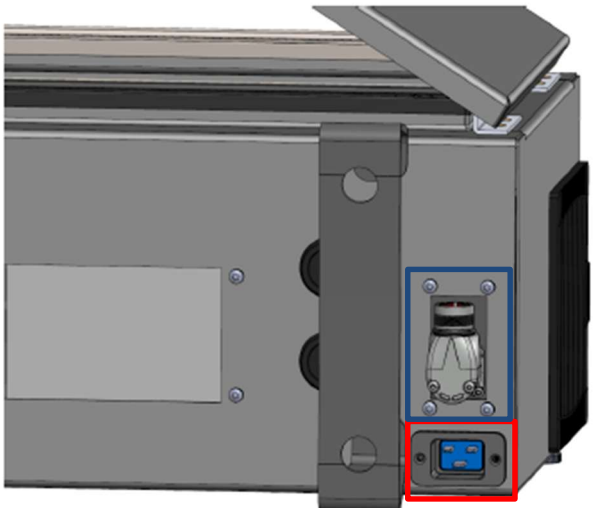


Abbildung 6: Schnittstellen Spannungsversorgung

In Abbildung 7 ist die Steuerung des UR-Robots zu sehen. Die Funktion der Steuerung ist in Kapitel 6.1 beschrieben. Hier befinden sich in Abbildung 7, blau umrandet die Schnittelle zum Bedienpanel, rot umrandet der Ethernet Anschluss für die Vernetzung und Grün umrandet I/Os für die Verdrahtung von normalen und sicherheitsrelevanten Ein- und Ausgängen. Dadurch, dass die Kommunikation und jeglicher Datenaustausch mit der SPS über PROFINET funktioniert, ist eine Verdrahtung der Ein- und Ausgänge nicht notwendig.

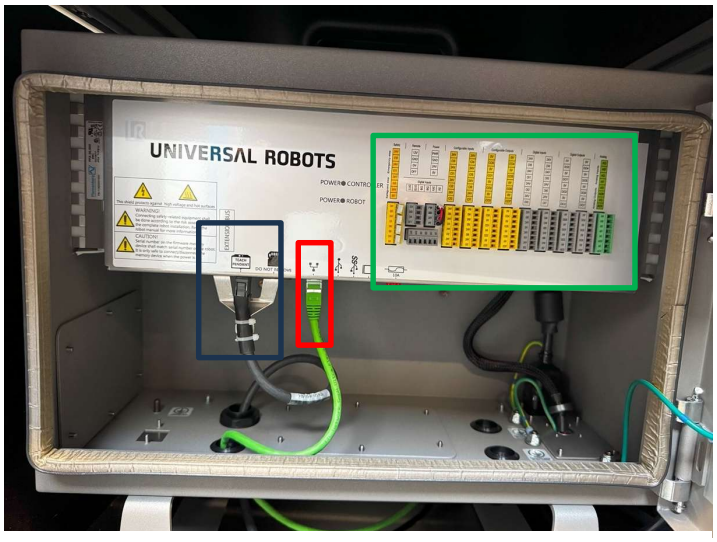


Abbildung 7: Steuerung UR-Robot

[3] Im Folgenden SPS genannt.

6.3. Datenaustausch SPS

Um eine Automatisierung des Teilbereichs „Qualitätsprüfung in der Demontage“ zu ermöglichen, erfolgt ein Datenaustausch zwischen dem Roboter und der SPS. Nachdem der Roboter über ein Ethernet-Kabel mit der SPS verbunden wurde, wird er im nächsten Schritt in das Netzwerk der SPS eingebunden.

Hierzu wird eine sogenannte Generic Station Description Markup Language[4], also eine Gerätebeschreibungsdatei, installiert. Diese Datei ist erforderlich, um die korrekten Signale senden und empfangen zu können und ist auf der Website des Roboterherstellers verfügbar.

Nach der Installation der GSDML-Datei kann der Roboter über die entsprechende Bibliothek in das Projekt eingebunden werden. Die Netzübersicht sowie der eingebundene Roboter sind in Abbildung 8 (rot umrahmt) dargestellt.

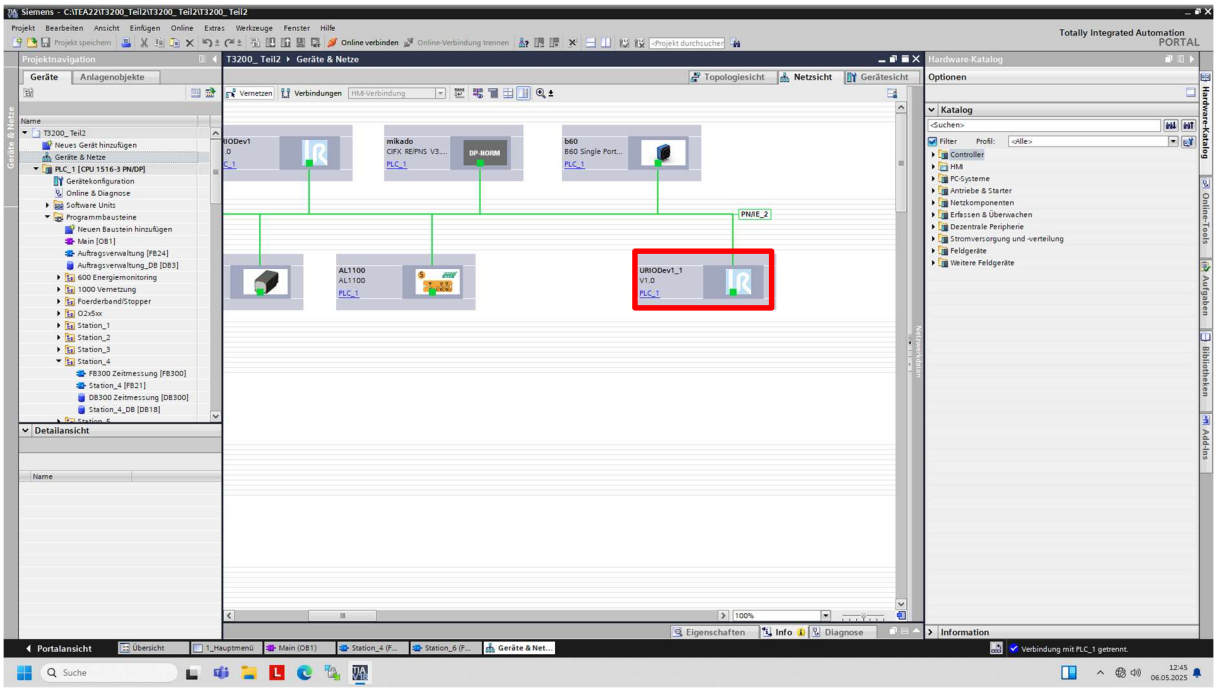


Abbildung 8: Anbindung UR-Roboter an die SPS

Im nächsten Schritt wird dem Roboter über das TIA-Portal eine freie IP-Adresse im Adressraum 192.168.0.X zugewiesen, siehe Abbildung 9 (rot umrahmt). Die nächste im Projekt verfügbare Adresse ist 192.168.0.14. Damit die Kommunikation über dieselbe Adresse erfolgen kann, wird diese anschließend über das Bedienpanel auch am Roboter hinterlegt.

[4] Im Folgenden GSDML genannt.

