

Bachelorthesis

Martin Dreier

Entwicklung eines kameragesteuerten
4-Achs-Bestückungs-Portals

Martin Dreier
Entwicklung eines kameragesteuerten
4-Achs-Bestückungs-Portals

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr.Ing. Jörg Dahlkemper
Zweitgutachter : Prof. Dr.Ing. Hans Peter Kölzer

Abgegeben am 21.August 2014

Martin Dreier

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung eines kameragesteuerten 4-Achs-Bestückungs-Portals

Stichworte

Handhabungstechnik, Portalroboter, Linearachsen, Bildverarbeitungssystem, Automatisierung, Speicher programmierbare Steuerung

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Entwicklung und Realisierung eines Handhabungssystems für die Zuführung von Werkstücken aus der ungeordneten Menge. Die Identifizierung und Lokalisierung der Werkstücke erfolgt mittels eines Bildverarbeitungssystems, welches die Daten an ein Steuerungssystem übergibt. Mit diesen Daten wird ein Portalrobotersystem versorgt, das die Einzelteile aus der Menge entnimmt und sie an einen definierten Ablageort verbringt. Hierfür wird sowohl der Einsatz der nötigen Hardware als auch die Software konzeptioniert, entwickelt und realisiert.

Martin Dreier

Title of the paper

Development of an camera-controlled 4-axis-placement-portal

Keywords

Pick-and-place, handling technique, gantry robot, linear axis, image processing system, automation, programmable controller

Abstract

The present work describes the development and implementation of a handling system for feeding workpieces out of a random quantity. The identification and location of the work pieces is effected by means of an image processing system which transfers the calculated data to a control system. With this data, a gantry robot system is fed which removes the items from the quantity to carry them to a defined location. For this purpose the use of the necessary hardware and software is conceptualized, developed, and implemented.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt an dieser Stelle meinem betreuenden Prüfer Prof. Dr.-Ing. Jörg Dahlkemper für die Unterstützung sowie den Verantwortlichen der MAPA GmbH in Zeven für die Ermöglichung der Umsetzung dieser interessanten Arbeit. Ebenso danke ich Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Kölzer für seine Arbeit als Zweitprüfer.

Für ihre tatkräftige Unterstützung bei der praktischen Umsetzung des Projektes bei der Firma MAPA bedanke ich mich besonders bei Herrn Thomas Knopf, Herrn Cornelius Lührmann, Herrn Wilhelm Oelkers sowie Herrn Oliver Möhring und Herrn Hans-Peter Wennholz.

Bedanken möchte ich mich zudem bei meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben, sowie bei allen Freunden und Verwandten, die mir während dieser Jahre immer zur Seite standen und mich unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
1. Einführung	1
1.1. Einleitung	1
2. Ausgangssituation	3
2.1. Stand der Technik	4
2.1.1. Grundlagen	4
2.1.2. Technische Einrichtungen	6
2.1.3. Einführung industrielle Bildverarbeitung	8
2.1.4. Komplettsysteme für die Handhabung	9
2.2. Mechanischer Aufbau des Portals	11
2.3. Antriebstechnik des Portals	14
3. Anforderungen	15
3.1. Anforderungen an das Gesamtsystem	16
3.2. Spezifische Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem	17
4. Konzeption	22
4.1. Konzeption des Bildverarbeitungssystems	22
4.1.1. Vorstellung verschiedener Bildverarbeitungssysteme	22
4.1.2. Vergleich der Bildverarbeitungssysteme	34
4.1.3. Entscheidung für ein Bildverarbeitungssystem	38
4.2. Konzeption der Antriebsansteuerung der X-, Y-, und Z-Achse	38
4.2.1. Busanbindung der Motorcontroller	39
4.2.2. Anbindung der Motorcontroller über Digital I/O	40
4.2.3. Wegbegrenzung und Referenzposition	40
4.3. Konzeption der Antriebsansteuerung für die Drehachse	42
4.4. Konzeption der Buskommunikation	43
4.5. Konzeption der Steuerungstechnik	43
4.5.1. Vergleich von Steuerungssystemen	44
4.5.2. Entscheidung für ein Steuerungssystem	45

