DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen

Studiengang Elektrotechnik – Automation TEA22

Studienarbeit T3100 zum Thema

Qualitätsprüfung in der Demontage mit Hilfe eines Kamerasystems

---

von

Patrick Buschek & Viktor Golovchenko

Bearbeitungszeitraum:	KW 40 / 2024 bis KW 03 / 2025
Abgabedatum:	13.01.2025
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 13.01.2025

P.Buschek , V.Golovchenko

Patrick Buschek, Viktor Golovchenko

Kurzfassung

Die vorliegende Studienarbeit befasst sich mit der Integration und Inbetriebnahme eines Kamerasystems zur Qualitätsüberprüfung eines Demontageprozesses in einer industriellen Anlage. Nach einer Einführung, die die Aufgabenstellung und Zielsetzung darlegt, folgt eine detaillierte Beschreibung der Anlage, die als Grundlage für die Analyse dient. Anschließend wird basierend auf den vorherigen Studienarbeiten eine Anforderungsanalyse erstellt, die die Anforderungen an das Projekt und die anderen Projektgruppen enthalten.

Außerdem wird auf die Definition und die Anpassung des Prozesses und dessen Umsetzung eingegangen. Dabei werden zunächst grundlegende Prinzipien der Bildverarbeitung erläutert und der Aufbau sowie die Funktionsweise von Kamerasystemen beschrieben. Besonderes Augenmerk wird auf das in der Anlage eingesetzte Kamerasystem, die Wenglor B60P203 gelegt. Die praktische Implementierung umfasst die Montage, den elektrischen Anschluss und die Parametrierung des Kamerasystems mithilfe der Software „Wenglor Univision“. Zudem wird die Weitergabe der erfassten Daten und Entscheidungen an übergeordnete Steuerungssysteme wie SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) und MES (Manufacturing Execution System) behandelt.

Die Bewertung des Systems erfolgt auf Basis von Kriterien wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrationsfähigkeit. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche Weiterentwicklungen in der nächsten Studienarbeit gegeben. Des Weiteren wird ein Überblick gegeben welche Aufgaben abgeschlossen sind und welche Teil der nächsten Studienarbeit sind.

Abstract

This thesis deals with the integration and commissioning of a camera system for quality control of a disassembly process in an industrial plant. After an introduction that sets out the task and objective, a detailed description of the plant follows, which serves as the basis for the analysis. A requirements analysis is then created based on the previous study work, which contains the requirements for the project and the other project groups.

The definition and customisation of the process and its implementation are also discussed. Firstly, the basic principles of image processing are explained and the structure and functionality of camera systems are described. Particular attention is paid to the camera system used in the plant, the Wenglor B60P203. The practical implementation includes the installation, electrical connection and parameterisation of the camera system using the ‘Wenglor Univision’ software. The transfer of the recorded data and decisions to higher-level control systems such as PLC (programmable logic controller) and MES (manufacturing execution system) is also covered.

The system is evaluated on the basis of criteria such as accuracy, reliability and integration capability. Finally, the results are summarised and an outlook is given for possible further developments in the next student research 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. BESCHREIBUNG DER ANLAGE **2**

3. BEZUGNAHME AUF DIE VORANGEGANGENEN STUDIENARBEITEN **4**

4. OPTIMIERUNGSPOTENZIAL **7**

5. ANFORDERUNGSANALYSE **8**

6. DEFINITION UND ANPASSUNG DES PROZESSES **10**

7. BILDVERARBEITUNG MIT HILFE VON KAMERASYSTEMEN **12**

7.1. EINFÜHRUNG IN DIE BILDVERARBEITUNG 12

7.2. AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE VON KAMERASYSTEMEN 14

7.3. BILDVERARBEITUNGSTECHNIKEN 17

7.4. BELEUCHTUNGSTECHNIK 19

7.5. WENGLOR B60P203 22

8. INBETRIEBNAHME DES KAMERASYSTEMS **24**

8.1. MONTAGE 24

8.2. ANSCHLUSS 25

8.3. PARAMETRIERUNG 27

8.4. BILDAUSWERTUNG 29

8.5. WEITERGABE DER ENTSCHEIDUNGEN AN DIE SPS 34

9. BEWERTUNG **36**

10. FAZIT / AUSBLICK **37**

LITERATURVERZEICHNIS **39**

ANHANG **41**

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Anlage (eigene Darstellung) 2
Abbildung 2: Bauteile aus dem Demontageprozess [4, p. 4] 9
Abbildung 3: Flussdiagramm Prozess (eigene Darstellung) 10
Abbildung 4: End of Line Roboter (eigene Darstellung) 11
Abbildung 5: Auswirkung der Brennweite auf das Bild [7] 16
Abbildung 6: Gleichmäßige Beleuchtung [11] 19
Abbildung 7: Hellfeld [11] 20
Abbildung 8: Flachwinkel [11] 21
Abbildung 9: Dunkelfeld [11] 21
Abbildung 10: Wenglor B60P203 [13] 22
Abbildung 11: Aufbau Smart Camera B60 [12] 22
Abbildung 12: Montagepunkt Wenglor Kamera (eigene Darstellung) 24
Abbildung 13: Anschlussbild Wenglor B60P203 [13] 25
Abbildung 14: Vergabe der IP-Adresse (eigene Darstellung) 27
Abbildung 15: Live-Aufnahme der Kamera (eigene Darstellung) 28
Abbildung 16: Werkstück mit einer abgebrochenen Nase (eigene Darstellung) 29
Abbildung 17: Ausgewählte Bildverarbeitungswerkzeuge (eigene Darstellung) 30
Abbildung 18: Eingrenzung des Auswertungsbereiches (eigene Darstellung) 31
Abbildung 19: Erstellung und Auswertung eines Binärbildes (eigene Darstellung) 31
Abbildung 20: Anpassung des Schwellenwertes (eigene Darstellung) 32
Abbildung 21: Zuweisung der Adressen-Offset (eigene Darstellung) 32
Abbildung 22: Erstellen eines Triggers (eigene Darstellung) 33
Abbildung 23: Integration der Kamera ins Netzwerk (eigene Darstellung) 34
Abbildung 24: Zuweisung der Kamera einer IP-Adresse in PROFINET (eigene Darstellung) 34
Abbildung 25: Logische Auswertung der Prüfergebnisse (eigene Darstellung) 35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufgabenübersicht *38*
Tabelle 2: Übersicht über die Nutzung von KI-basierten Werkzeugen *41*

Abkürzungsverzeichnis

BS	Bedienseite
CCD	Charge-Coupled-Devices
CMOS	Complementary-Metal-Oxide-Semiconductor
EoL	End of Line
GBS	Gegenbedienseite
GSDML	General Station Description Markup Language
i.O.	in Ordnung
LAN	Local Area Network
MES	manufacturing execution system
PoE	Power over Ethernet
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
UR	Universal Robots

1. Einleitung

Die vorliegende Studienarbeit befasst sich mit der Integration eines Kamerasystems der Firma Wenglor in die Demontagestation einer bestehenden Produktionslinie der Zukunftsfabrik Bodensee. Ziel ist es, die Effizienz und Präzision der Demontage durch den Einsatz von moderner Bildverarbeitungstechnologie zu verbessern.

1.1. Aufgabenstellung

Diese Studienarbeit beschäftigt sich mit der Integration eines Kamerasystems der Firma Wenglor in die Demontagestation einer bestehenden Produktionslinie der Zukunftsfabrik Bodensee. Hierzu wird zunächst der Aufbau und die Funktion der Produktionslinie erläutert. Im nächsten Schritt steht die Einarbeitung in die bestehenden Vorarbeiten im Vordergrund. Dabei geht es darum, sich einen Überblick über die bereits durchgeführten Schritte zu verschaffen und alle relevanten Informationen zusammenzutragen. Anschließend wird der Aufbau und die Funktion eines Kamerasystems analysiert und dargelegt. Des Weiteren folgt die Anforderungsanalyse an das Projekt. Im nächsten Schritt wird das Wenglor-Kamerasystem in Betrieb genommen und mit der SPS verbunden. Die Kamera bewertet dabei das demontierte Teil und gibt anschließend ein Signal an die SPS weiter, um die Entscheidung an das Produktionssystem zu übermitteln. Danach wird das System aufgebaut und an die spezifischen Gegebenheiten angepasst. Parallel dazu erfolgt die Definition des Prüfungsablaufes und die Anpassung des Demontageprozesses.

1.2. Zieldefinition

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

- Einarbeitung in vorherige Studienarbeiten
- Erstellen einer Anforderungsanalyse
- Inbetriebnahme des Kamerasystems
- Weitergabe der Entscheidung an die SPS
- Aufbau und Anpassung des Systems
- Definition und Anpassung des Prozesses

2. Beschreibung der Anlage

Um eine Anforderungsanalyse erstellen zu können und die Abhängigkeiten zu identifizieren, wird im folgenden Kapitel zunächst der Aufbau und die Funktion der einzelnen Analgenbestandteile erläutert. Die in Abbildung 1 gezeigte Anlage steht im PTZ der DHBW Ravensburg Campus Friedrichshafen. Ziel dieser Anlage ist es, eine Kreislaufwirtschaft mit Hilfe eines hohen Automatisierungsgrads darzustellen. In Kombination mit einer zweiten Anlage sollen Bauteilträger montiert oder demontiert werden. Die Anlage besteht aus einigen Stationen welche der Bauteilträger durchläuft.

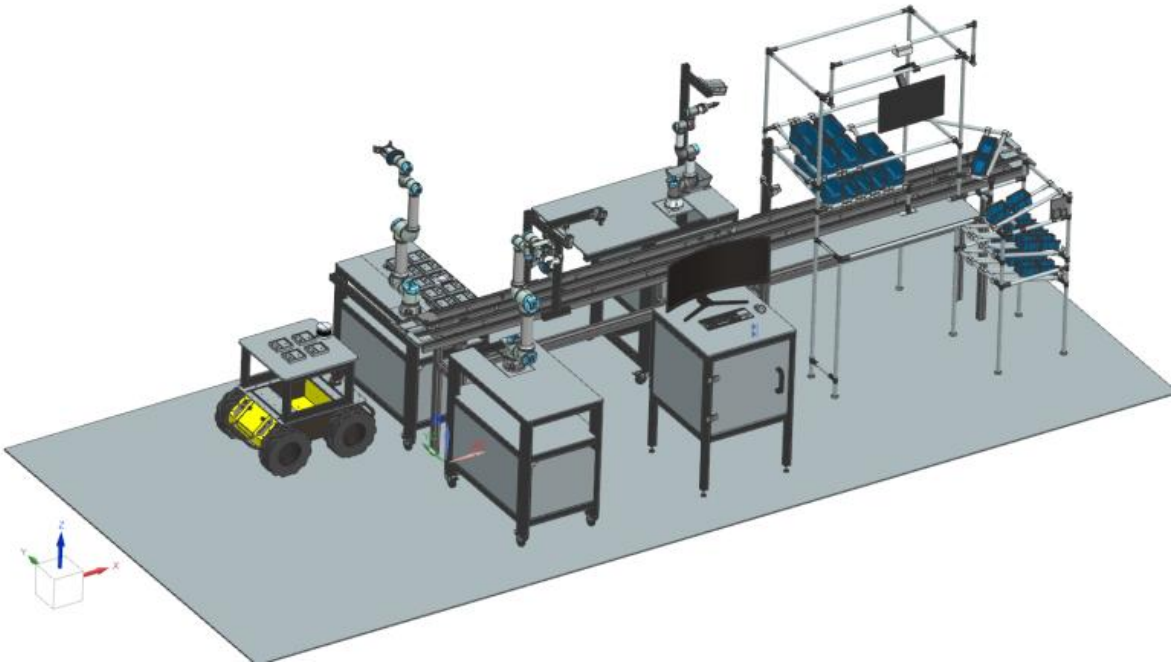


Abbildung 1: Aufbau der Anlage (eigene Darstellung)

Es gibt mehrere Varianten, wie der Bauteilträger samt Bauteil bestückt werden kann. Zunächst dockt der mobile Roboter, kommend von der zweiten Anlage an und stellt vier Bauteilträger bereit montiert werden sollen.

In der ersten Produktionsstation übernimmt ein kollaborativer Roboter der Firma Universal Robots[1] den Bauteilträger inklusive Bauteil und platziert ihn auf das Förderband. Von dort aus fährt der Träger weiter bis zur nächsten Station wo das Bauteil im Bin Picking-Prozess mit Kunststoffstiften von einem zweiten Roboter bestückt werden kann.

[1] Im Folgenden UR genannt

Wenn diese Stifte eingesetzt werden läuft der Träger bis zum Ende, woraufhin der Umleger den Träger auf die gegenüberliegende Seite des Förderbands transportiert, welches in entgegengesetzter Richtung verläuft.
Die nächste Station ist der Handarbeitsplatz, an dem die Bauteile manuell, mit Unterstützung eines Vision Systems montiert werden.
Danach werden die Bauteile von Hand wieder auf das Förderband gelegt. An der folgenden Station, der „End of Line Testing Station“, werden die Bauteile auf Fehler überprüft. Wenn diese fehlerfrei montiert wurden und keine Mängel aufweisen, laufen sie auf dem Förderband weiter und werden mit dem Umleger auf das andere Förderband transportiert.
Anschließend nimmt der Roboter die fertig montieren Bauteile und legt sie auf den mobilen Roboter, der diese zur zweiten Anlage transportiert.
Wurden die Bauträger in der zweiten Anlage entsprechend verwertet, kommen diese wieder zur Demontage mit Hilfe des mobilen Roboters zurück. Wie auch beim Montageprozess, wird der Bauteilträger vom Roboter auf das Förderband gelegt und bis zum Handarbeitsplatz befördert. Hier wird das Bauteil dann händisch demontiert und zurück auf das Förderband gelegt und zum ersten Roboter transportiert. Bevor dies jedoch geschieht, werden die Teile auf Qualität und richtige Demontage geprüft. Wenn die Bauteile in Ordnung sind, wir das eine Teil zum Handarbeitsplatz zurückgeführt und das andere läuft auf dem Förderband weiter, wo es dann eingelagert wird. Sollten die Bauteile Qualitätsmängel aufweisen oder nicht richtig demontiert sein, werden diese von einem Roboter genommen und entweder in einer Kiste entsorgt oder zum Handarbeitsplatz zur erneuten Demontage zurückgeführt.
Die Steuerung und Spannungsversorgung der gesamten Anlage werden über einen Schaltschrank der Firma Rittal bereitgestellt. In diesem Schaltschrank befindet sich unter anderem eine speicherprogrammierbare Steuerung[2] der Firma Siemens. Hierüber werden alle Funktionen und Bewegungen der Anlage realisiert. Außerdem werden hier alle Teilnehmer über mehrere Switches vernetzt.