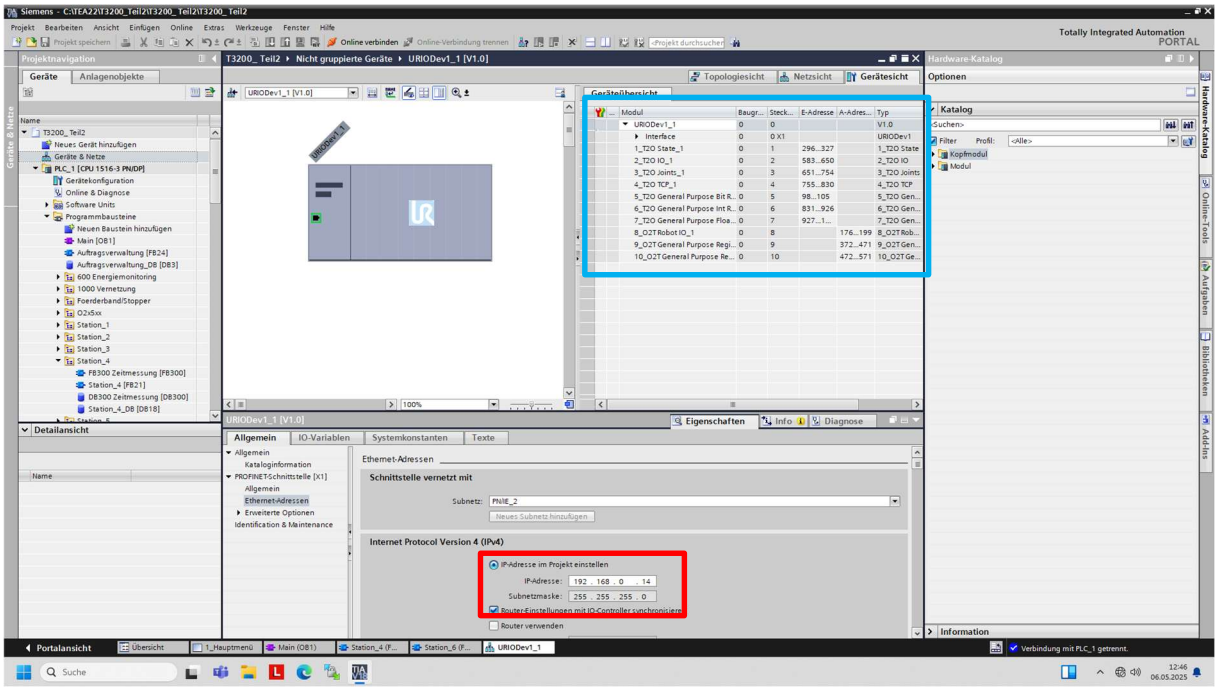


Abbildung 9: Einfügen der Ein- und Ausgabegruppen und Vergabe der IP-Adresse

Damit verschiedene Ein- und Ausgänge des Roboters beschrieben und ausgelesen werden können, werden im nächsten Schritt Ein- und Ausgabemodule mit den jeweiligen Adressbereichen hinzugefügt. Diese sind in Abbildung 9 (blau umrahmt) dargestellt. Wenn die IP-Adresse vergeben wurde und die Module eingefügt werden, kann die Verbindung über die SPS und das Bedienpanel getestet werden. Wenn die Verbindung richtig initiiert wurde, kann mit der Parametrierung und Inbetriebnahme des Roboters begonnen werden.

6.4. Inbetriebnahme / Parametrierung

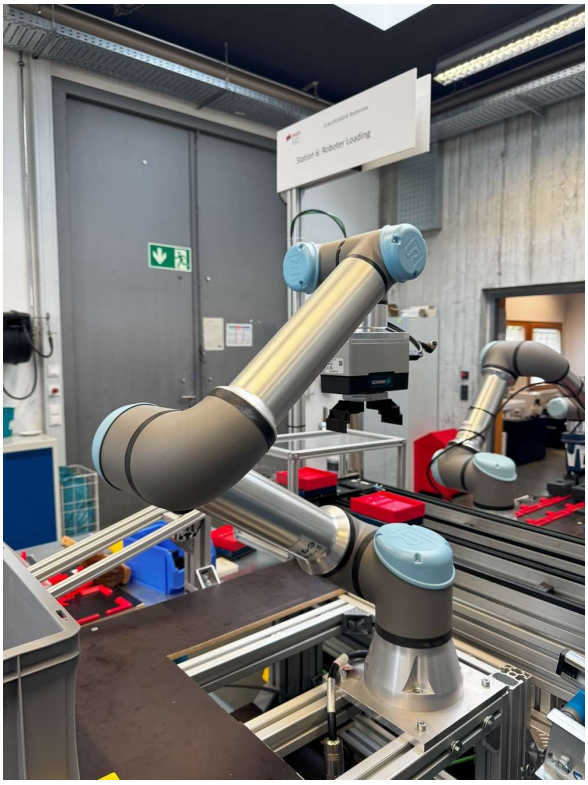


Abbildung 10: Home Position des Roboters

Nach dem der Roboter in das SPS-Programm eingebunden wurde, erfolgt nun die Parametrierung und anschließend die Inbetriebnahme des Roboters.

Zunächst wird die Grundposition des Roboters festgelegt. Diese sogenannte Home-Position dient als definierter Ausgangspunkt für alle nachfolgenden Bewegungsabläufe und ermöglicht eine sichere und reproduzierbare Referenzierung des Systems. Bei der Wahl dieser Position werden mehrere Kriterien berücksichtigt: Die Home-Position muss kollisionsfrei sein und einen sicheren Abstand zu umgebenden Anlagenkomponenten und dem Bedienpersonal gewährleisten. Gleichzeitig sollte sie zentral im Arbeitsraum liegen, sodass alle relevanten Positionen schnell erreichbar sind und die Zykluszeit nicht unnötig verlängert wird.

Darüber hinaus ist es wichtig, dass die Roboterachsen in einer mechanisch günstigen Stellung stehen. Damit wird gewährleistet, dass Gelenkgrenzen und Singularitäten vermieden werden und die mechanische Belastung im Stillstand reduziert wird. Die Home-Position sollte außerdem eine gute Zugänglichkeit für Wartungsarbeiten bieten und darf keine Sichtfelder von Sensoren oder Kameras verdecken. In der Praxis dient sie oft auch als Rückzugsposition bei Störungen oder zum sicheren Ein- und Ausschalten des Systems.

Nachdem die Home-Position wie in Abbildung 10 zu sehen ist, gewählt wurde, kann mit der eigentlichen Programmierung der Bewegungsabläufe begonnen werden. Zunächst werden die Aufnahme und Ablage Positionen definiert. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Bewegungsablauf keine Anlagenkomponenten beschädigt werden. Anschließend werden die Bewegungsabläufe getestet und optimiert.

Das gesamte Programm wird in vier Unterprogramme mit den jeweiligen Ablagepositionen aufgeteilt.

Diese sind wie folgt benannt:

Tabelle 1: Übersicht Programmabläufe

Programmname	Funktion
Bauteil_1_gut_in_die_Ablage	Das große Bauteil wird vom Bauteilträger genommen und in das Magazin, seitlich vom Roboter abgelegt.
Bauteil_1_schlecht_in_die_Kiste	Das große Bauteil wird vom Bauteilträger genommen und in die Kiste abgelegt.
Bauteil_2_gut_auf_Rollenbahn	Das kleine Bauteil wird vom Bauteilträger genommen und auf die Rollenbahn gelegt.
Bauteil_2_schlecht_in_die_Kiste	Das kleine Bauteil wird vom Bauteilträger genommen und in die Kiste abgelegt.