4.6.	Konzeption der Sicherheitstechnik	47
5.	Entwicklung	48
5.1.	Entwicklung der Ansteuerung für Bunkerantrieb, Verteileinheit, Rütteleinheit und Beleuchtung	48
5.2.	Entwicklung der Spannungsversorgung	50
5.3.	Entwicklung des Bildverarbeitungssystems	51
5.3.1.	Schnittstellen zwischen Steuerung und Bildverarbeitung	52
5.3.2.	Datenaustausch zwischen Steuerung und Bildverarbeitung	52
5.3.3.	PC-System für die Bildverarbeitung	53
5.3.4.	Kalibrierung und Koordinatentransformation	54
5.4.	Entwicklung der Kommunikation	55
5.4.1.	Zuordnung von Datenbausteinbereichen zu den Busteilnehmern	55
5.5.	Vorüberlegungen zum Entwurf des Steuerungsablaufs	56
5.6.	Graphischer Entwurf des Steuerungsablaufs	57
5.6.1.	Entwurf des Betriebskopfes	59
5.6.2.	Entwurf der Betriebsarten „Anlage Aus“ und Anlage Bereit“	60
5.6.3.	Entwurf der Betriebsart „Handbetrieb“	60
5.6.4.	Entwurf der Betriebsart „Referenzfahrt“	61
5.6.5.	Entwurf der Betriebsart „Automatikbetrieb“	62
5.7.	Erstellung von Stromlaufplänen und Aufbau des Schaltschranks	62
5.7.1.	Erstellung der Stromlaufpläne	63
5.7.2.	Bedien- und Anzeigeelemente	63
5.7.3.	Verdrahtung gemäß Stromlaufplan und Verdrahtungsliste	65
5.8.	Implementierung des S7-Programms	65
5.8.1.	Implementierung der Funktionen für die Kommunikation und die FM 353 Baugruppe	66
5.8.2.	Implementierung der Funktionen für den Betriebskopf und die Petrinetze	67
6.	Realisierung	69
6.1.	Inbetriebnahme der Hardware	69
6.1.1.	Inbetriebnahme des Schaltschranks	69
6.1.2.	Inbetriebnahme der Motorcontroller mit Konfigurationssoftware	71
6.2.	Inbetriebnahme der SPS	72
6.2.1.	Inbetriebnahme/Test der MODBUS-RTU-Kommunikation	72
6.2.2.	Programmtest der Betriebszustände „Anlage AUS“ und „Anlage BEREIT“	72
6.2.3.	Programmtest/Funktionstest „HANDBETRIEB“	72
6.2.4.	Programmtest/Funktionstest „HOME/REFERENZIEREN“	73
6.2.5.	Funktionstest der NOT-AUS-Funktion	73
6.3.	Inbetriebnahme der Bildverarbeitung	73

6.3.1. Koordinatentransformation	74
6.3.2. Testreihe auf Maßhaltigkeit	76
6.4. Funktionstest Automatikbetrieb	76
6.4.1. Anforderungen und Ergebnisse: Soll-Ist-Vergleich	79
7. Zusammenfassung	80
7.1. Zusammenfassung des Projektes	80
7.2. Ausblick und Entwicklungsmöglichkeiten	82
Literaturverzeichnis	83
A. Anhang	88

Tabellenverzeichnis

2.1. Ziele des Werkstückhandlings [11]	5
4.1. Liste der zu vergleichenden Bildverarbeitungssysteme	23
5.1. Strombedarf Gleichstromverbraucher	50
5.2. Strombedarf Wechselstromverbraucher	51
5.3. Übersicht der Daten und Signale zwischen Bildverarbeitung und Steuerung	52
5.4. Bedien und Anzeigeelemente des Schaltschranks	64
5.5. Bedien und Anzeigeelemente der Fernbedienung	65
6.1. Ermittlung der Umrechnungsfaktoren von mm in Schritte	71
6.2. Ermittlung der Umrechnungsfaktoren von Pixel in mm	75
6.3. Testreihe Umrechnungsfaktoren von Pixel in mm im Randbereich	76
6.4. Anforderungen und Ergebnisse: Soll-Ist-Vergleich	79