[2] Im Folgenden SPS genannt

3. Bezugnahme auf die vorangegangenen Studienarbeiten

Die vorliegende Arbeit basiert auf vier vorangegangenen Studienarbeiten, in denen an der Demontageprozess und der End-of-Line[3]-Station konzipiert und vollständig oder teilweise implementiert wurden. Diese Arbeiten liefern die Grundlage für die Optimierung und Weiterentwicklung des hier behandelten Prozesses.

Aßfalg, Kunz und Maikle behandelten in ihrer Studienarbeit T3100 im Jahr 2022 die Auswahl, Recherche und den Aufbau einer EoL-Testing-Station. In dieser Arbeit wurden Kameras der Helios- und Triton-Serie integriert und mit der ArenaView Software konfiguriert. Dabei wurde die Kalibrierung und Orientierung der Kameras analysiert, um ihre Funktionalität sicherzustellen. Außerdem wurden Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen von Lichtverhältnissen auf die Kameraaufnahmen umgesetzt. Die praktische Implementierung umfasste die Integration der Kameras in bestehende Produktionsprozesse, wodurch erste Ansätze für eine automatisierte Qualitätskontrolle entwickelt wurden [1].

Gorban und Zhao widmeten sich in der T3100 in 2023 der Erweiterung der EoL-Station durch 3D-Kameratechnik im Jahr 2023. Zentrale Entwicklungen umfassten die Erstellung von Punktwolken, ergänzt durch Farbinformationen der Triton-RGB-Kamera. Es wurde ein Algorithmus programmiert, der Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Zuständen in den Punktwolken visualisiert. Zusätzliche Anpassungen an den physischen und softwaretechnischen Komponenten verbesserten die Bildaufnahme- und Verarbeitungsprozesse. Die Implementierung dieser Technologien wurde in Pilotversuchen innerhalb der Lernfabrik getestet, um die Praktikabilität zu evaluieren [2].

In der anschließenden Studienarbeit T3200 setzten dieselben Studenten im Jahr 2024 die zuvor erzielten Ergebnisse fort. Sie konzentrierte sich auf die Verfeinerung der 3D-Kameratechnik. Zusätzliche Methoden zur Fehleridentifikation wurden entwickelt und physische Anpassungen an der Kameraposition vorgenommen. Die softwaretechnische Weiterentwicklung ermöglichte eine präzisere Analyse der aufgenommenen Daten. Außerdem wurde die Integration der Kameras in die bestehende Produktionslinie optimiert. Die Implementierung dieser Systeme führte zu einer verbesserten Erkennung von Abweichungen und lieferte präzisere Daten für die Qualitätskontrolle [3].

[3] Im Folgenden EoL genannt.

In der Studienarbeit T3101 von Klösel und Treichel aus dem Jahr 2024 wurde ein detailliertes Konzept für den Demontageprozess entwickelt, das die Integration in bestehende Systeme ermöglicht. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Neukonzipierung der Werkstückträger, um unterschiedliche Bauteilvarianten sicher und präzise zu transportieren. Die Werkstückträger wurden mittels eines additiven Fertigungsverfahrens angepasst. Drei Vertiefungen wurden eingeführt, um die Bauteile positionsgenau zu fixieren und eine effektive Separation der Demontageteile zu gewährleisten. Diese geometrischen Anpassungen berücksichtigten gleichzeitig die Anforderungen des Montageprozesses, sodass keine Beeinträchtigungen entstanden.

Ein weiterer zentraler Aspekt war die Integration eines UR5E-Roboters, der am Ende der Prozesskette verschiedene Aufgaben übernahm. Der Roboter führte die Bauteile in den Überprüfungsbereich einer Kamera, um potenzielle Schäden zu analysieren, und sortierte die demontierten Teile in Gut- und Schlechtteile. Zusätzlich konnte der UR5E-Roboter Bauteile zurück zum Handarbeitsplatz führen oder für eine spätere Weiterverarbeitung bereitstellen. Diese Funktionen wurden durch die Verwendung eines Schunk-Greifers realisiert, der mit spezifischen Parametern konfiguriert und programmiert wurde.

Die Implementierung von QR-Code-Scannern war ein weiterer Fortschritt, der in der Studienarbeit behandelt wurde. Diese Scanner wurden entlang des Transfersystems installiert, um die Werkstückträger kontinuierlich und zuverlässig zu identifizieren. Die erfassten Daten ermöglichten es dem MES-System, zwischen Montage- und Demontageprozessen zu unterscheiden. Dies schuf eine Grundlage für die Echtzeitsteuerung und die weitere Optimierung der Prozessabläufe.

Zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft wurde das Transfersystem um eine Rollenbahn erweitert, die geprüfte Teile automatisch dem Produktionsprozess zuführte. Gutteile wurden entweder direkt in den Montageprozess integriert oder zum Handarbeitsplatz transportiert, während Schlechtteile separiert und ausgeschleust wurden. Ein Materiallager wurde als Übergangslösung eingeführt, um die temporäre Lagerung der Bauteile zu ermöglichen, bis eine direkte Rückführung zum Montageprozess implementiert werden konnte.

Zuletzt wurde die Wenglor Kamera B60P203 installiert, um eine abschließende Qualitätskontrolle der Bauteile durchzuführen. Die Kamera sollte verschiedene Merkmale wie Form, Lage und Vollständigkeit überprüfen.

Die Ergebnisse dieser Kontrolle sollten als Entscheidungsgrundlage für die weitere Verarbeitung der Bauteile dienen. Die Integration der Kamera und ihre Systemanbindung wurden als entscheidender Schritt für die Qualitätsprüfung angesehen, konnte aber aus Zeitgründen nicht realisiert werden [4]. Dies soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit nachgeholt werden. Zu diesem Zweck wird das Konzept im folgenden Kapitel auf Optimierungspotential untersucht.

4. Optimierungspotenzial

Die Qualitätsprüfung in der End-of-Line-Station bietet verschiedene Ansatzpunkte zur Optimierung. Basierend auf den abgeschlossenen Studienarbeiten wurden mehrere Maßnahmen identifiziert, die durch physische und softwaretechnische Anpassungen sowie durch neue Technologien umgesetzt werden können. Ein relevanter Aspekt der Qualitätsprüfung ist die physische Anordnung der Kamerasysteme. In der Studienarbeit über die EoL-Station von Gorban und Zhao wurde analysiert, wie die Positionierung und Ausrichtung der Kameras die Bildqualität beeinflusst. Die Anpassung der Kamerahöhe sowie des Neigungswinkels ermöglichte eine bessere Erfassung der Bauteile. Diese Maßnahmen reduzierten Reflexionen und verbesserten die Fokussierung, was die Fehlererkennung erleichterte [3, p. 9].

Ein weiteres identifiziertes Optimierungspotenzial liegt in der Kontrolle der Lichtverhältnisse in der EoL-Station. Variierende Lichtbedingungen, insbesondere durch Tageslicht, führten zu Schwankungen in der Bildqualität. In der oben genannten Studienarbeit wurde eine provisorische Lösung mit einem Karton-Abschirm getestet, die erste Veränderungen aufzeigte [3, p. 11ff]. Die Umsetzung einer dauerhaften Lösung, wie einer regulierbaren Lichtquelle oder eines fest installierten Lichtschutzes, wird als potenziell wirksam eingeschätzt.

Außerdem wurden Kameras wie der Helios2 3D-Kamera und der Triton RGB-Kamera integriert. Diese Systeme fusionieren 3D-Punktwolken und Farbdaten, wodurch detaillierte visuelle und geometrische Darstellungen der Bauteile entstehen. Verbesserungen in der Software-Integration und Kalibrierung dieser Systeme könnten die Qualität der Ergebnisse weiter erhöhen.

Die Analyse von Punktwolken ist ein zentraler Bestandteil der Qualitätsprüfung mittels eine 3D-Kamera. Ein Algorithmus vergleicht die Punktwolken und markiert Unterschiede farblich. Eine Optimierung dieses Algorithmus könnte die Effizienz der Fehlererkennung und die Standardisierung der Ergebnisse fördern.

Die identifizierten Optimierungspotentiale werden bei der Anforderungsanalyse im Folgenden berücksichtigt.

5. Anforderungsanalyse

Die vorliegende Arbeit soll an die abgeschlossenen Studienarbeiten anknüpfen, indem sie die vorgeschlagenen, bzw. umgesetzten Konzepte im Bereich der EoL-Station sowie des Demontageprozesses konsequent weiterentwickelt und erweitert. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Integration moderner Kamerasysteme in den Demontageprozess, um die Qualitätssicherung weiter zu verbessern. Des Weiteren sollen Grundlagen für eine leistungsfähige, standortübergreifende Datenintegration geschaffen werden. Der Einsatz eines Power-over-Ethernet[4]-fähigen Switches und zusätzlicher Netzwerkkarten optimiert den Verdrahtungsaufwand und erleichtert die Integration neuer Kamerasysteme. Die zukünftige Entwicklung soll eine weitere Steigerung der Netzwerkbandbreite und die Optimierung der Software-Schnittstellen beinhalten.

Zu der Qualitätsprüfung selber

Basierend auf den Zielsetzungen und der bisherigen Analyse wurden für das Projekt folgende Anforderungen definiert:

1. Das Kamerasystem muss in der Lage sein, zwischen zwei verschiedenen demontierten Bauteilen (siehe Abbildung 2) auf einem Werkstückträger eindeutig zu unterscheiden, unabhängig von deren Position oder Orientierung.
2. Das Kamerasystem muss relevante Beschädigungen an den Bauteilen erfassen können.
3. Die Bewertung eines Bauteils erfolgt durch den Vergleich mit einem vordefinierten Musterbauteil. Abweichungen vom Muster dienen als Grundlage für die Klassifikation in „Gutteil“ oder „Schlechtteil“. Um den Aufwand in Grenzen zu halten und die Rechenleistung des Systems nicht unnötig zu belasten, sind die Abweichungen auf das Wesentliche zu beschränken und klar zu definieren.
4. Die Kamera muss die Ergebnisse der Qualitätsprüfung – „Gutteil“ oder „Schlechtteil“ – an die SPS übermitteln, um eine korrekte Weiterbehandlung der Bauteile zu ermöglichen.
5. Die Parametrierung des Kamerasystems soll benutzerfreundlich erfolgen, um schnelle Anpassungen an unterschiedliche Bauteile oder Prüfanforderungen zu ermöglichen.
6. Die Verarbeitung und Übermittlung der Prüfergebnisse müssen in Echtzeit erfolgen, um den Produktionsfluss nicht zu beeinträchtigen.

[4] Im Folgenden PoE genannt.

7. Das Kamerasystem muss unter variablen Lichtbedingungen, wie z. B. wechselndem Tageslicht, zuverlässig arbeiten. Gegebenenfalls ist eine zusätzliche Beleuchtung zu integrieren.

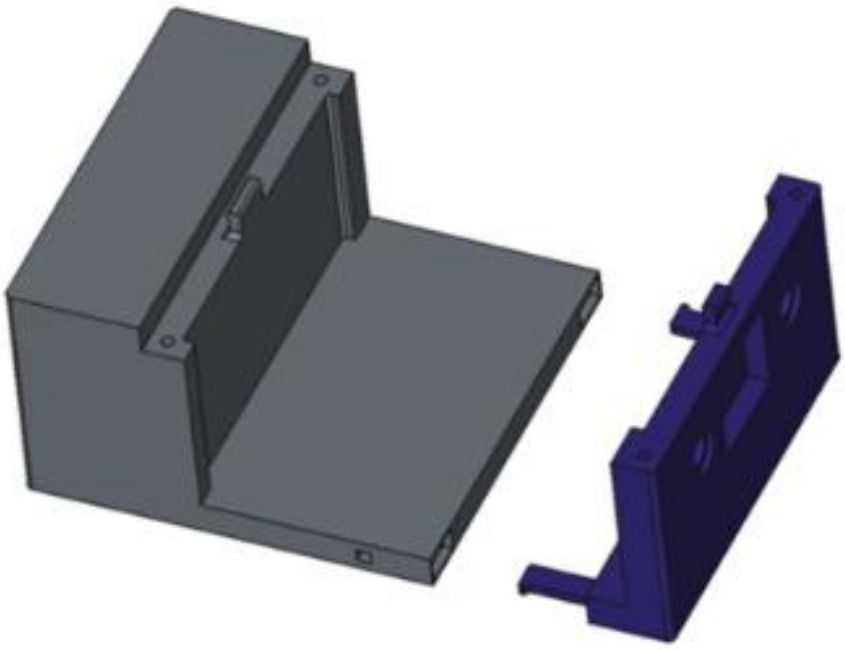


Abbildung 2: Bauteile aus dem Demontageprozess [4, p. 4]

6. Definition und Anpassung des Prozesses

Dadurch, dass in den bestehenden Prozess der Anlage eingegriffen werden muss, wird in diesem Kapitel zunächst die Definition und die Anpassung des Demontageprozesses beschrieben. Diese Definition ist elementar, um die Funktionalitäten der Kamera in Kombination mit der SPS zu definieren und realisieren.