Zur Veranschaulichung der einzelnen Aufnahme- und Ablagepositionen dienen die folgenden Abbildungen:



Abbildung 11: Bauteil 1 gut in die Ablage



Abbildung 12: Bauteil 1 schlecht in die Kiste

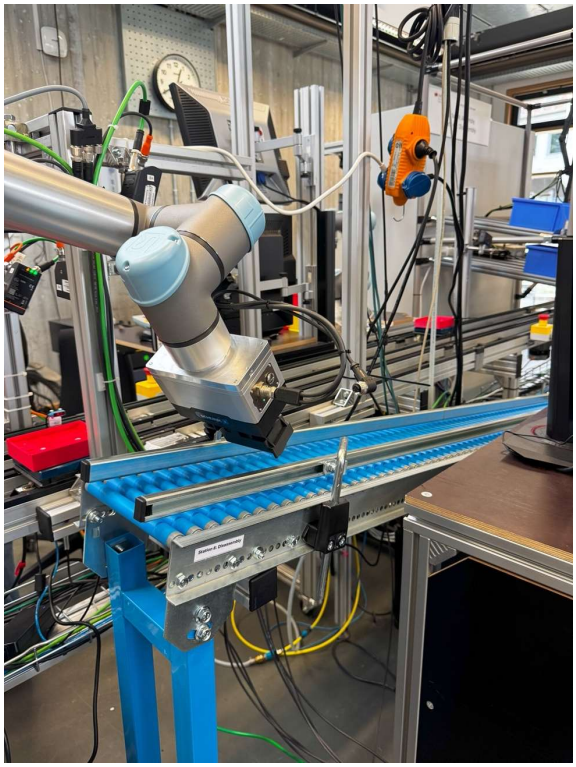


Abbildung 16: Bauteil 2 gut auf die Rollenbahn

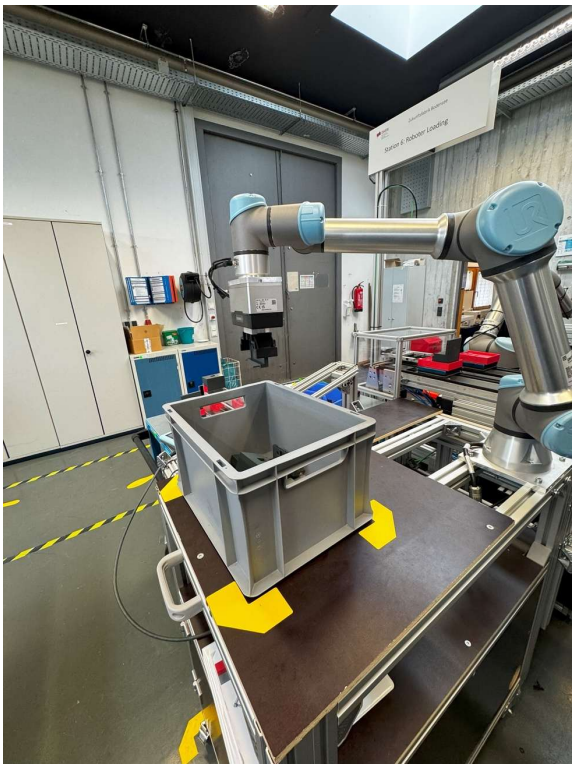


Abbildung 15: Bauteil 2 schlecht in die Kiste



Abbildung 14: Gutteilablage Bauteil 2



Abbildung 13: Gutteilablage Bauteil 1

Die vier Teilprogramme werden jeweils über das Hauptprogramm aufgerufen, wie in Abbildung 17 (rot umrahmt) dargestellt. Der Aufruf erfolgt über eine IF-Abfrage in der SPS, die – abhängig vom Ergebnis der Qualitätsprüfung durch die Wenglor-Kamera – das entsprechende Teilprogramm startet (siehe Abbildung 17, blau umrahmt). Nach der Ausführung eines Teilprogramms kehrt der Roboter in seine Home-Position zurück und wartet auf neue Instruktionen der SPS.

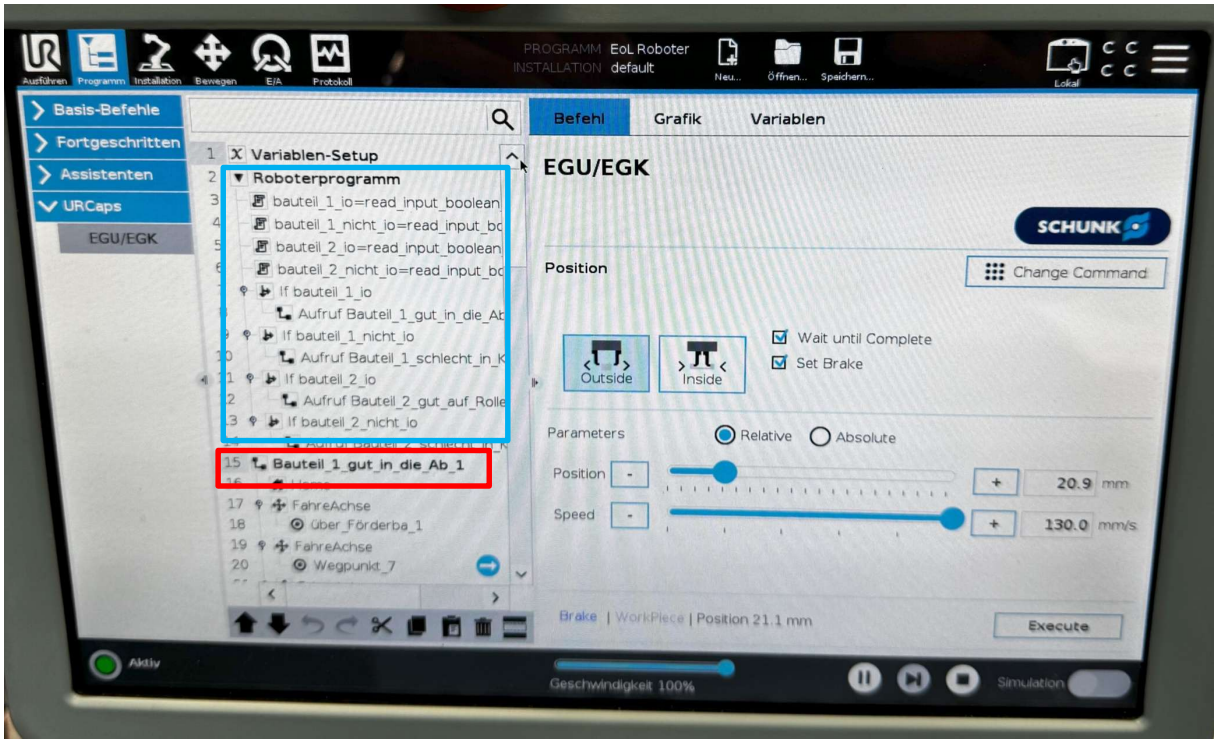


Abbildung 17: Aufruf der Teilprogramme im Hauptprogramm

7. Weiterentwicklung der Qualitätsprüfung

Der Prozess der Qualitätsprüfung in der End-of-Line-Station wurde weiterentwickelt, um eine umfassende Nachverfolgung der demontierten Bauteile zu ermöglichen. Ein zuverlässiges Markierungs- und Identifikationssystem spielt dabei eine entscheidende Rolle. Für die Markierung der Bauteile stehen grundsätzlich optische sowie funkbasierte Methoden zur Verfügung. Zu den optischen Verfahren zählen Barcodes und Quick-Response-Codes[5], während bei Funktechnologien RFID-Systeme eingesetzt werden können [5]. Eine weitere, jedoch technisch komplexere Möglichkeit stellt die Identifikation der Bauteile anhand ihrer individuellen Struktur dar [6, p. 20f.]. Aufgrund der unkomplizierten und schnellen Realisierbarkeit wurde in diesem Projekt die Verwendung von QR-Code-Aufklebern gewählt.