Abbildungsverzeichnis

2.1. Handhabungssystem mit Industrieroboter	3
2.2. Gliederung der Handhabungseinrichtungen	6
2.3. Aufbau 3-Achs-Flächenportal	11
2.4. Greifeinheit in Ruheposition	12
2.5. Bunkersystem mit Verteileinheit und Objektträgern	13
2.6. Koordinatensystem X-Y-Z	13
3.1. Mundplatte Draufsicht	15
3.2. Berechnung maximale Koordinatenabweichung Drehachse	20
4.1. Konzeption Buskommunikation	43
5.1. Beispiel Petrinetz	58
5.2. Betriebskopf	59
5.3. Petrinetz ST-AUS	60
5.4. Petrinetz Handbetrieb	61
5.5. Umsetzung einer Transition im Programm	67
6.1. Aufbau Schaltschrank	69
6.2. Fernbedienung	70
6.3. Bedienoberfläche Bildverarbeitung	74
6.4. Schablone Koordinatentransformation	75
6.5. Referenzteil in Nullposition	77
6.6. Ablauf Bedienung Automatik	78
7.1. Gesamtsystem	81

1. Einführung

1.1. Einleitung

Die Zuführung von Einzelteilen zu einer Produktions- oder Montagelinie wird in modernen Produktionsanlagen zunehmend von vollautomatischen Systemen übernommen. Diese Systeme müssen in der Lage sein, aus einem Angebot an Teilen zur richtigen Zeit ein Teil zu entnehmen und dieses an einem anderen, definierten Ort abzulegen. Die Systeme, die diese Aufgabe erfüllen, werden als Handhabungs- oder Pick-and-Place-Systeme bezeichnet. Die Bandbreite umfasst einfache Systeme, bei denen die Abhol- und Ablageposition fest vorgegeben ist und diese sich während des Betriebes auch nicht ändern bis hin zu hochdynamischen Systemen, bei denen die Abhol- und Ablageposition für jedes einzelne Teil neu ermittelt werden.

Es bestehen am Markt Hersteller sowohl von Komplettsystemen als auch von Systemkomponenten, die die Realisierung eines Handhabungssystems ermöglichen (vgl. Kapitel 2).

Bisher werden bei der MAPA GmbH in Zeven Komplettsysteme eingesetzt, die von verschiedenen Herstellern stammen und für jede Aufgabenstellung neu in Auftrag gegeben werden. Diese Gesamtsysteme bestehen in der Regel aus einem Bildverarbeitungssystem, welches zum identifizieren eines Teils eingesetzt wird und einem nachgeschalteten Industrieroboter der die Positionskoordinaten eines Teils übermittelt bekommt. Der Roboterarm holt das Teil daraufhin ab und verfährt es an eine definierte Position. Da diese Komplettsysteme in der Regel bei Störungen oder Defekten, die nicht durch die betriebsmäßige Wartung behoben werden können, nicht vom technischen Personal der MAPA GmbH instandgesetzt werden können, kommt es bei Ausfällen zu hohen Reparaturkosten durch den Hersteller beziehungsweise Fremdfirmen und zu Stillständen der nachgeschalteten Montagelinie.