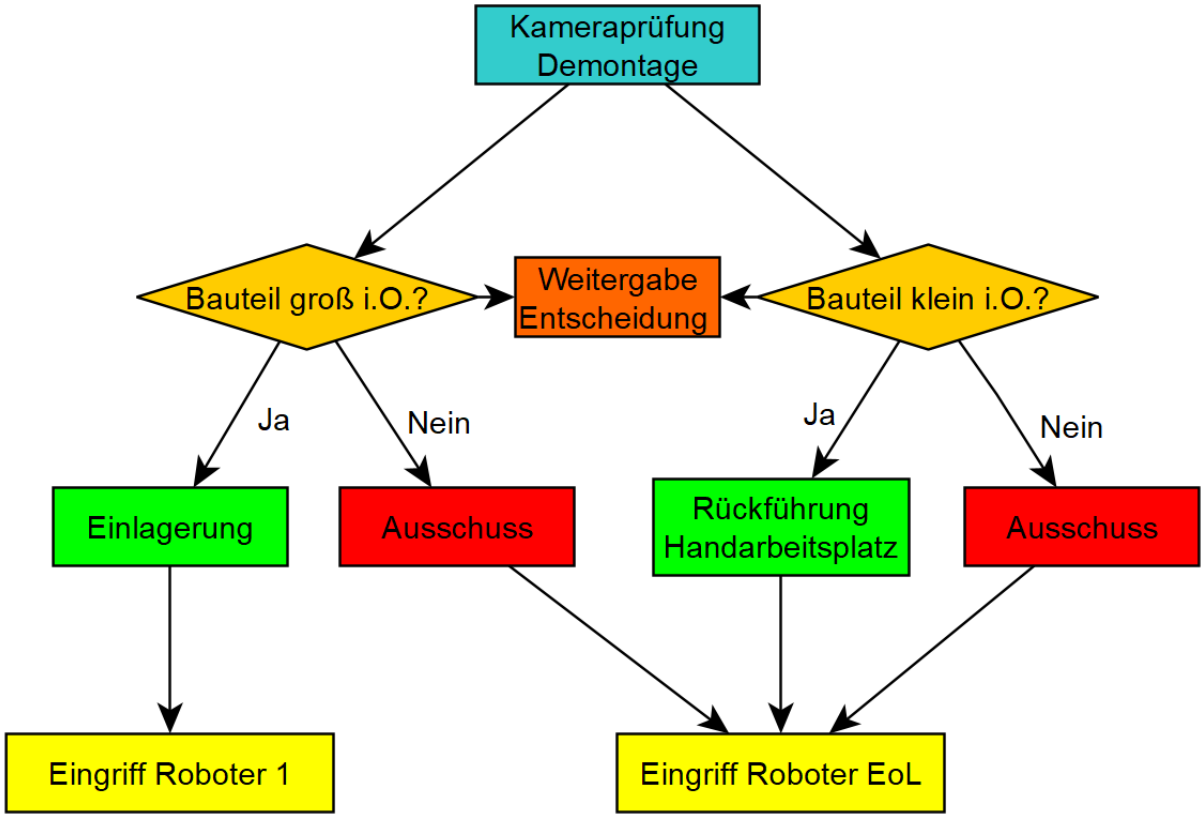


Abbildung 3: Flussdiagramm Prozess (eigene Darstellung)

Um die Bauteile auf ihre Qualität überprüfen zu können, muss der Bauteilträger unter der Kamera stehen bleiben. Ziel dieser Prüfung ist es, die Qualität der Bauteile zu beurteilen und über deren weitere Verwendung oder Ausschleusung zu entscheiden. Dazu wurde bereits ein Stopper an dieser Stelle bereitgestellt. Sobald der Bauteilträger bereit für die Prüfung ist, wird ein Signal von der SPS an die Kamera weitergegeben. Im nächsten Schritt erfolgt die Auslösung der Kamera und die Verarbeitung des Bilds. Ist dieser Vorgang abgeschlossen, wird eine Entscheidung über die Qualität an die SPS zurückgegeben. Sofern das große Bauteil als in Ordnung (i.O.) bewertet wird, erfolgt dessen Einlagerung zur späteren Verwendung oder Weiterverarbeitung. Die Einlagerung erfolgt in der 1. Station der Anlage und wird mit Hilfe des Förderbands dorthin transportiert. Sollte das große Bauteil jedoch die Qualitätsanforderungen nicht

erfüllen und somit als nicht in Ordnung eingestuft werden, wird es als Ausschuss klassifiziert. In diesem Fall nimmt der Roboter (Abbildung 4) das Bauteil auf und legt es in einer Kiste ab. Parallel zur Prüfung des großen Bauteils erfolgt die Prüfung des kleinen Bauteils. Wird dieses als in Ordnung (i.O.) eingestuft, erfolgt eine Rückführung an den Handarbeitsplatz für die manuelle Weiterverarbeitung oder Montage. Andernfalls wird auch dieses Bauteil als Ausschuss klassifiziert und vom Roboter aufgenommen und in der Kiste abgelegt.

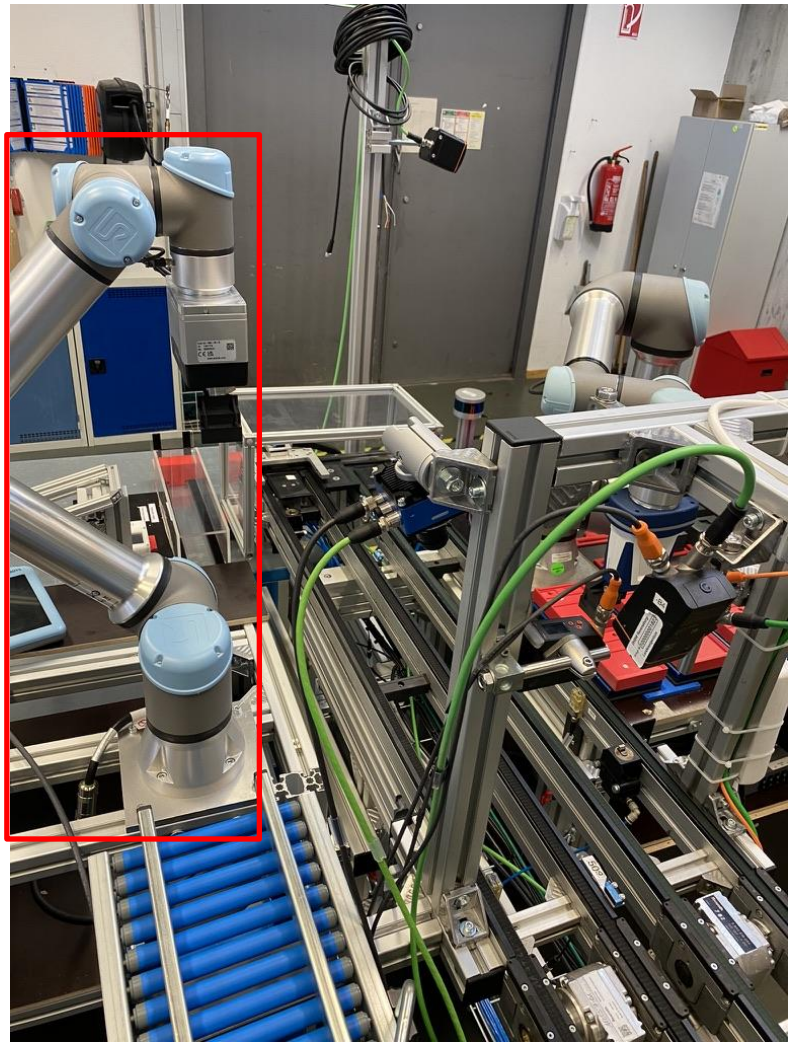


Abbildung 4: End of Line Roboter (eigene Darstellung)

7. Bildverarbeitung mit Hilfe von Kamerasystemen

Um eine Entscheidung über die Qualität des demontierten Teils treffen zu können, wird in diesem Kapitel zunächst auf die theoretischen Grundlagen zur Bildverarbeitung mit Hilfe von Kamerasystemen eingegangen.

7.1. Einführung in die Bildverarbeitung

Die automatische Sichtprüfung in der Industrie mit Hilfe von Kamerasystemen nimmt seit den 1970er Jahren stetig zu. Ziel ist es, bestimmte Qualitätsmerkmale zu überprüfen und Veränderungen im Produktionsprozess zu erkennen.
Folgende Merkmale können mit Hilfe von Kamerasystemen geprüft werden:

- Vollständigkeit
- Lagerichtigkeit
- Maß-, Form- und Winkelhaftigkeit von Werkstücken
- Oberflächenbeschaffenheit, Struktur
- Optische Eigenschaften
- Materialidentifikation
- Defekte

Die Bildverarbeitung mit Hilfe von Kamerasystemen bietet ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten in der Industrie, so werden zum Beispiel Kamerasysteme in Verbindung mit Robotern zur Steuerung von Roboterarmen eingesetzt. Die Kamera erkennt dann genau die Position und Ausrichtung von Objekten und kann die Steuerung vom Roboter übernehmen. Ein weiteres Beispiel ist die Prüfung der Qualität von gespritzten Teilen in der Kunststoffindustrie. Die Kamera kann die Maße prüfen, Fertigungsfehler erkennen und somit Gut- von Schlechtteil unterscheiden.

Die manuelle Sichtprüfung durch Personal kann mit mehreren Nachteilen verbunden sein. Oft ist es eine monotone und ermüdende Tätigkeit, die sowohl physisch als auch mental anstrengend sein kann. Dadurch leidet nicht nur die Motivation, sondern auch die Konzentration, was zu Fehlern führen kann. Zudem sind manuelle Vorgänge häufig subjektiv, da sie stark von der individuellen Wahrnehmung und Erfahrung der Person abhängen. Dies führt zu einer schlechten Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Außerdem erfordert die detaillierte Dokumentation solcher Prozesse zusätzlichen Aufwand, der viel Zeit und Energie kostet.

In vielen Fällen sind manuelle Methoden zudem zu langsam, um effizient zu sein, und verursachen höhere Kosten im Vergleich zu automatisierten Alternativen. Die Automatisierung der Sichtprüfung bietet hier eine vielversprechende Lösung. Ein solches System arbeitet ohne Ermüdung, liefert objektive und reproduzierbare Ergebnisse und ermöglicht zudem eine lückenlose sowie detaillierte Dokumentation. [5]

7.2. Aufbau und Funktionsweise von Kamerasystemen

Ein Kamerasystem besteht im Wesentlichen aus drei zentralen Komponenten: der Kamera, dem Objektiv und der Beleuchtung. Das Herzstück des Systems ist die Kamera, die die Fotosensoren enthält und für die Aufnahme sowie Verarbeitung der Bilder zuständig ist. Eine Schlüsselrolle spielt hierbei der optoelektronische Sensor, auch Bildchip genannt. Dieser wandelt Lichtenergie, also Photonen in elektrische Signale um. Der Begriff „optisch“ bezieht sich dabei nicht nur auf den sichtbaren Bereich des Lichtspektrums, sondern umfasst auch noch andere Wellenlängenbereiche, wie das ultraviolette oder infrarote Licht. Halbleitersensoren, vor allem Charge-Coupled-Devices Sensoren und Complementary-Metal-Oxide-Semiconductor Sensoren, gehören heute zu den wichtigsten optoelektronischen Sensoren. Sie nutzen den fotoelektrischen Effekt, um Licht in elektrische Signale umzuwandeln und können dabei Licht aus einem breiten Wellenlängenbereich erfassen. CCD-Sensoren sind besonders empfindlich und decken je nach Bauart einen Bereich von etwa 300 nm bis über 1000 nm ab. Ihr Empfindlichkeitsmaximum liegt im grünen Bereich bei etwa 550 nm. Die Funktionsweise von CCD-Sensoren kann man sich wie ein Schieberegister vorstellen: Die Ladungen werden zeilenweise weitergegeben und dann ausgelesen. Das sorgt für eine hohe Präzision, erlaubt aber keinen direkten Zugriff auf einzelne Pixel. Die CMOS-Sensoren hingegen arbeiten ein bisschen anders. Hier hat jeder Pixel eine eigene Elektronik, die das Signal verstärkt und direkt ausliest. Dadurch sind CMOS-Sensoren weniger anfällig für Überlauf-Effekte, sogenannte Blooming-Effekte und können bestimmte Signalverarbeitungen direkt im Sensor durchführen. Der Nachteil ist, dass durch die zusätzliche Elektronik weniger Platz für die lichtempfindliche Fläche bleibt. Das wird oft durch Mikrolinsen ausgeglichen, die das Licht gezielt auf die lichtempfindlichen Bereiche lenken.

Technische Bildsensoren, die auf diesen Technologien basieren, kommen in verschiedenen Formen vor. Zeilensensoren werden zum Beispiel in Scannern verwendet, während Flächensensoren in Digitalkameras und Camcordern zum Einsatz kommen. Ein Pixel ist dabei die kleinste Einheit und enthält sowohl den lichtempfindlichen Sensor als auch die zugehörige Elektronik. Während CMOS-Sensoren durch ihre kompakte Bauweise und zusätzliche Funktionen punkten, liefern CCD-Sensoren oft die bessere Bildqualität – vor allem in anspruchsvollen Anwendungen.