Ein zusätzlicher Entwicklungsschritt betrifft die Einführung einer Kreislaufanalyse. Die im Zuge der Nachverfolgung erhobenen Daten sollen kontinuierlich im Manufacturing Execution System[6] aufbereitet und statistisch ausgewertet werden. Ziel dieser Analyse ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Wie viele Montage- bzw. Demontagezyklen hält ein Bauteil im Durchschnitt aus?
- Wie lang ist die durchschnittliche Lebensdauer der jeweiligen Bauteiltypen?
- Welche Fehler treten am häufigsten auf?

Diese statistischen Daten ermöglichen es, Prognosen über die verbleibende Lebensdauer der im Umlauf befindlichen Bauteile zu erstellen und diese Informationen zentral in der MES-Datenbank zu pflegen. Darüber hinaus dient diese Datenbasis zur Optimierung des Bestellprozesses neuer Bauteile.

Eine weitere Optimierung wurde bei der Beleuchtungstechnik vorgenommen. Die bisherige Dauerbeleuchtung wurde durch einen kurzzeitigen Lichtimpuls ersetzt, der exakt synchron zur tatsächlichen Bilderfassung ausgelöst wird. Dies reduziert den Energieverbrauch und erhöht gleichzeitig die Lebensdauer der Beleuchtungseinheit.

Die Umsetzung der beschriebenen Weiterentwicklungen wird in den nachfolgenden Unterkapiteln näher erläutert.

[5] Im Folgenden QR-Code genannt.

[6] Im Folgenden MES genannt.

7.1. Identifikationssystem

Zur Erfassung der QR-Codes wurden in der Anlage ursprünglich Codeleser der Firma IFM an jeder Zwischenstation installiert (siehe rot umrandet in Abbildung 18). Diese Leser waren jedoch ausschließlich für den Montageprozess vorgesehen und entsprechend positioniert, was die zuverlässige Erfassung demontierter Teile erschwert. Im Zuge der Projektentwicklung wurde daher untersucht, ob die bereits eingesetzte Wenglor-Kamera eine gleichwertige Alternative bieten kann. Diese Annahme wurde im Laufe der Implementierung bestätigt.

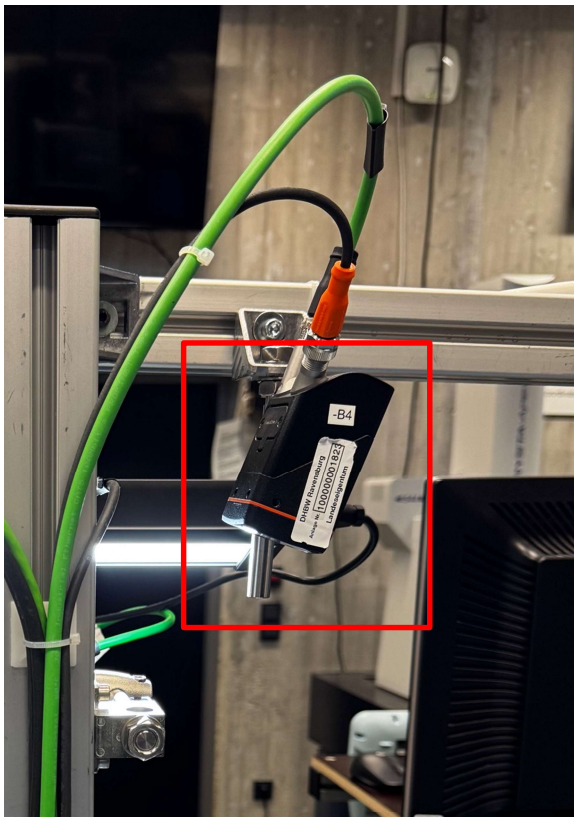


Abbildung 18: IFM Codeleser

Bei der technischen Umsetzung zeigte sich, dass die ursprünglich installierte PROFINET-Konfiguration den notwendigen Austausch von Zeichenfolgen des Datentyps Array of Char zur Weitergabe der QR-Code-Daten an die SPS nicht unterstützte. Um diese Anforderung erfüllen zu können, wurde die PROFINET-Konfiguration H201 installiert.

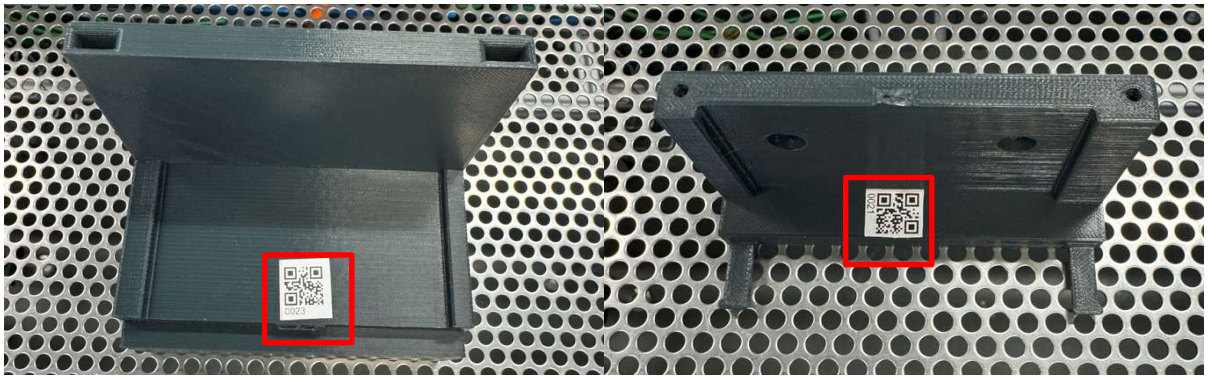


Abbildung 19: Position der QR-Codes auf den Bauteilen

Zur praktischen Umsetzung der QR-Code-Erfassung wurde zunächst ein Markierungsschema definiert, das für die eindeutige Zuordnung der einzelnen Bauteile sorgt. Dieses Schema sieht eine Seriennummer vor, welche sich aus einem Buchstaben und drei nachfolgenden Dezimalziffern zusammensetzt. Der Buchstabe gibt den Bauteiltyp

an, wobei „A“ für ein großes Bauteil und „B“ für ein kleines Bauteil steht. Die anschließenden drei Dezimalziffern, beispielsweise „A001“ oder „B023“, gewährleisten eine eindeutige Identifikation jedes Bauteils.

Nachdem das Schema festgelegt war, wurden insgesamt sechzig QR-Code-Aufkleber mittels eines speziellen Etikettendruckers erstellt. Von diesen sechzig Aufklebern wurden jeweils dreißig für große und dreißig für kleine Bauteile vorbereitet. Im nächsten Schritt erfolgte die Anbringung von vierzig dieser QR-Code-Aufkleber auf den zu demontierenden Bauteilen an den Stellen wie in Abbildung 19.