In dieser Arbeit geht es um die Entwicklung eines Handhabungssystems aus einzelnen Systemkomponenten. Für neue Montagelinien wird ein eigenes Pick-and-Place-System entwickelt. Die Motivation hierfür besteht darin ein System zu entwickeln, das durch das technische Personal der MAPA GmbH gewartet und repariert werden kann, die nötigen Taktzahlen der Montagelinie erreicht und in der Anschaffung preislich günstiger ist als die bisher eingesetzten Komplettsysteme. Ein weiterer Grund für die Entwicklung eines eigenen Systems besteht darin, dass es an veränderte Betriebsbedingungen schneller anpassbar ist als die bisherigen Systeme. Kommt es beispielsweise zu einer Änderung des in der Anlage montierten Komplettteils, ändern sich die Einzelteile und somit muss sich auch das Zuführsystem anpassen. Um dies zu erreichen, wird das System modular aufgebaut um durch Austausch

einzelner Komponenten oder Programmänderungen Anpassungen zu realisieren. Ziel dieser Arbeit ist die automatisierungstechnische Entwicklung und Realisierung des Zuführsystems unter Verwendung eines gegebenen mechanischen Prototyps eines 4-Achs-Potalroboters und der Einbeziehung von Anforderungen die in Kapitel 3 näher erläutert werden. Es wird ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt, der nach erfolgreicher Testphase reproduziert werden kann um in der Produktion eingesetzt zu werden.

2. Ausgangssituation

Zur vollautomatischen Zuführung von Einzelteilen zu einer Montagelinie werden bei der MAPA GmbH bisher Handhabungssysteme von verschiedenen Herstellern eingesetzt. Die Anforderungen an dieses System werden für jeden Einsatz und Verwendung neu definiert und durch Zulieferfirmen umgesetzt. Das technische Personal der MAPA GmbH ist nur für die betriebsmäßige Wartung dieser Systeme ausgebildet. Ist eine Reparatur oder grundlegende Änderung am Betriebsablauf des Systems nötig, werden Techniker des jeweiligen Herstellers oder Zulieferers angefordert. Die folgende Abbildung zeigt ein solches Handhabungssystem.

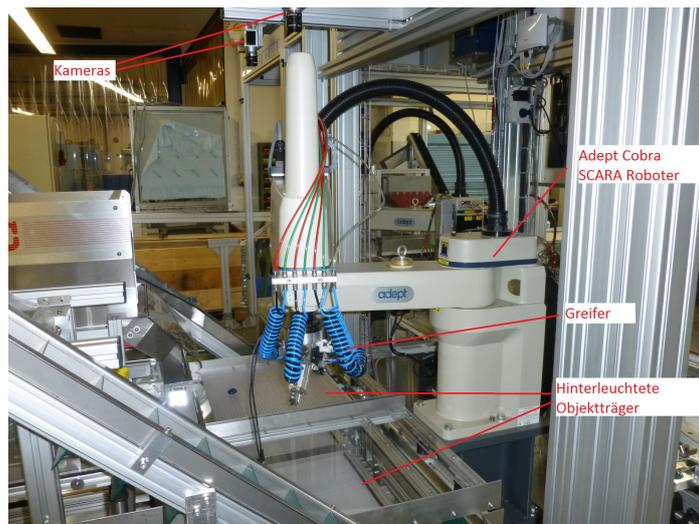


Abbildung 2.1.: Bisher eingesetztes Handhabungssystem mit Industrieroboter

Der Roboterarm ist mit entsprechenden Greifwerkzeugen in der Lage Objekte, deren Position durch die Kameras mit angeschlossener Bildverarbeitung ermittelt werden, auf den Objektträgern abzuholen und in eine Montagelinie an der rechten Seite außerhalb des Bildes abzulegen.

Es wird nun ein eigenes Handhabungssystem für Pick-and-Place Aufgaben entwickelt. Dieses System soll in der Lage sein, verschiedene Einzelteile an einem Ort zu greifen und an einem anderen Ort abzulegen. Es wird davon ausgegangen, dass die Teile ein lagestabiles