Vorteile CMOS-Bildsensoren gegenüber CCD-Bildsensoren:

- eine etwas höhere Ähnlichkeit zur Retina wegen der Möglichkeit einer gewissen Vorverarbeitung direkt auf dem Pixel
- individuelle Auslesbarkeit einzelner Pixel
- höhere Bildraten
- deutlich geringere Blooming-Effekte [6]

Des Weiteren wird bei Kameras unterschieden, ob der Bildchip Farbe erkennt oder nur Schwarz/Weiß. Der Einsatz einer Farbkamera, also einer Kamera mit Color-Bildchip, ist in den wenigsten Fällen erforderlich. Erst wenn Merkmale über kleine Farbunterschiede detektiert werden müssen, empfiehlt es sich, mit Color-Bildchips zu arbeiten. Dies liegt darin begründet, dass monochrome Sensoren eine deutlich höhere Lichtempfindlichkeit als Color-Bildchips aufweisen und sich durch den geringeren Datenverkehr positiv auf die Prozesszeit auswirken. Ein weiterer wichtiger Bestandteil eines Kamerasystems ist das Objektiv. Dieses stellt einen wesentlichen Faktor für die Bildqualität und die visuelle Wirkung einer Aufnahme dar. Aus diesem Grund stehen als Zubehör eine Reihe von verschiedenen Objektiven zur Verfügung. Unterschieden wird zwischen den Objektiven vor allem bei der Lichtstärke und der Brennweite. Die Lichtstärke eines Objektivs bestimmt, wie viel Licht durch die Linsenkonstruktion auf den Kamerasensor gelangt. Objektive mit hoher Lichtstärke ermöglichen den Einsatz großer Blendenöffnungen. Dies bietet insbesondere bei schlechten Lichtverhältnissen, wie in der Dämmerung, den Vorteil, Aufnahmen ohne Verzerrungen anzufertigen, da kürzere Belichtungszeiten realisiert werden können. Die zweite wichtige Kenngröße eines Objektivs ist die Brennweite. Sie bestimmt den erfassten Bildwinkel und beeinflusst, ob ein Motiv in seiner gesamten Breite dargestellt oder ein vergrößerter Ausschnitt fokussiert wird.

Die Bandbreite reicht dabei von extrem weitwinkligen Fischaugenobjektiven, die ein besonders großes Sichtfeld abdecken, bis hin zu Superteleobjektiven, die entfernte Motive stark vergrößert abbilden können. [7]

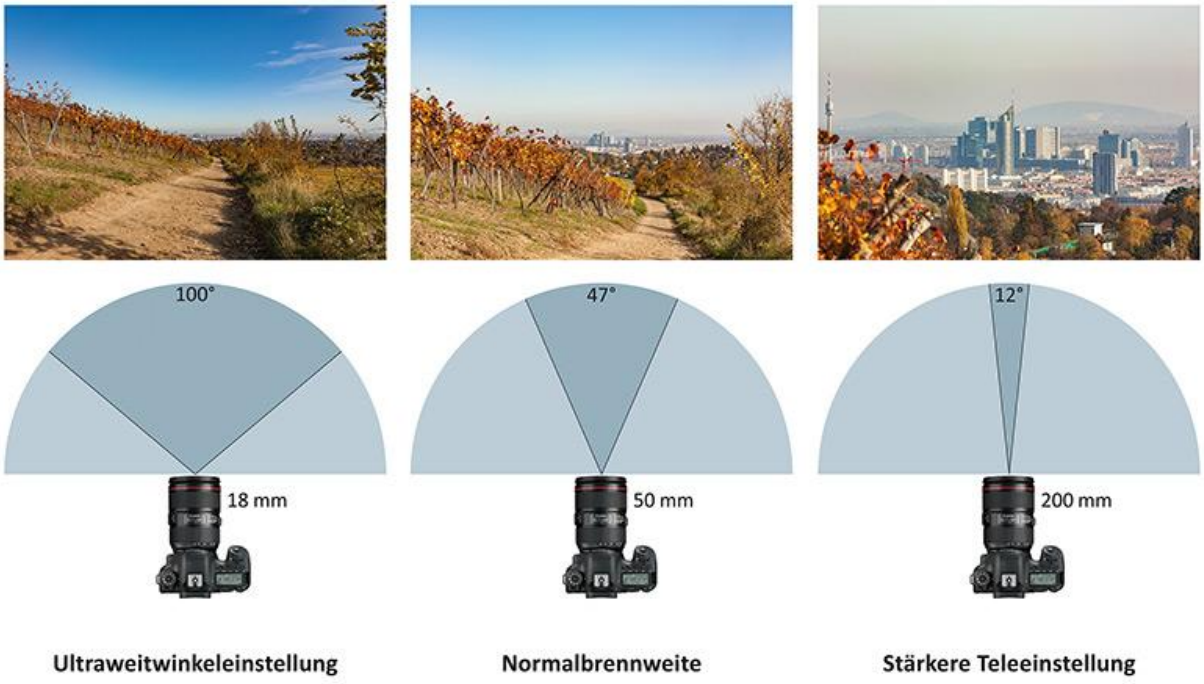


Abbildung 5: Auswirkung der Brennweite auf das Bild [7]

7.3. Bildverarbeitungstechniken

Um die von der Kamera aufgenommenen Bilder analysieren zu können, müssen diese zunächst verarbeitet werden. In der Regel wird das von der Kamera aufgenommene Bild nicht direkt in der Anwendung verarbeitet. Stattdessen erfolgt zunächst eine Vorverarbeitung, um die Bildqualität gezielt an die Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls anzupassen. Typische Beispiele hierfür sind die Reduzierung von Bildrauschen sowie die Optimierung von Helligkeit und Kontrast. Einige dieser Vorverarbeitungsschritte können bereits von der Kamera selbst übernommen werden. Eine hochwertige Vorverarbeitung führt zu einer besseren Bildqualität und verbessert die Ergebnisse der Bildverarbeitung in der Anwendung. Außerdem wird dadurch auch Arbeitsspeicher in der Anwendung gespart. Um dies zu ermöglichen, werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Es gibt Filter, wie z. B. der Gauß- oder Mittelwertfilter, die ungewünschte Einflüsse herausfiltern.

Neben diesen klassischen Methoden werden heutzutage auch fortschrittlichere Algorithmen und Technologien genutzt, wie beispielsweise adaptive Filter oder maschinelles Lernen, um spezifische Bilddetails zu verbessern oder hervorzuheben.

Um Merkmale in den Bildern zu identifizieren, kommen zusätzlich Werkzeuge wie Skalierung, Drehung und Translation zum Einsatz. Diese Transformationen erlauben es, Objekte unabhängig von ihrer Größe, Position oder Orientierung im Bild zu erkennen. Besonders wichtig sind diese Techniken, wenn die Bildverarbeitung in dynamischen Umgebungen stattfindet, in denen Objekte sich bewegen oder in unterschiedlichen Perspektiven erscheinen.

Neben der Vorverarbeitung und Merkmalsextraktion spielt die Farbverarbeitung eine entscheidende Rolle. Hierbei wird die Farbinformation eines Bildes analysiert, um spezifische Eigenschaften oder Unterschiede zu erkennen.

Verfahren wie Farbraumanpassung (z. B. Umwandlung von RGB nach HSV) und Farbsegmentierung helfen dabei, relevante Objekte in einem Bild besser hervorzuheben.

Neben der Verarbeitung zweidimensionaler Bilddaten gewinnt die Tiefenbildverarbeitung im 3D-Bereich zunehmend an Bedeutung. Tiefenbilder, auch als Depth Maps bezeichnet, enthalten neben den üblichen Bildinformationen zusätzliche Daten zur Entfernung eines jeden Pixels von der Kamera. Diese Informationen werden typischerweise mit speziellen Sensoren wie LiDAR gewonnen.

Die Verarbeitung von Tiefenbildern erlaubt es, Objekte und Szenen dreidimensional zu rekonstruieren und zu analysieren.

Anwendungen dieser Technik finden sich in der Robotik, wo Roboter durch 3D-Bilder ihre Umgebung verstehen und navigieren können, oder in der Industrie, wo Tiefeninformationen zur präzisen Qualitätskontrolle genutzt werden. Typische Schritte in der Tiefenbildverarbeitung umfassen die Kalibrierung der Kamera, die Entfernung von Ausreißern (z. B. durch Median-Filter) sowie die Erstellung von Punktwolken, welche eine detaillierte Darstellung der Umgebung ermöglichen. In Punktwolken werden alle 3D-Koordinaten der von der Kamera erfassten Szene gespeichert. Diese Punktwolken können weiterverarbeitet werden, um beispielsweise Oberflächen zu rekonstruieren, Volumen zu berechnen oder spezifische Objekte zu erkennen. [8] [9] [10]

7.4. Beleuchtungstechnik

Die Beleuchtung ist ein wichtiger Bestandteil eines Kamerasystems und beeinflusst die Qualität der aufgenommenen Bilder sowie die Reproduzierbarkeit und Stabilität der Ergebnisse. Der folgende Abschnitt behandelt die Grundlagen der Beleuchtungstechnik mit Schwerpunkt auf Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung. In der Automation werden verschiedene Beleuchtungstechniken angewendet, um unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden.

Eine gleichmäßige Beleuchtung wie auf der Abbildung 6 reduziert Schatten und Kontrastunterschiede, die die Bildauswertung beeinträchtigen könnten, und ist besonders bei Bauteilen mit komplexen Geometrien oder Oberflächen relevant. Reflektierende Oberflächen können Blendungen und Artefakte verursachen, weshalb diffuse Lichtquellen oder spezielle Beleuchtungstechniken wie Dombeleuchtungen verwendet werden, um diese Effekte zu minimieren. Die Beleuchtung muss zudem den Kontrast zwischen relevanten und nicht relevanten Bereichen anpassen, um Oberflächenfehler oder geometrische Abweichungen sichtbar zu machen. Externe Lichtquellen wie Tageslicht können die Bildqualität beeinflussen, daher sollten Beleuchtungssysteme unabhängig von äußeren Einflüssen konstante Lichtverhältnisse schaffen.

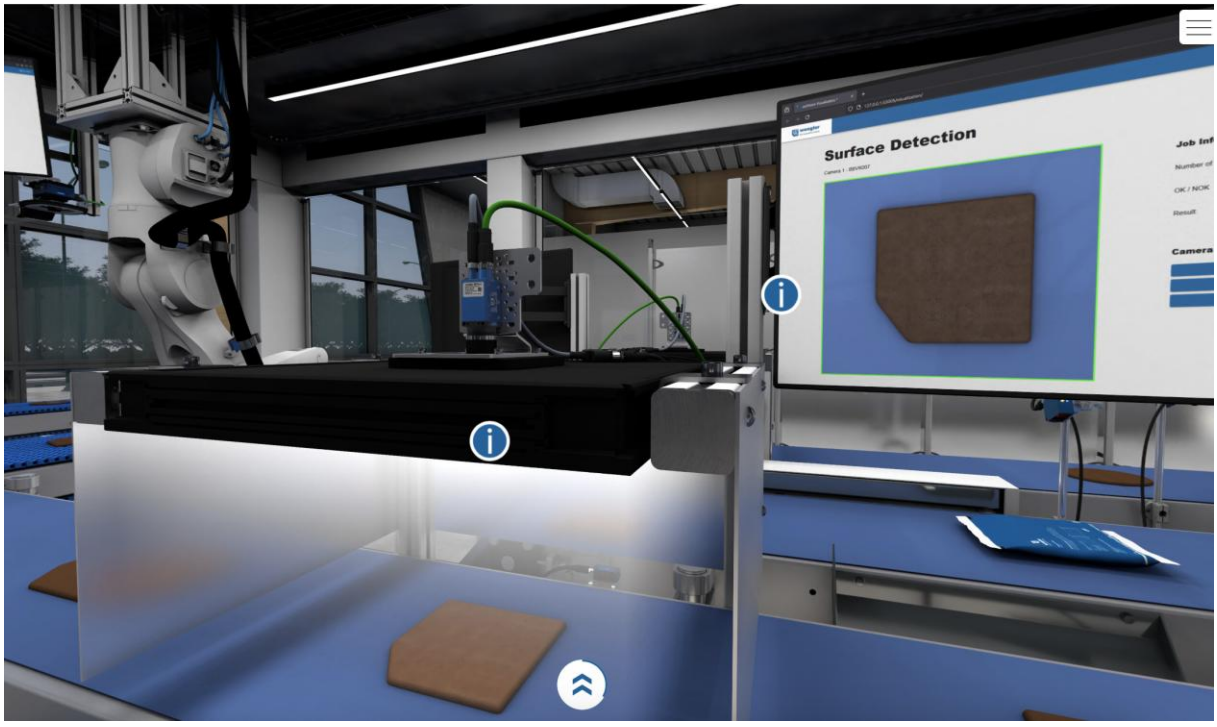


Abbildung 6: Gleichmäßige Beleuchtung [11]

Je nach Anwendung werden verschiedene Beleuchtungstechniken eingesetzt.

1. Spotbeleuchtungen konzentrieren das Licht auf einen kleinen Bereich und ermöglichen die detaillierte Untersuchung spezifischer Merkmale, beispielsweise bei punktuellen Inspektionen.
2. Ringbeleuchtungen sorgen durch eine kreisförmige Anordnung von Lichtquellen für eine gleichmäßige Ausleuchtung und minimieren Schattenbildung, was sie besonders für Bauteile mit unregelmäßigen Oberflächen geeignet macht.
3. Dombeleuchtungen erzeugen diffuses Licht, das gleichmäßig aus verschiedenen Winkeln auf das Objekt trifft, und eignen sich insbesondere für glänzende oder hochreflektierende Oberflächen.
4. Balkenbeleuchtungen werden für die Ausleuchtung länglicher Bereiche, etwa auf Förderbändern, genutzt und sind bei der Inspektion von Verpackungen oder langgezogenen Bauteilen hilfreich.

Die Lichtfarbe spielt ebenfalls eine Rolle bei der Fehlererkennung. Beispielsweise wird rotes Licht häufig eingesetzt, da es Oberflächendefekte wie Risse oder Kratzer sichtbar machen kann. Die Intensität der Beleuchtung muss so eingestellt werden, dass die Bildqualität gewährleistet wird, ohne Über- oder Unterbelichtung zu verursachen.

Des Weiteren setzt die Integration der Beleuchtung in den Produktionsprozess die Positionierung der Lichtquellen in Relation zum Prüfobjekt sowie die Anpassung der Beleuchtungsparameter an die spezifischen Anforderungen der Anwendung.

Das folgende Beispiel von drei Beleuchtungsmethoden mit zwei Balkenbeleuchtungen veranschaulicht den Einfluss der Lichtpositionierung auf das Bildergebnis.

1. Hellfeld: Die direkte Beleuchtung verursacht Reflexionen auf der Oberfläche des Prüflings. Dies kann bei bestimmten Anwendungen erwünscht oder auch unerwünscht sein.