Im nächsten Schritt erfolgte die Anpassung des bestehenden Kamera-Jobs für die Qualitätskontrolle in der Software Wenglor uniVision 3. Hierbei wurde ein zusätzlicher Task integriert, der speziell für die Erfassung und Verarbeitung der QR-Codes vorgesehen ist (siehe rot umrandet in Abbildung 20). Dazu wurde die entsprechende Funktion in den Kamera-Job integriert, welche das gleichzeitige Auslesen mehrerer 2D-Codes ermöglicht. Des Weiteren wurde eine Sortierung der erfassten QR-Codes entlang der X-Achse vorgenommen, sodass der erste gelesene Code dem kleinen Bauteil und der zweite dem großen Bauteil entspricht. Abschließend wurde die Weitergabe von zwei Zeichenketten (Char-Variablen) über PROFINET an die SPS eingerichtet. Diese sollen dort mit den Prüfergebnissen verknüpft und an das EMS weitergeleitet werden.

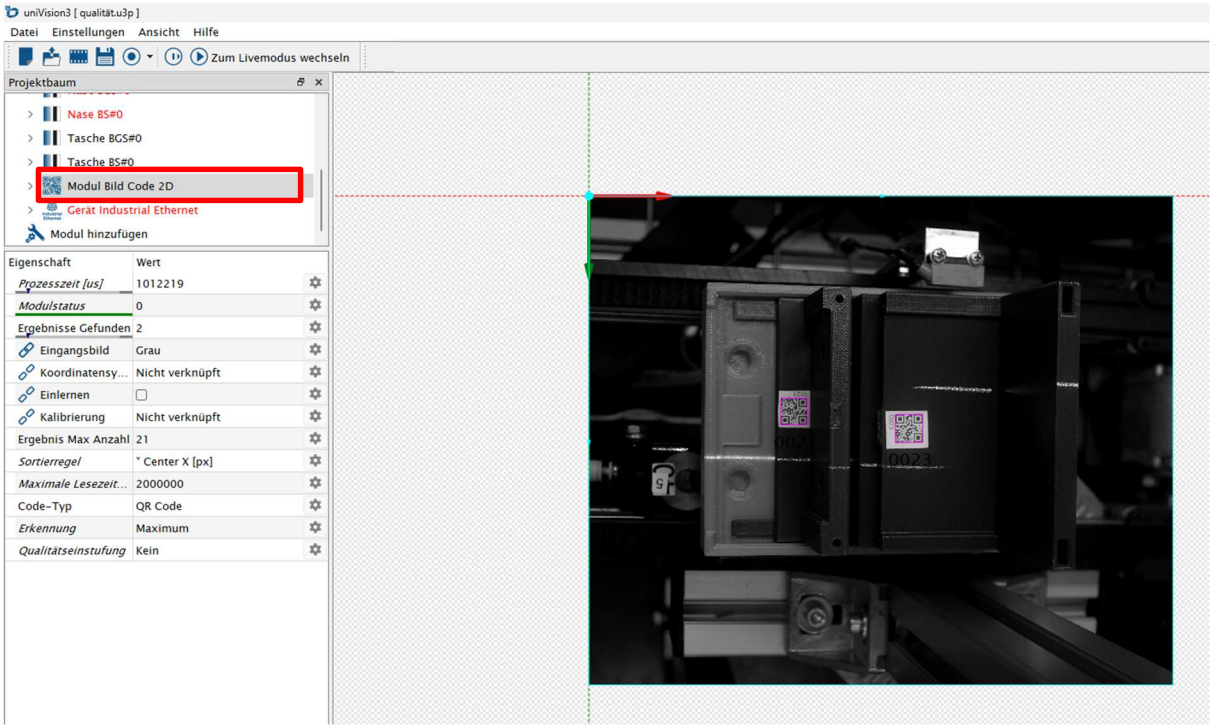


Abbildung 20: Integration der Identifikationsfunktion in uniVision3

7.2. Blitzbeleuchtung

Im Rahmen der vorangegangenen Studienarbeit wurde zur Stabilisierung der Bildergebnisse eine Balkenbeleuchtung oberhalb der Werkstücke installiert und im Dauerbetrieb betrieben. Das bedeutet, dass die Beleuchtung permanent leuchtet, sobald die Anlage eingeschaltet wird. Dieses Vorgehen soll nun optimiert werden.
Die Kamera B60P203 bietet serienmäßig die Möglichkeit, eine firmeneigene Beleuchtung mithilfe der speziellen Verbindungskabel im Triggermodus zu betreiben. Das entsprechende Anschlussschema ist in Abbildung 21 dargestellt.

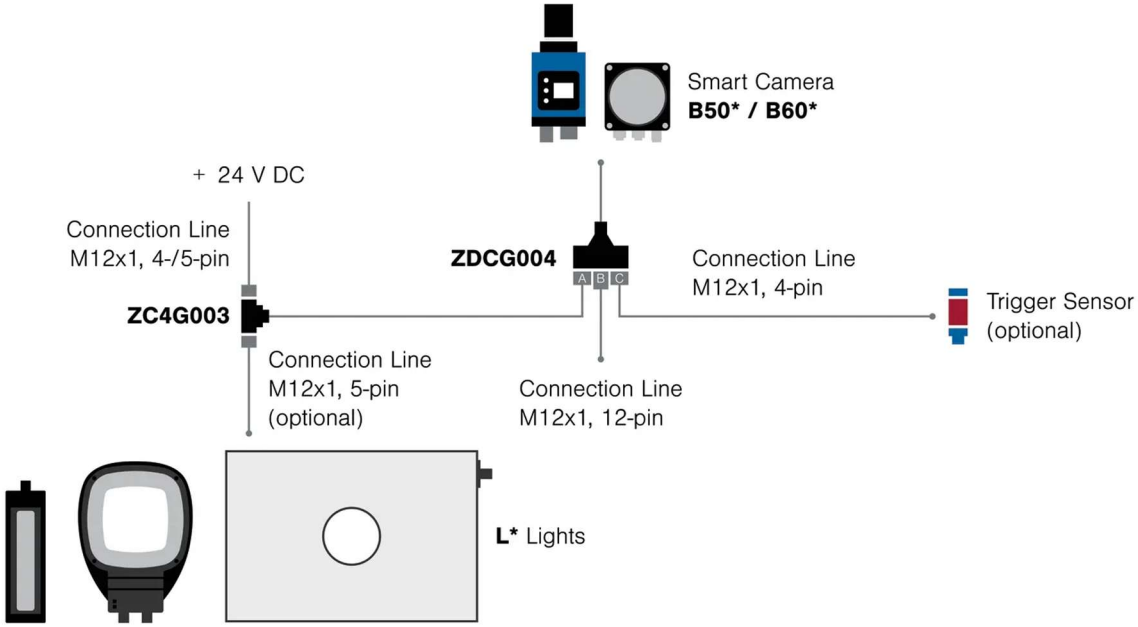


Abbildung 21: Anschlussschema einer Wenglor-Beleuchtung im Trigger-Betrieb [7]

Über das Y-Verbindungskabel ZDCG004 lassen sich ein externer Triggersensor und die externe Beleuchtung gleichzeitig an die 12-polige E/A-Schnittstelle der Kamera anschließen. Daran anschließend stellt das T-Verbindungskabel ZC4G003 die Verbindung zur 24-V-Spannungsversorgung her und sorgt dafür, dass die Beleuchtung im Impulsbetrieb synchron zur Kamera ein- und ausgeschaltet wird [7]. Die beiden Verbindungen wurden bei der Firma Wenglor bestellt und nach wie in Abbildung 22 und Abbildung 23 angeschlossen.

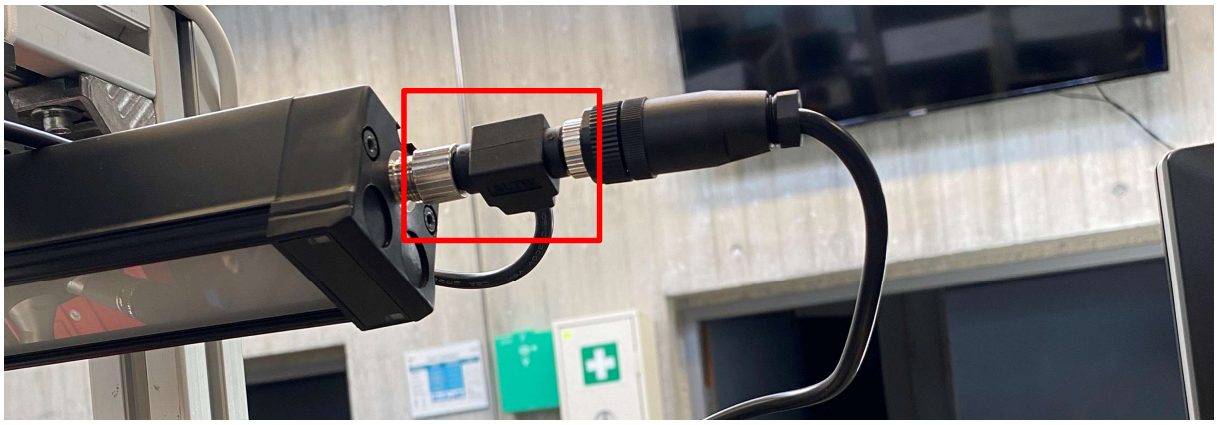


Abbildung 22: Anschluss von T-Verbindungskabel ZC4G003

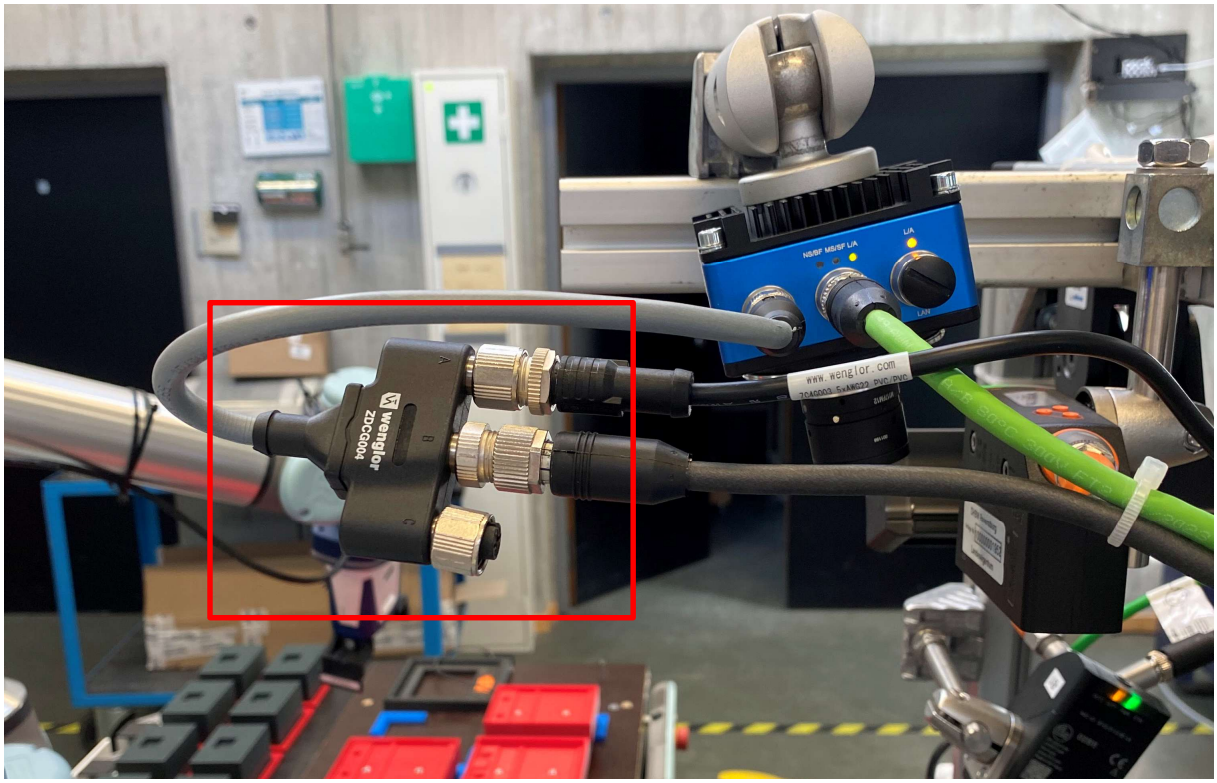


Abbildung 23: Anschluss von Y-Verbindungskabel ZDCG004

Mit der Installation der Verbindungskabel wurde somit die technische Voraussetzung für den Impulsbetrieb der Beleuchtung geschaffen. Im nachfolgenden Kapitel 8 werden sämtliche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Implementierungen in der praktischen Erprobung und Validierung hinsichtlich ihrer Funktionalität und des Zusammenspiels im Gesamtsystem überprüft.

8. Erprobung und Validierung

Nach Umsetzung der Erweiterungen wurden diese in einzeln erprobt und validiert. Dabei lag der Fokus auf drei Kernbereichen:

1. Validierung der vier Roboter-Teilprogramme im Hinblick auf kollisionsfreie und zuverlässige Handhabungsabläufe.
2. Prüfung der neu implementierten Blitzbeleuchtung bezüglich Synchronisation und Bildqualität.
3. Überprüfung der Zuverlässigkeit der QR-Code-Erkennung.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Validierungsphase strukturiert dargestellt.

8.1. Erprobung der Roboter-Teilprogramme

Zunächst wurden die vier Roboter-Teilprogramme gemäß Tabelle 1 erprobt. Dabei wurde überprüft, ob bei automatischer Ausführung der Programme Kollisionen ausgeschlossen sind, die Bauteile zuverlässig aufgenommen und abgelegt werden und ob die Bewegungen des Roboters frei von unzulässigen Stößen oder Vibrationen erfolgen. Die Validierung fand zuerst mit reduzierter Geschwindigkeit statt, anschließend unter realistischen Betriebsbedingungen.

Bei allen getesteten Teilprogrammen (Bauteil_1_gut_in_die_Ablage, Bauteil_1_schlecht_in_die_Kiste, Bauteil_2_gut_auf_Rollenbahn, Bauteil_2_schlecht_in_die_Kiste) wurden keine Kollisionen festgestellt. Die Bauteile wurden vom Roboter zuverlässig aufgenommen und präzise in den vorgesehenen Positionen abgelegt. Dabei wurde während der Ausführung des Teilprogramms „Bauteil_1_gut_in_die_Ablage“ ein deutlich spürbarer Ruck der Anlage beim Entnehmen des kleinen Bauteils vom Werkstückträger festgestellt. Dies wurde umgehend behoben, indem die Anfahrgeschwindigkeit kurz vor dem Greifen des Bauteils reduziert wurde.