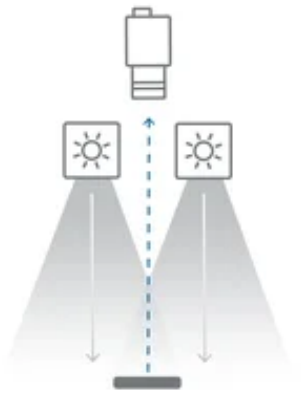


Abbildung 7: Hellfeld [11]

2. Flachwinkel: Ein flacher Beleuchtungswinkel erzeugt einen Kontrast an den Rändern, der die Ausleuchtung der Oberfläche erleichtert. Reflexionen treten nicht bzw. schwach auf.

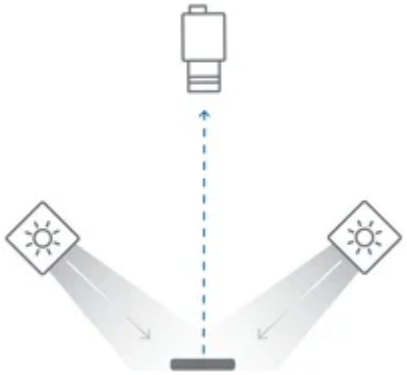


Abbildung 8: Flachwinkel [11]

3. Dunkelfeld: Die Balkenleuchten werden als flächige Beleuchtung eingesetzt. Sie hebt die Kanten stark hervor, während auf die Fläche kaum Licht fällt. Dies ermöglicht eine präzise Identifizierung der Höhenprofile.

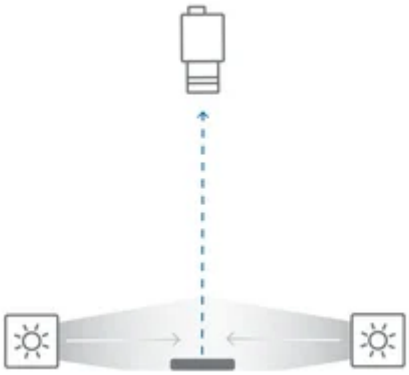


Abbildung 9: Dunkelfeld [11]

Bei Bedarf werden mehrere Beleuchtungstechniken kombiniert, um unterschiedliche Aspekte der Qualitätsprüfung abzudecken. [11]

7.5. Wenglor B60P203



Abbildung 10: Wenglor B60P203 [13]

Die in der Anlage eingesetzte Smart Camera B60P203 der Firma Wenglor vereint die Funktionalität und Leistungsfähigkeit eines vollwertigen Bildverarbeitungssystems und eignet sich somit auch für anspruchsvolle Bildverarbeitungsanwendungen. Mit einer Auflösung von 2448 x 2048 Pixeln liefert sie hochpräzise Bilder in Graustufen, die besonders für die Qualitätskontrolle geeignet sind. Die Kamera ist mit einem C-Mount ausgestattet, der die flexible Auswahl und Montage von Objektiven aus der umfangreichen Produktpalette ermöglicht. Die Kamera besteht aus dem Gehäuse mit integrierter Elektronik, einem Kühlkörper für die Wärmeabfuhr, einem Objektiv, einem Filter und einem Schutztubus um eine gewissen Schutzklasse zu erreichen.

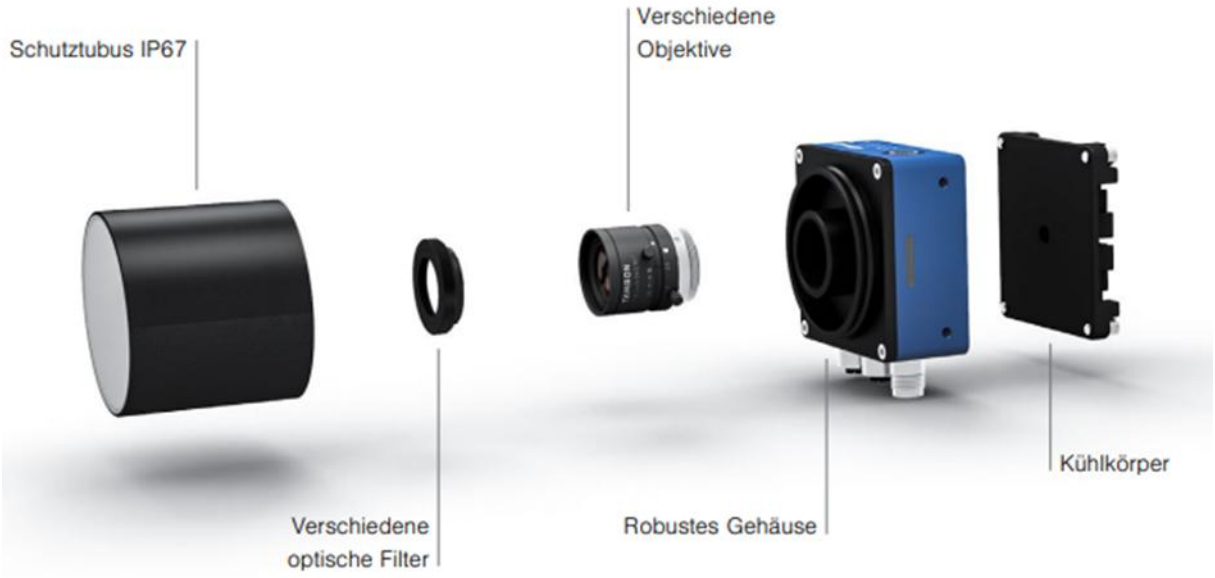


Abbildung 11: Aufbau Smart Camera B60 [12]

Die Smart Camera B60 verfügt über drei separate Anschlüsse für Parametrier- und Prozessdaten. Außerdem wird sie hierüber mit einer Gleichspannung von 24 V versorgt. Das erfolgt über die Power over Ethernet Technologie, welche das gleichzeitige Austauschen von Daten und die Versorgung mit Spannung ermöglicht.
Die Software „UniVision 3“ ermöglicht die Parametrierung der Kamera sowie die Anpassung an unterschiedliche Funktionen.

Folgende Funktionen können mit der Smart Camera B60 umgesetzt werden:

- Anwesenheitsprüfung
- Positionsbestimmung
- Mustererkennung
- Code-Lesung
- Füllstandserkennung
- Qualitätskontrolle

Für die Anwendung in der Produktionsanlage zur Qualitätsüberwachung werden vor allem die Anwesenheitsprüfung, Positionsbestimmung und Qualitätskontrolle benötigt. Durch die Anwesenheitsprüfung kann geprüft werden, ob sich beide Bauteile auf dem Träger befinden. Die Positionsbestimmung ermöglich die Qualitätskontrolle von an einzelnen Stellen, auch wenn das Bauteil auf dem Träger leicht verrutscht ist. [13] [12]

8. Inbetriebnahme des Kamerasystems

Um eine Entscheidung über die Qualität des Bauteils im Demontageprozesses treffen zu können, muss das Kamerasystem zunächst Betrieb genommen werden. In diesem Kapitel wird die Montage, der Anschluss, die Parametrierung der Kamera und die Einbindung in das Netz der SPS beschrieben.

8.1. Montage

Um das Bild später mit Hilfe der Wenglor Software parametrieren zu können, muss die Kamera zunächst so montiert werden, dass diese das Bauteil vollumfänglich und scharf erfasst. Erreicht werden kann, dies mit Hilfe der Platzierung in einem gewissen Abstand zum Objekt und der Einstellung des Objektivs. Die Kamera wurde mit einem Abstand zum Bauteil von ca. 37 cm befestigt um das Bauteil zu erfassen.

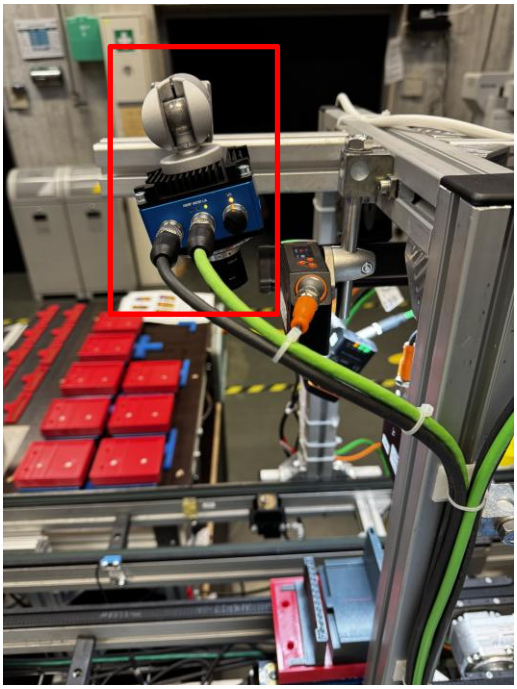


Abbildung 12: Montagepunkt Wenglor Kamera (eigene Darstellung)

Am Objektiv der Kamera lassen sich zwei wichtige Parameter einstellen: Zum einen die Helligkeit, die über die Blende reguliert wird und somit bestimmt, wie viel Licht auf den Bildsensor fällt. Und zum anderen kann die Brennweite justiert werden, was die Schärfe und den Bildausschnitt beeinflusst. Da die natürliche Beleuchtung in der Umgebung des Bauteils nicht ausgereicht hat, um eine gleichmäßige und ausreichende Ausleuchtung des Objekts zu gewährleisten, wurde eine zusätzliche Lampe installiert. Diese Lampe sorgt für eine gleichmäßige Ausleuchtung des Bauteils und ermöglicht so eine zuverlässige Bildaufnahme ohne störende Schatten oder zu dunkle Bereiche. Eine unzureichende Belichtung könnte zu nicht reproduzierbaren Ergebnissen oder sogar zu Fehlern bei der Bildverarbeitung führen.

8.2. Anschluss

Die Wenglor Kamera umfasst drei M12 Anschlüsse die zur Spannungsversorgung und zur Kommunikation über einen Bus dienen. Um den Betrieb der Kamera zu gewährleisten, ist es erforderlich, sie zunächst mit einer Gleichspannung von 24 V zu versorgen. Dies ist bei der Wenglor B60P203 Kamera mit Hilfe von zwei Schnittstellen möglich. Eine Möglichkeit zur Spannungsversorgung bietet die „Power-I/O“-Schnittstelle, die über zwei Pins die Stromzufuhr gewährleistet. Zusätzlich stellt sie sechs digitale I/Os bereit, die zur Übermittlung von Signalen an die SPS genutzt werden können. Das angeschlossene Kabel wird im Schaltschrank an eine bereitgestellte Klemmleiste aufgelegt, wobei die braune Ader mit +24 V und die blaue Ader mit 0 V über das Netzteil versorgt wird. Eine weitere Möglichkeit, die Kamera mit Spannung zu versorgen ist über den LAN-Anschluss, mit Hilfe der Power Over Ethernet[5] Technologie. Diese Technologie ermöglicht, dass die Kamera über das LAN-Kabel mit 48 V Spannung versorgt wird. Notwendig ist hierfür ein PoE Switch, der die Spannung und die Kommunikation mit dem Gerät zu Verfügung stellt. Über den LAN-Anschluss kann die Kamera mit dem PC verbunden und konfiguriert werden. Hierfür muss sich die Kamera im selben Subnetz befinden wie der PC.

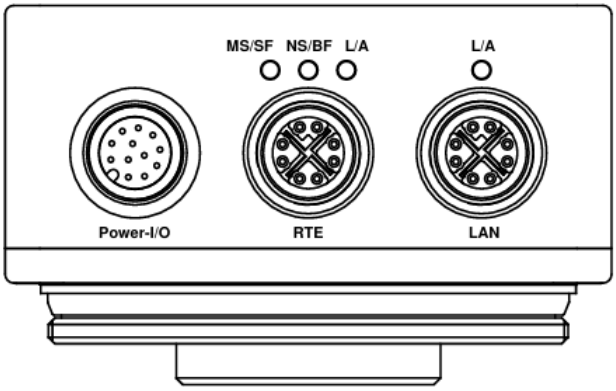


Abbildung 13: Anschlussbild Wenglor B60P203 [13]

Damit die Kamera eine Entscheidung über die Qualität an die SPS weitergeben kann, muss diese über den mittleren Anschluss der Kamera angeschlossen werden. Die Kommunikation mit der SPS erfolgt über PROFINET. PROFINET ist ein offener Industrial-Ethernet-Standard, der von der PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. speziell für Automatisierungsanwendungen entwickelt wurde. Dieser Standard basiert auf TCP/IP und IT-Standards, bietet Echtzeitfähigkeit und erlaubt die nahtlose Integration weiterer Feldbussysteme. PROFINET gewinnt zunehmend an Bedeutung und verzeichnet ein starkes Wachstum in der industriellen Automatisierung.

[5] Im folgenden PoE gennant

Das LAN-Kabel, das für die Kommunikation zwischen der SPS und der Kamera verwendet wird, wird an einen Switch im Schaltschrank angeschlossen. Über PROFINET können daraufhin Signale zwischen der SPS und der Kamera übertragen werden, was eine reibungslose Kommunikation ermöglicht. [14] [13]

8.3. Parametrierung

Nach der Montage der Kamera an ihrem Halter und der Verbindung über PoE mit dem Switch, der wiederum mit dem PC verbunden ist, kann die Parametrierung der Kamera durchgeführt werden. Dies geschieht mithilfe der Software UniVision 3, die in der Version 3.3.2 auf dem PC installiert ist. Zunächst muss die IP-Adresse der Kamera so angepasst werden, dass sie vom PC und der SPS erreicht werden kann. Diese befinden sich im Subnetz 192.168.0.0. Nach Absprache mit der Projektgruppe wird folglich die IP-Adresse der Kamera auf 192.168.0.13 festgelegt. Um auf einen Verbindungstest durchführen zu können, wird die IP-Adresse im Browser eingegeben. Dadurch kann auf das Web-Interface der Kamera zugegriffen werden. Wenn die Kamera identifiziert wurde, wird dies mit einem grünen Button signalisiert. Um Risiken zu minimieren und die Nutzungsmöglichkeiten zu maximieren, wird nun ein Firmware-Update der Kamera durchgeführt. Die Kamera wurde von Wenglor mit der Version 1.3.1 ausgeliefert und wird nun auf 1.3.2 aktualisiert. Das Update verbessert nicht nur die Stabilität und Sicherheit der Kamera, sondern ermöglicht auch die Nutzung neuer Funktionen. Nach dem Firmware-Update kann die Kamera final konfiguriert werden. Hierzu zählen unter anderem die Definition der Trigger-Einstellungen, die Festlegung der Belichtungszeit sowie die Anpassung weiterer Parameter an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung. Um dies zu realisieren, ist es erforderlich, sich zunächst mit der Software UniVision 3 auseinanderzusetzen. Zunächst wird ein Überblick über die Software anhand der Betriebsanleitung verschafft. Im ersten Schritt wird die Kamera mit dem Programm verbunden. Dies geschieht über ein extra Fenster, welches in Abbildung 14 zu sehen ist, in dem die IP-Adresse eingegeben wird.