8.2. Validierung der Blitzbeleuchtung

Im nächsten Schritt wurde die neu implementierte Blitzbeleuchtung der Kamera einem Funktionstest unterzogen. Hierbei stand zunächst die Synchronisation mit dem Kameratrigger im Vordergrund. In Versuchsreihen wurde überprüft, ob der externe Beleuchtungsbalken präzise im richtigen Moment – nämlich zeitgleich mit der Bildaufnahme – aufleuchtet. Dies wurde durch Beobachtung der Auslöse-LED der Kamera sowie des

Lichtblitzes verifiziert. Das Ergebnis zeigte, dass die im Kamerasystem integrierte Triggersteuerung zuverlässig arbeitet: Die Beleuchtung wurde exakt synchron zum Kamerasignal ein- und ausgeschaltet, sodass jedes aufgenommene Bild optimal ausgeleuchtet war. Ein Versatz oder zeitliche Inkonsistenzen zwischen Trigger und Blitz konnten nicht festgestellt werden.
Im nächsten Schritt wurde die Beitragsleistung der Blitzbeleuchtung zur Bildqualität im Vergleich zum vorherigen Dauerlicht untersucht. Dabei konnte keine Änderung der Bildqualität festgestellt werden.

8.3. Kontrolle der QR-Code-Erkennung

Die Zuverlässigkeit der QR-Code-Erkennung wurde ebenfalls überprüft. Ziel war es, sicherzustellen, dass sämtliche Codes korrekt erkannt und in der vorgesehenen Reihenfolge verarbeitet werden. Mehrere Testdurchläufe bestätigten, dass alle QR-Codes zuverlässig ausgelesen und korrekt an die SPS weitergegeben wurden. Die programmierte Reihenfolge, bei der zunächst der Code des kleinen und danach der des großen Bauteils übertragen wird, wurde in sämtlichen Testfällen eingehalten. Dabei erwiesen sich Lageabweichungen der QR-Codes als unproblematisch für die Erkennung.
Während der Erprobung wurde zusätzlich festgestellt, dass die Schnittstellen zwischen Roboter, Kamera und SPS zuverlässig funktioniert.

9. Inbetriebnahme des Gesamtsystems

Nachdem alle Implementierungen einzelnen geprüft wurden, kann im letzten Schritt die EoL-Station an das Gesamtsystem eingebunden und getestet werden. Ziel ist es, im Demontageprozess alle Bauteile auf Qualität zu prüfen und vom Bauteilträger zu nehmen. Im nächsten Schritt erfolgt die Sortierung je nach Qualitätsergebnis in die Kiste bzw. in die Ablagen. Nachdem das Förderband gestartet wurde und der Demontageprozess mit Variante und Anzahl über das HMI gewählt wurde, kann der Demontageprozess beginnen. Die sich auf dem Bauteilträger befindlichen Bauteile kommen über den Umleger an den Handarbeitsplatz. Dort werden die zwei Bauteile voneinander getrennt und auf dem Bauteilträger platziert. Der Arbeiter quittiert seine Arbeit mit einem Drucktaster und der Träger läuft weiter Richtung EoL-Station. Hier erfolgt der Trigger der Kamera und die das Licht leuchtet kurz auf. Nachdem die Kamera den Prozess fertig meldet, werden die Daten an die SPS übertragen und der Bauteilträger fährt bis zum nächsten Stopper weiter und der Roboter erhält die Freigabe, um die Bauteile vom Träger herunterzunehmen. Wenn beide Teile heruntergenommen wurden, meldet der Roboter an die SPS, dass er fertig ist und der Bauteilträger kann über den Umleger zur Station Eins fahren.

In einem finalen Probelauf durchliefen zwanzig zu demontierende Gehäuse den Gesamtprozess. Dabei kamen sämtliche Neuerungen an der EoL-Station gleichzeitig zum Einsatz, wodurch geprüft werden konnte, ob die Kommunikation zwischen Roboter, Kamera und SPS im realen Betrieb stabil gewährleistet ist.

Während des Testbetriebs war keine direkte Live-Überwachung der Kamerabilder oder Prüfergebnisse möglich, da die Kamera ausschließlich über PROFINET mit der SPS verbunden war und nicht parallel via UniVision3-PC ausgelesen werden konnte. Folglich erfolgte die Bewertung der Kameraresultate indirekt anhand des Systemverhaltens. Beobachtungen zufolge wurden in jedem Testlauf mindestens achtunddreißig von vierzig demontierten Bauteilen vom Roboter korrekt sortiert, was eine Treffquote von fünfundneunzig Prozent entspricht. Die vereinzelten Abweichungen sowie deren zeitliches Auftreten ließen sich auf eine zufällig auftretende Störung im Kamerabetrieb zurückführen. Durch weitere Beobachtungen des Anlagenbetriebs mit besonderem Fokus auf die Wenglor-Kamera verstärkte sich der Verdacht, dass die Ursache der Fehler in kleinen Positionsabweichungen des Werkstückträgers im Bilderfassungsbe-

reichs liegt. Dieses Positionsspiel ist durch die Band- und Stopperkonstruktion gegeben und lässt sich ohne umfassende konstruktive Änderungen der Anlage nicht reduzieren. An dieser Stelle ist jedoch festzuhalten, dass aufgrund des exklusiven Anschlusses der Kamera (entweder an die SPS oder an den Rechner mit uniVision3) eine Verifizierung dieser Vermutung im laufenden Betrieb der Gesamtanlage nicht möglich war. Ein anschließender Versuch, den Fehler durch simulierte Bewegungen im statischen Betrieb nachzustellen, brachte kein eindeutiges Ergebnis.

Parallel dazu wurde das Verhalten des Roboters genau beobachtet. Der Roboter erhielt von der SPS basierend auf dem Kameraresultat die entsprechenden Sortier-befehle, welche er fehlerfrei ausführte. Intakte Bauteile wurden an die definierten Ablageplätze für Gutteile (Magazin bzw. Rollenbahn) verbracht, während defekte Bauteile ordnungsgemäß in die vorgesehene Schlechtteil-Kiste abgelegt wurden. Besondere Aufmerksamkeit galt der Kollisionsvermeidung: es musste sichergestellt werden, dass der UR5e-Roboter bei seinen Bewegungen weder mit dem zweiten Roboter, der zeitgleich die Bauteilträger mit den zu demontierenden Gehäusen bestückt, noch mit stationären Anlagenteilen kollidiert. Im gesamten Testlauf traten folglich weder Zusammenstöße noch kritische Annäherungen auf.

Nachdem in diesem Abschnitt die Ergebnisse der Probeläufe dargestellt wurden, folgt im nächsten Schritt deren Bewertung.

10. Bewertung

Die Bewertung des entwickelten Systems zur Qualitätsprüfung in der Demontage mit Hilfe eines Kamerasystems und eines kollaborativen Robotersystems erfolgte anhand der zuvor definierten Kriterien: Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Integrationsfähigkeit sowie Bedienerfreundlichkeit.

Die Kamera konnte sämtliche definierten Fehlermerkmale (abgebrochene Nasen, verstopfte Taschen) bei der Prüfung von über 40 Bauteilen eindeutig und korrekt identifizieren. Auch das Lesen und Verarbeiten der QR-Codes verlief zuverlässig. In Verbindung mit der verbesserten triggergesteuerten Beleuchtung wurde eine sehr hohe Bildqualität erreicht, was sich positiv auf die Erkennungsgenauigkeit auswirkte. Während der praktischen Erprobung über mehrere Zyklen hinweg, traten keine Systemausfälle und kaum Fehlinterpretationen auf. Die Kombination aus Kamera, Roboter und SPS arbeitete stabil und ohne erkennbare Fehler. Die Trigger gesteuerte Beleuchtung führte zu einer deutlichen Reduktion der thermischen Belastung der Lichtquelle und verlängert somit deren Lebensdauer.

Die Einbindung der Robotersteuerung in die SPS verlief reibungslos über PROFINET. Durch die Nutzung der GSDML-Datei und die strukturierte Netzwerkadressierung konnte eine stabile Kommunikation hergestellt werden. Die vier Bewegungsprogramme zur Bauteilhandhabung wurden erfolgreich implementiert und über die SPS steuerbar gemacht. Zudem war die Erweiterung des Kamera-Jobs um die QR-Code-Erkennung problemlos möglich. Die intuitive Benutzeroberfläche des UR5e-Roboters und die grafische Oberfläche der Kamera-Software uniVision3 erwiesen sich als benutzerfreundlich. Anpassungen konnten auch ohne tiefgehende Programmierkenntnisse umgesetzt werden.

Das System erfüllt alle gesetzten Anforderungen und hat sich in der praktischen Validierung bewährt. Die Erweiterung um das Robotersystem stellt eine sinnvolle und konsequente Weiterentwicklung der ersten Studienarbeit dar. Durch die vollständige Automatisierung der Qualitätsprüfung einschließlich der physischen Sortierung ist ein wesentlicher Beitrag zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in der Zukunftsfabrik Bodensee geleistet worden.

11. Fazit / Ausblick

Im Rahmen dieser Studienarbeit konnte die Qualitätsprüfung in der Demontage maßgeblich weiterentwickelt und ein entscheidender Schritt hin zur vollständigen Automatisierung des Prozesses realisiert werden. Aufbauend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Arbeit wurde nicht nur die Integration eines bestehenden Kamerasystems vertieft, sondern vor allem durch die Einbindung eines kollaborativen Robotersystems die Lücke zwischen Prüfergebnis und Aussortierung der Teile geschlossen.
Die Kamera konnte dank softwareseitiger Optimierungen sowie verbesserter Beleuchtung unter realen Bedingungen zuverlässig zwischen Gut- und Schlechtteilen unterscheiden. Gleichzeitig wurde durch die Implementierung eines QR-Code-gestützten Identifikationssystems eine eindeutige Rückverfolgbarkeit jedes Bauteils ermöglicht – ein wichtiger Beitrag zur digitalen Transformation im Sinne von Industrie 4.0.
Besonders hervorzuheben ist die erfolgreiche Einbindung des Universal Robots UR5e in die bestehende Infrastruktur der Zukunftsfabrik Bodensee. Die Robotersteuerung wurde nahtlos über PROFINET an die SPS angebunden und durch strukturierte Programmierung konnten definierte Handhabungsprozesse präzise umgesetzt werden. Die Bauteile werden nun nach Prüfung automatisch vom Roboter entnommen und je nach Qualitätsurteil korrekt sortiert. Dies reduziert nicht nur den manuellen Aufwand erheblich, sondern erhöht auch die Prozesssicherheit und Effizienz der Gesamtanlage. Durch die umfassende Erprobung und Validierung im Zusammenspiel mit anderen Projektgruppen konnte gezeigt werden, dass das System robust, zuverlässig und bedienerfreundlich arbeitet. Auch die Datenweitergabe an den digitalen Zwilling wurde realisiert, sodass zukünftige Analysen, Simulationen und Optimierungen möglich sind. Insgesamt leistet die Studienarbeit einen relevanten Beitrag zur nachhaltigen Produktion und stärkt das Konzept der Kreislaufwirtschaft durch intelligente Automatisierung und datengetriebene Qualitätssicherung.

Im Hinblick auf eine zukünftige Weiterentwicklung des Projekts ergeben sich mehrere konkrete Ansatzpunkte, die auf den im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen aufbauen. Der Demontageprozess wurde erfolgreich automatisiert. Im nächsten Schritt könnte auch der Montageprozess vollständig automatisiert und über die SPS gesteuert werden. Hierbei könnte der Roboter dann nicht nur Demontierte Teile automatisch aussortieren, sondern auch die montieren.

In der aktuellen Umsetzung befindet sich die Kamera stationär über dem Bauteilträger. Eine mögliche Weiterentwicklung wäre die Positionierung der Kamera in Richtung Decke zusammen mit dem Licht. Hierbei wäre es dann möglich, die Teile vom Roboter in die Kamera halten zu lassen. Dies würde die Lichtverhältnisse nochmal ein Stück verbessern und die Thematik mit der genauen Positionierung der Teile verbessern.
Aktuell liegt der Fokus der Kamera auf statischen Qualitätsmerkmalen wie Brüchen oder Verunreinigungen. Künftig könnten auch Verschleißanalysen integriert werden. Dies würde eine prädiktive Instandhaltung ermöglichen, bei der die Lebensdauer einzelner Komponenten auf Basis von Daten abgeschätzt und der Austausch rechtzeitig eingeplant werden kann. Die statistische Auswertung der QR-Code-Daten bildet hierfür bereits eine solide Grundlage.
Darüber hinaus ist die Kamera „KI-Ready“ ausgelegt, was bedeutet, dass sie grundsätzlich für den Einsatz von KI-basierten Funktionen vorbereitet ist. Um diese erweiterten Möglichkeiten nutzen zu können, wäre jedoch der Erwerb einer entsprechenden Lizenz bei der Firma Wenglor erforderlich.

Literaturverzeichnis

[1] W. Wolfgang und H. Koch, Industrieroboter - Methoden der Steuerung und Regelung, München: Carl Hanser Verlag, 2022.

[2] M. Haun, Handbuch Robotik, Altrip: Springer Verlag, 2007.

[3] JUGARD+KÜNSTNER GmbH, „Cobot von Universal Robots - effiziente Automatisierung für ihre Automation," [Online]. Available: https://jk.de/Produkte/Robotik/Cobots/. [Zugriff am 15 05 2025].

[4] Universal Robots, „UR5e User Manual," [Online]. Available: https://www.universal-robots.com/manuals/EN/PDF/SW5_19/user-manual-UR5e-PDF_online/710-965-00_UR5e_User_Manual_en_Global.pdf. [Zugriff am 15 05 2025].

[5] K. Blog, „Tracking in der Logistik: Die Vorteile von RFID, QR- und Barcode," Brother International GmbH, 2020. [Online]. Available: https://www.brother.de/business-solutions/loesungen-in-der-praxis/business-blog/branchentrends/2020/tracking-in-der-logistik. [Zugriff am Mai 30 2025].

[6] H. Hippenmeyer und T. Moosmann, Automatische Identifikation für Industrie 4.0, Berlin: Springer Vieweg, 2016.

[7] wenglor sensoric elektronische Geräte GmbH, „Wenglor," 2025. [Online]. Available: https://www.wenglor.com/de/Anschluss-und-Netzwerktechnik/Anschlusstechnik/Verbindungsleitungen-und-T-Stecker/Verbindungskabel-M12-1-Y-Verteiler/p/ZDCG004. [Zugriff am 12 Juni 2025].

[8] Teradyne Robotics (Germany) GmbH, „UR5e - der flexible Leichtbauroboter von Universal Robots," [Online]. Available: https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur5-roboter/. [Zugriff am 05 05 2025].

Anhang

Tabelle 2: Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen

Werkzeug	Beschreibung der Nutzung
DeepL Write Pro	Korrektur- und Formulierungshilfe, Übersetzungshilfe
OpenAI ChatGPT-4o	Textkorrektur, Ideenfindung