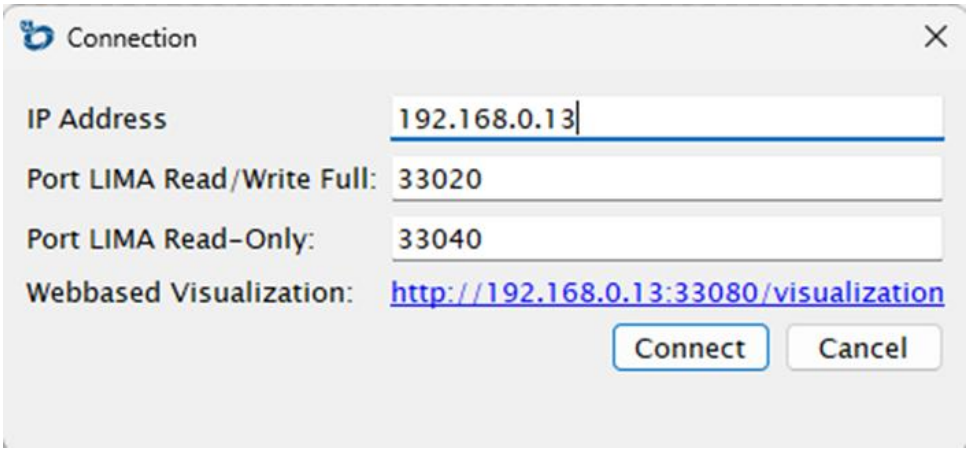


Abbildung 14: Vergabe der IP-Adresse (eigene Darstellung)

Nach erfolgreicher Verbindung wird der aktuelle Job, der auf der Kamera gespeichert ist in das Programm geladen. Ab diesem Zeitpunkt kann live auf der Kamera gearbeitet werden und es ist kein manueller Download nötig.
Im Hauptbildschirm ist nun die live-Aufnahme der Kamera zu sehen. Um die ersten Testbilder anfertigen zu können wird die Ausrichtung der Kamera so korrigiert, dass diese den gesamten Bereich des Bauteilträgers erfasst. Außerdem werden die Belichtung, Brennweite und Lichtstärke so eingestellt, dass ein scharfes und verwendbares Bild wie in Abbildung 15 zu sehen ist entsteht.

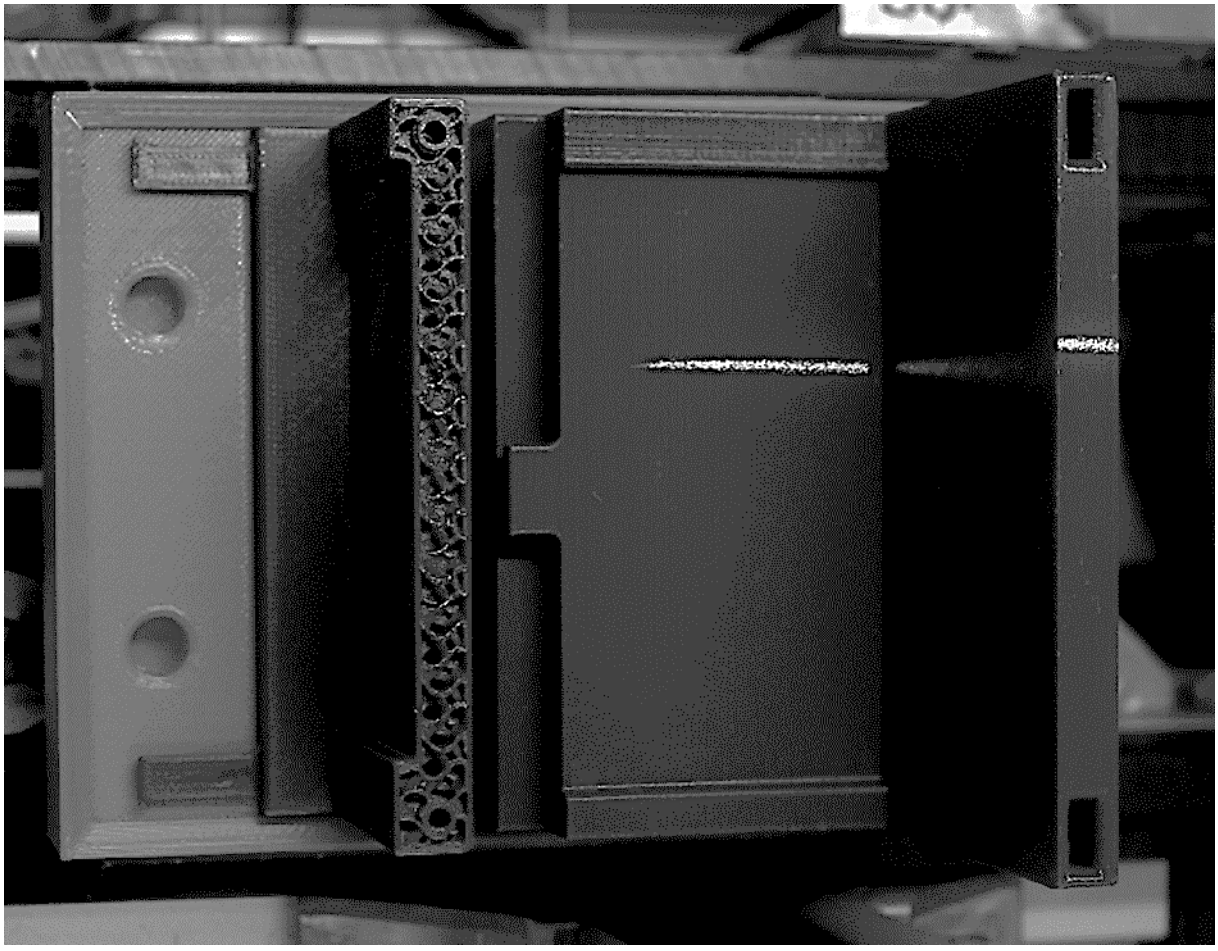


Abbildung 15: Live-Aufnahme der Kamera (eigene Darstellung)

Im nächsten Schritt wird die Kamera so programmiert, dass sie ausgehend von Abbildung 15 bestimmte Merkmale der beiden Bauteile erkennt und auswerten kann. Die notwendigen Schritte für die Erstellung der Qualitätsprüfung, werden im folgenden Kapitel erläutert.

8.4. Bildauswertung

Um die Qualitätsprüfung durchführen zu können, müssen zunächst die Fehlerkriterien definiert werden, anhand derer über die verbleibende Qualität der demontierten Bauteile entschieden werden soll. Das demontierte Set besteht aus einem kleineren und einem größeren Bauteil (entsprechend links und rechts Abbildung 15). Da die eingesetzte Bildverarbeitungssoftware UniVision 3 eine hohe Anpassungsfähigkeit durch die Erstellung zusätzlicher Auswertejobs aufweist, wird im Rahmen dieser Arbeit entschieden, die Qualitätsprüfung des kleineren Werkstücks auf die Kontrolle des am häufigsten auftretenden Fehlers, eines Nasenabbruchs (siehe 1 in Abbildung 16), zu beschränken. Dies ermöglicht eine zügige Integration des funktionsfähigen Bildverarbeitungssystems in den Demontageprozess, was wiederum die Bereitstellung einer voll funktionsfähigen Schnittstelle mit fertigen Prüfergebnissen an die SPS-Arbeitsgruppe in früheren Projektphasen sicherstellt und somit den Fortschritt des Gesamtprojekts fördert.

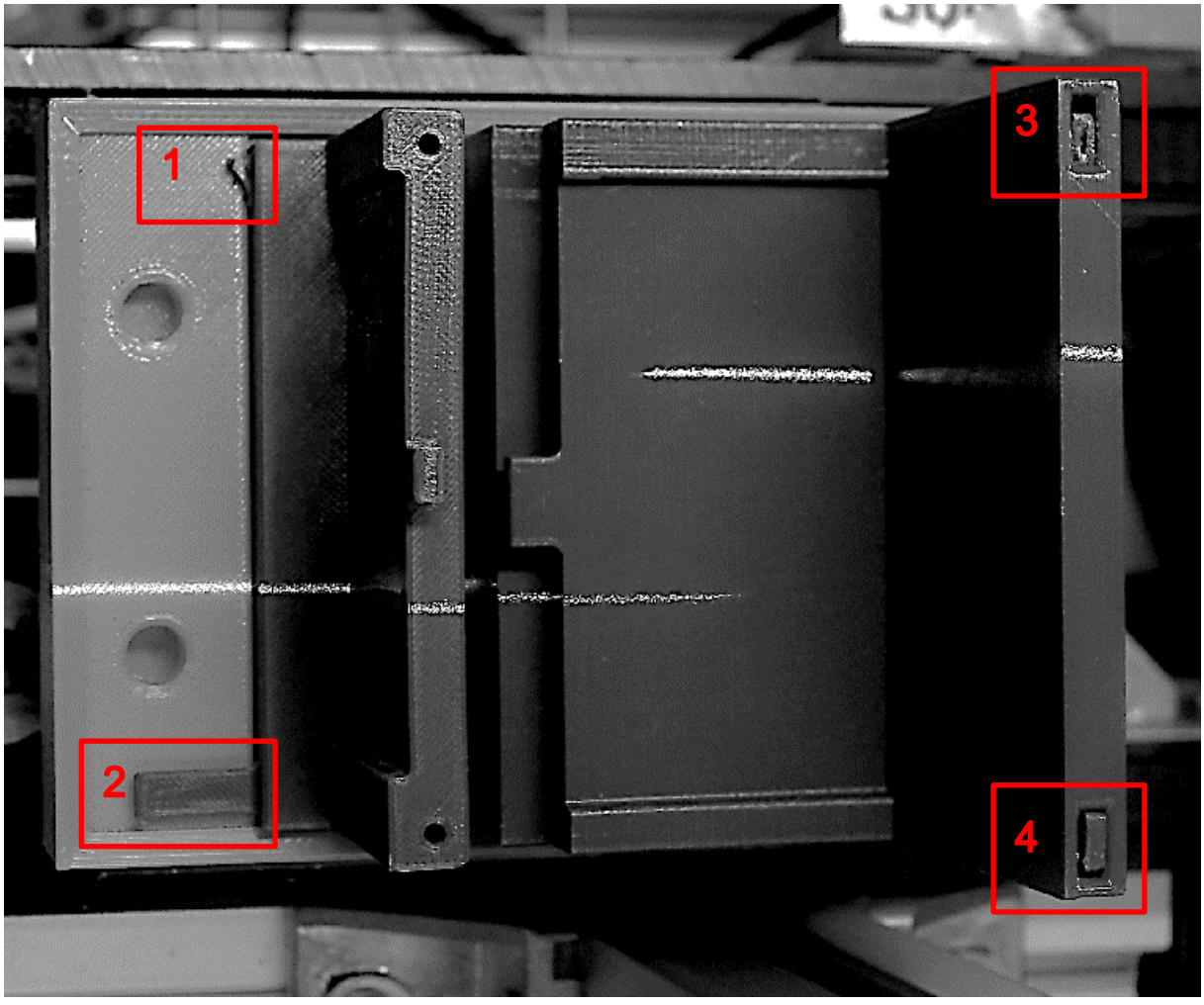


Abbildung 16: Werkstück mit einer abgebrochenen Nase (eigene Darstellung)

Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine abgebrochene Nase die Einstecköffnung im größeren Werkstück verstopfen kann (siehe 3 und 4 in Abbildung 16), was eine direkte Wiederverwendung des Bauteils im Sinne der Kreislaufwirtschaft ausschließt. Aus diesem Grund wird dieses Merkmal als Fehlerparameter für das zweite Bauteil festgelegt.

Die Einrichtung eines Prüfalgorithmus beginnt mit der Erstellung eines Jobs auf in UniVision 3. Als nächstes wird ein Referenzbild aufgenommen. Im nächsten Schritt werden die geeigneten Werkzeuge aus der in der Software zur Verfügung gestellten Toolbox in den Job, wie in Abbildung 17 abgebildet, hinzugefügt.

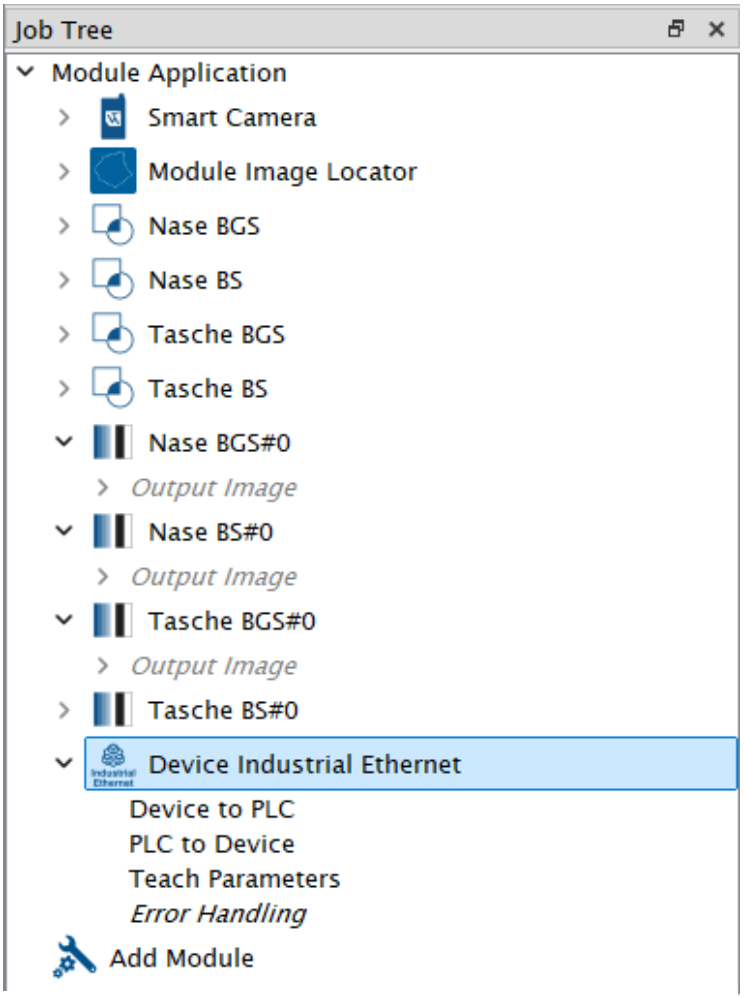


Abbildung 17: Ausgewählte Bildverarbeitungswerkzeuge (eigene Darstellung)

Mit Hilfe von Module Image Locator wird der Werkstückträger mit den beiden Bauteilen unabhängig von deren Winkel und Position innerhalb des Sichtfeldes genau lokalisiert und ein Prüfling-Koordinatensystem erstellt. Auf dieses Koordinatensystem bezogen werden jeweils vier Prüfbereiche eingegrenzt (siehe in Abbildung 18 rot umrandet).

Dabei gilt: Je kleiner der Auswertungsbereich, desto schneller das Ergebnis!

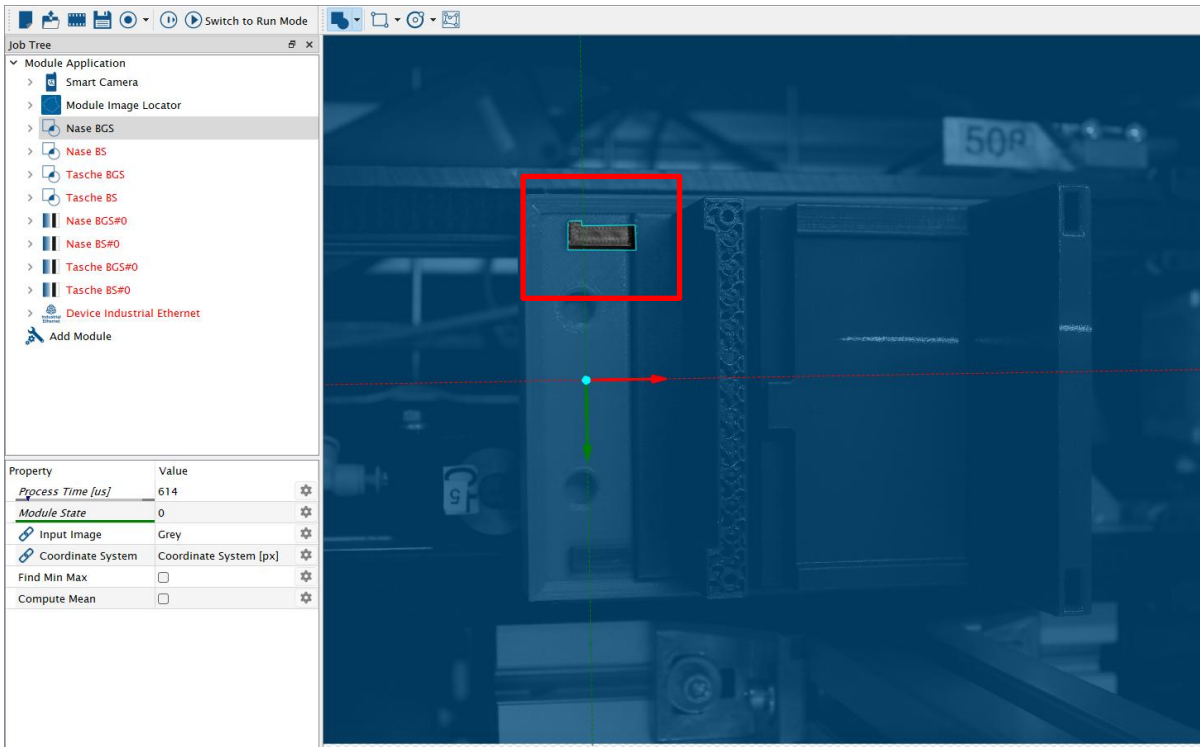


Abbildung 18: Eingrenzung des Auswertungsbereiches (eigene Darstellung)

Um die optischen Merkmale effizient auswerten zu können, erzeugt das Image Threshold Module im nächsten Schritt aus dem eingegrenzten Bereich ein Binärbild wie in Abbildung 19 dargestellt.

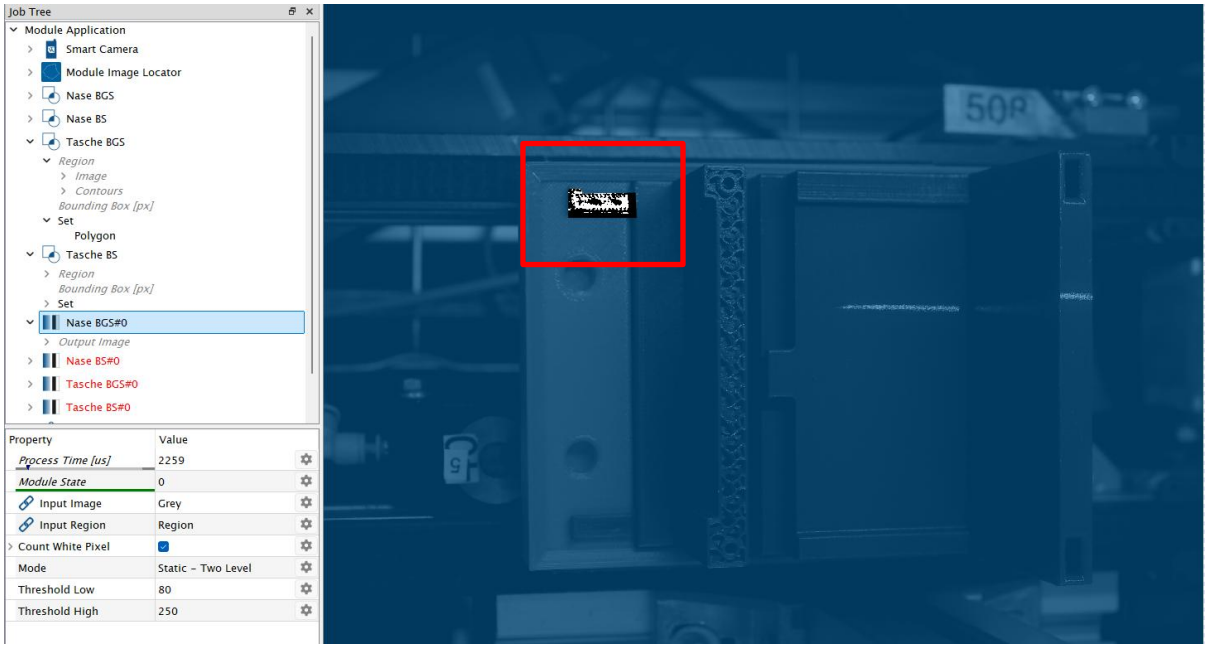


Abbildung 19: Erstellung und Auswertung eines Binärbildes (eigene Darstellung)

Die maximale und minimale Anzahl der schwarzen Pixel des Prüfbereiches werden manuell angepasst (siehe Abbildung 20). Bei Über- oder Unterschreitung der Grenzwerte wird die Prüfung mit „nicht in Ordnung“ quittiert.

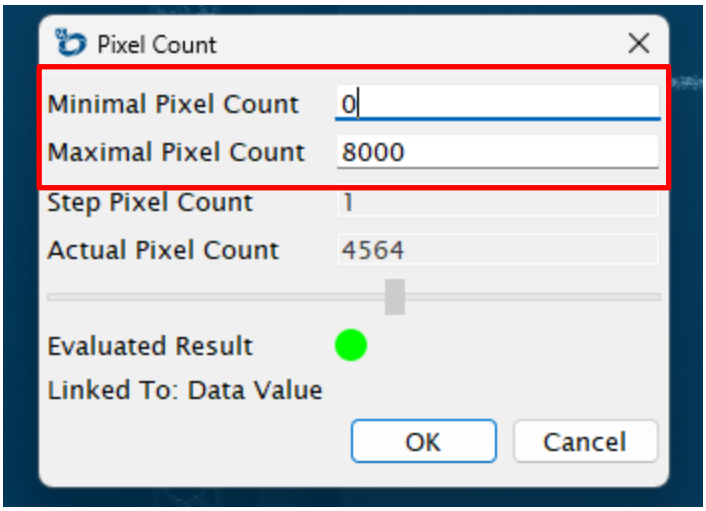


Abbildung 20: Anpassung des Schwellenwertes (eigene Darstellung)

Jedem der vier Prüfergebnisse wird ein Adressen-Offset wie in Abbildung 21 zugewiesen.

Property	Value
Value #1	TRUE
Data Value	Pixel Count
Address Offset	16.0
Data Type	BOOL
Value #2	TRUE
Data Value	Pixel Count
Address Offset	16.1
Data Type	BOOL
Value #3	TRUE
Data Value	Pixel Count
Address Offset	16.2
Data Type	BOOL
Value #4	TRUE
Data Value	Pixel Count
Address Offset	16.3
Data Type	BOOL

Abbildung 21: Zuweisung der Adressen-Offset (eigene Darstellung)

Zur Initiierung des Prüfvorgangs wird ein Trigger erstellt. Da die Kommunikation mit der SPS über PROFINET vorgesehen ist, muss als Auslöser die Software ausgewählt werden (siehe in Abbildung 22 rot umrandet).

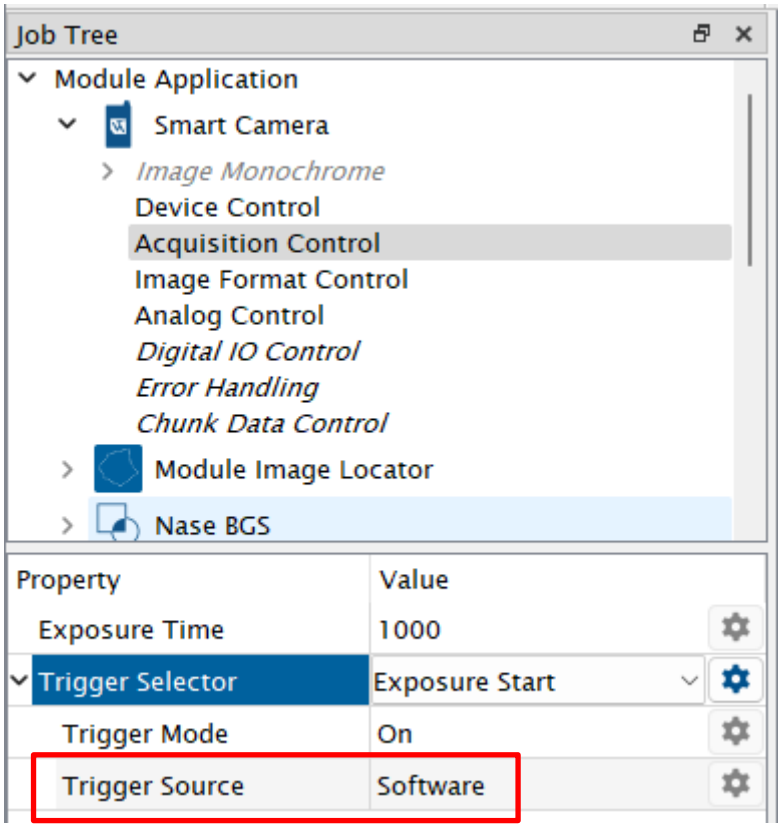


Abbildung 22: Erstellen eines Triggers (eigene Darstellung)

Die Einrichtung des Prüfalgorithmus ist damit abgeschlossen. Für eine vollständige Qualitätsprüfung fehlt noch die Kommunikation mit der SPS. Darauf wird im nächsten Kapitel eingegangen.

8.5. Weitergabe der Entscheidungen an die SPS

Die Kommunikation zwischen der Wenglor-Kamera und der SPS soll über eine PROFINET-Schnittstelle erfolgen. Diese ist wie folgt einzurichten. Im ersten Schritt wird die Kamera ins Netzwerk integriert (siehe Abbildung 23). Dazu wird im TIA-Portal die Kamera als PROFINET-Gerät hinzugefügt, indem das General-Station-Description-Markup-Language-File[6] der Kamera importiert wird.

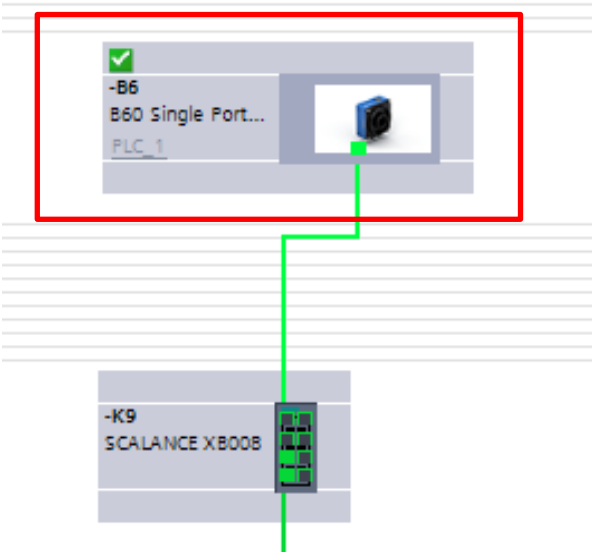


Abbildung 23: Integration der Kamera ins Netzwerk (eigene Darstellung)

Anschließend wird die Kamera logisch mit dem Netzwerk verbunden, indem ihr ein PROFINET-Port am Switch zugewiesen und die eindeutige IP-Adresse, wie in Abbildung 24, festgelegt wird.

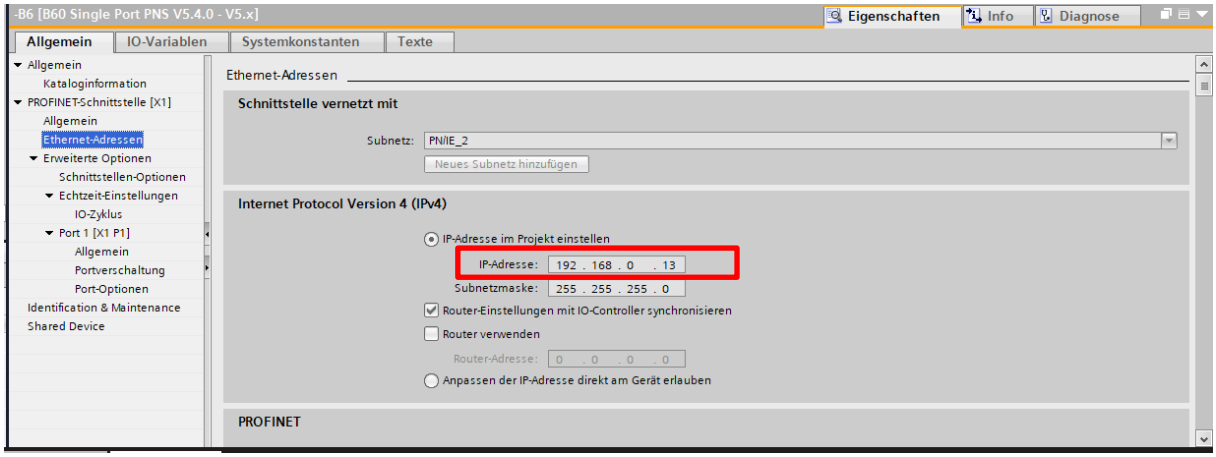


Abbildung 24: Zuweisung der Kamera einer IP-Adresse in PROFINET (eigene Darstellung)

[6] Im Folgenden GSDML genannt.

Nach der Einrichtung der PROFINET-Schnittstelle erfolgt die Variablenzuweisung, um die Prüfergebnisse der Kamera über definierte Variablen in der SPS zu verarbeiten. Hierzu wird im TIA-Portal ein neuer Datenbaustein erstellt. Innerhalb dieses Bausteins werden die Variablen angelegt, die die booleschen Prüfergebnisse der Kamera speichern, wie beispielsweise „Nase Bedienseite in Ordnung[7]“. Anschließend werden die Kameradatenregister den entsprechenden Variablen im Datenbaustein zugeordnet.

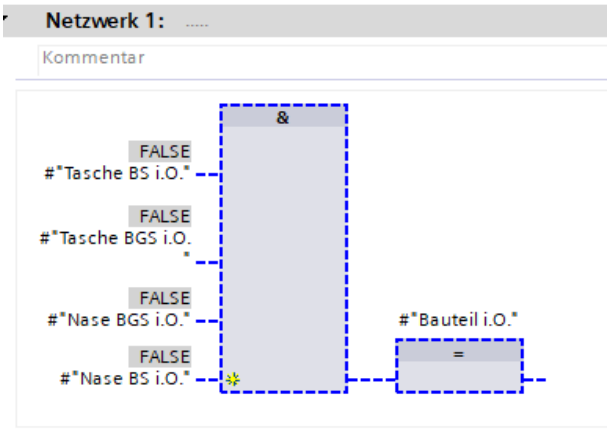


Abbildung 25: Logische Auswertung der Prüfergebnisse (eigene Darstellung)

Abschließend wird ein Funktionsbaustein zur Verarbeitung der Kameradaten in der SPS erzeugt (siehe Abbildung 25). Der Baustein fügt die Prüfergebnisse von zwei Nasen und zwei Taschen jeweils zusammen und speichert die Ergebnisse in den booleschen Variablen „Bauteil 1 i.O.“ und „Bauteil 2 i.O.“, welche den Zustand der Bauteile widerspiegelt. Damit ist die Übergabe der Prüfentscheidungen über die demontierten Bauteile an die SPS abgeschlossen.

[7] Im Folgenden Nase BS i.O. genannt.

9. Bewertung

Das implementierte Kamerasystem von Wenglor wurde anhand der Kriterien Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrationsfähigkeit beurteilt, um die Leistungsfähigkeit im industriellen Demontageprozess zu evaluieren.

Die Genauigkeit des Systems wurde in 20 Versuchen mit einer Fehlererkennungsrate von 100 % bestätigt. Dies resultiert aus der präzisen Kalibrierung sowie dem Einsatz geeigneter Bildverarbeitungsalgorithmen. Fehlermerkmale wie Nasenbrüche oder Verstopfungen im Werkstück wurden zuverlässig identifiziert. Die integrierte Funktion zur Positionsbestimmung ermöglichte eine Analyse der Bauteile auch bei leichten Lageabweichungen, was die Flexibilität des Systems erhöht. Minimale Fehlinterpretationen, die unter ungünstigen Lichtbedingungen beobachtet wurden, konnten durch den Einsatz einer optimierten Beleuchtung minimiert werden.

Die Zuverlässigkeit des Systems zeigte sich durch einen stabilen Betrieb und konsistente Ergebnisse. Die Qualitätsprüfungen zeigten eine hohe Reproduzierbarkeit. Schwankende Lichtbedingungen und abweichende Positionen des Werkstückträgers hatten keine signifikanten Auswirkungen auf die Systemleistung.

Die Integrationsfähigkeit des Systems wurde durch eine nahtlose Einbindung in die bestehende Produktions- und Steuerungsinfrastruktur sichergestellt. Die Kommunikation über PROFINET verlief stabil und ermöglichte eine Echtzeitübertragung der Daten an die SPS. Die Parametrierung der Kamera wurde mithilfe der Software „UniVision 3“ benutzerfreundlich umgesetzt, wodurch Anpassungen an neue Prüfanforderungen oder Werkstücke schnell realisiert werden konnten. Standardisierte Kommunikationsprotokolle und ein modularer Aufbau gewährleisteten eine reibungslose Integration in die bestehende Produktionsumgebung.

Insgesamt erfüllt das Kamerasystem B60P203 die Kriterien Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrationsfähigkeit auf einem hohen Niveau und ist damit für einen dauerhaften und vielseitigen Einsatz in der EoL-Prüfstation der Lernfabrik geeignet.

10. Fazit / Ausblick

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Integration und Inbetriebnahme eines Kamerasystems der Firma Wenglor zur Qualitätsprüfung im Demontageprozess einer Produktionsanlage. Zunächst erfolgt die Beschreibung der Anlage und die Bezugnahme auf die vorherigen Studienarbeiten, um einen umfassenden Überblick zur Thematik zu geben und die Relevanz des Projekts im Gesamtkontext einzuordnen. Anschließend wird eine Anforderungsanalyse anhand der Aufgabenstellung und Zieldefinition durchgeführt. Dabei werden spezifische Kriterien erarbeitet, die sicherstellen, dass das Kamerasystem in den bestehenden Prozess integriert werden kann. Auf dieser Grundlage wird dann ein neuer Demontageprozess anschaulich definiert und angepasst.
Im weiteren Verlauf der Arbeit liegt der Fokus auf der praktischen Umsetzung. Hierbei werden Themen wie die Montage, Anschluss und Parametrierung erläutert. Des Weiteren erfolgt die Beschreibung der Anbindung an die sich im Schaltschrank befindliche Steuerung und das übergeordnete Produktionssystem.
Die Bewertung des Systems erfolgte anhand von Kriterien wie Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Integrationsfähigkeit.
Im Rahmen der nächsten Studienarbeit T3200 wir der Demontageprozess um einige Funktionalitäten erweitert. Unter anderem erfolgt die Anbindung des Roboters der End of Line an die SPS. Hierfür wird ein weiteres PROFINET Kabel benötigt, welches die Verbindung zwischen Roboter und Switch herstellt. Außerdem muss der Roboter in der Netzwerkübersicht der SPS eingepflegt werden. Der Roboter wird so programmiert, dass er abhängig von der Qualitätsentscheidung der Kamera, die Teile aussortiert bzw. in den Kreislauf zurückbringt. Um dies zu ermöglichen, muss die SPS an den Roboter eine Variable abhängig von der Entscheidung schicken. Dieser führt dann einen programmierten Bewegungsablauf aus.
Des Weiteren soll das Beleuchtungselement nicht mehr dauerhaft leuchten, sondern, nur wenn der Trigger der Kamera ausgelöst wird. Dies führt zur Einsparung von Energie und andere Sensoren an der Anlage werden durch das Dauerlicht nicht beeinflusst. Um diese Funktion umzusetzen, werden zwei Y-Adapter benötigt, welche die Signale zwischen Licht, Kamera und der Spannungsversorgung austauschen.
Die Qualität soll in der nächsten Studienarbeit nicht nur im Demontageprozess geprüft werden, sondern auch im Montageprozess. Hierfür sind einige Änderungen in der Software der Kamera nötig, als auch Anpassungen im SPS-Programm.

Wenn die beschriebenen Änderungen umgesetzt wurden, muss die Funktionalität der End of Line Prüfung erprobt und validiert werden. Außerdem müssen Daten exportiert und an eine andere Gruppe weitergegeben werden, damit diese einen digitalen Zwilling zur virtuellen Inbetriebnahme erstellen können. Das Hauptziel der gesamten Anlage besteht darin, 50 Bauteilträger zu montieren oder zu demontieren.

Tabelle 1: Aufgabenübersicht

To Dos	Status	Bemerkung
Einarbeitung in vorherige Studienarbeiten	Erledigt	
Erstellung einer Anforderungsanalyse	Erledigt	
Definition und Anpassung des Demontageprozesses	Erledigt	
Weitergabe der Entscheidung an die SPS	Erledigt	
Erprobung und Validierung	Offen	Teil der T3200
Dokumentation und Übergabe der Daten für den digitalen Zwilling	Offen	Teil der T3200
Anfertigen eines Papers	Offen	Teil der T3200
Inbetriebnahme EoL Roboter	Offen	Teil der T3200; Teilebestellung notwendig
Joberstellung für den Montageprozess	Offen	Teil der T3200
Lichtsteuerung mit Trigger	Offen	Teil der T3200, Teilebestellung notwendig

Literaturverzeichnis

[1] D. Aßfalg, C. Kunz und J. Maikle, „Studienarbeit T3100: Auswahl, Recherche und Aufbau einer EoL-Testing-Station," Friedrichshafen, 2023.

[2] V. Gorban und Z. Zhao, „Studienarbeit T3100: EOL: Erweiterung der Teststation mittels 3D-Kamera," Friedrichshafen, 2023.

[3] V. Gorban und Z. Zhao, „Studienarbeit T3200: EOL: Erweiterung der Teststation mittels 3D-Kamera," Friedrichshafen, 2024.

[4] T. Klösel und L. Treichel, „Studienarbeit T3100: Konzeption und Realisierung eines Demontageprozesses," Friedrichshafen, 2024.

[5] J. Beyerer, F. Puente Leon, C. Frese und J. Meyer, Automatische Sichtprüfung, Karlsruhe: Springer Verlag GmbH, 2024.

[6] L. Priese, Computer Vision: Einfürhung in die Verarbeitung und Analyse digitaler Bilder, Koblenz: Springer Verlag, 2015.

[7] Rheinwerk Verlag GmbH, „Technische Grundlagen der Fotografie," [Online]. Available: https://www.rheinwerk-verlag.de/fotografie/wissen/technische-grundlagen/?srsltid=AfmBOopbkfmhSKIB8JQm6F5tIoGBKGbfW7Shltmo4LXGIBujh6DYU06R. [Zugriff am 07 01 2025].

[8] V. Lohweg, Bildverarbeitung in der Automation, Lemgo: Springer Vieweg Verlag, 2022.

[9] Basler AG, „Bildverarbeitung - Was ist das?," [Online]. Available: https://www.baslerweb.com/de-de/learning/bildverarbeitung/?srsltid=AfmBOooEtcoFSUSbZxB8BOp4RWRkti653oa6Si5WK03yVlWwj75tjdYx. [Zugriff am 09 01 2025].

[10] C. Demant, B. Streicher-Abel und P. Waszkewitz, Industrielle Bildverarbeitung, Heidelberg: Springer Verlag, 1998.

[11] wenglor sensoric elektronische Geräte GmbH, „Technologie und Funktionsweise der Beleuchtungstechnik," o.J.. [Online]. Available: https://www.wenglor.com/de/Technologie-und-Funktionsweise-der-Beleuchtungstechnik/s/Technologie-Beleuchtungstechnik?_gl=1*11ngze6*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=Cj0KCQiA4fi7BhC5ARIsAEV1Yiaus418WvOwqAP-

EzIru533gMeRoxhQIUPCjcJuUSsZJNXn-sFBiuIaAumnEALw_wcB. [Zugriff am 12 November 2024].

[12] wenglor sensoric elektronische Geräte GmbH, „Produkthighlights Smart Cameras B60,“ [Online]. Available: https://www.wenglor.com/de/Produkthighlights-Smart-Camera-B60/s/Produkthighlights+Smart+Cameras+B60.

[13] wenglor sensoric elektronische Geräte GmbH, „Operation_Instruction_B60_P203,“ 2024. [Online]. Available: https://www.wenglor.com/de/Machine-Vision/Smart-Cameras-und-Vision-Sensoren/Smart-Camera-B60/Smart-Camera/p/B60P203. [Zugriff am 14 11 2024].

[14] W. Babel, Systemintegration in Industrie 4.0 und IoT, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024.

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