Ruheverhalten aufweisen und somit das Greifen mit einem mechanischen Werkzeug möglich ist. Die Anwendung des Handhabungsmoduls erfolgt beispielsweise an Montagelinien oder an Verpackungsmaschinen. Je nach Anwendung ist das System in der Lage verschiedene Greifwerkzeuge aufzunehmen um Teile greifen und transportieren zu können. Somit muss auch die Steuerung an verschiedene Einsatzzwecke anpassbar und auf zu transportierende Teile einstellbar sein. Die Umstellung und Anpassung des Handhabungssystems an neue Bedingungen oder auf neue zu transportierende Teile wird im normalen Produktionsbetrieb durch angelerntes Personal durchgeführt, welches keine Fachkenntnisse im Bereich der Elektrotechnik oder Programmierung besitzt. Die Beseitigung von Störungen oder das Anpassen von grundlegenden Funktionen des Systems, welche elektrotechnische, programmiertechnische oder maschinenbautechnische Kenntnisse erfordern, werden durch das ausgebildete technische Personal durchgeführt.

2.1. Stand der Technik

2.1.1. Grundlagen

Die Handhabungstechnik ist der Oberbegriff für verschiedene Fachgebiete wie Zuführsysteme, Maschinenverkettungen, Pick-and-Place-Geräte, Greifer, Industrieroboter und Montagetranferanlagen. Sie befasst sich mit der automatischen Manipulation von Gegenständen im Bereich der industriellen Arbeitsplätze. Ein Ziel der Handhabungstechnik besteht darin, den Menschen in der Produktion von monotoner, gesundheitsgefährdender sowie physisch und psychisch anstrengenden Tätigkeiten zu entlasten oder zu befreien. Zu diesen Tätigkeiten gehört oft das Zuführen und Einlegen von Einzelteilen in Montagemaschinen. Bei den Handhabungsgeräten unterscheidet man spezielle und universelle Geräte. Ein Gerät kann entweder speziell auf eine bestimmte Aufgabe und einen bestimmten zu manipulierenden Gegenstand ausgerichtet und dafür entwickelt werden oder in der Lage sein, zum Beispiel durch das Austauschen von Greifwerkzeugen, verschiedene Gegenstände zu verarbeiten. Handhabungsgeräte können dabei manuell oder maschinell gesteuert werden und feste oder programmierbare Abläufe ausführen. Insbesondere diese, die programmierbare, maschinell gesteuerte Abläufe zulassen, sind in der modernen, automatisierten Fertigungstechnik unerlässlich. Hierbei geht es heute auch vermehrt um die Erkennung von Form, Identität und Lage von Werkstücken. Durch geeignete Sensoren kann das Handhabungsgerät in die Lage versetzt werden, auch diese Erkennung automatisiert auszuführen [11].

Die Werkstückhandhabung kann je nach Automatisierungsgrad in verschiedene Technisierungsstufen eingeteilt werden. Diese Einteilung geht von Stufe 1, in der alle notwendigen Funktionen von Hand ausgeführt werden und die Hilfsgeräte nur eine Unterstützung bieten (Beispielsweise durch den Einsatz eines Hubtisches), bis zu Stufe 7, in der mehrere Bearbeitungs- oder Montagestationen miteinander verkettet sind und alle notwendigen Zubringfunktionen maschinell ausgeführt werden und automatisch überwacht werden [11].

Stefan Hesse definiert die Aufgabe der Werkstückhandhabung in seinem Buch „Grundlagen der Handhabungstechnik“ wie folgt:

Die Aufgabe der Werkstückhandhabung besteht zusammenfassend darin, Handhabungsobjekte meistens in sehr kurzen Zykluszeiten in vorgegebener Anzahl, in definierter Orientierung, an einer vorbestimmten Position und in einer festgelegten Zeitfolge zur Verfügung zu stellen und meistens auch aus der Maschine wieder zu entfernen.

Die Handhabungstechnik besitzt technische Einrichtungen, die Bewegungen in mehreren Raumachsen, ähnlich der Arm-Hand-Bewegung des Menschen, ausführen. Nach VDI 2860 werden Handhabungssysteme eingeteilt in

- 1) manuell gesteuerte Bewegungseinrichtungen, wie Manipulatoren, Tele- und Master-Slave-Manipulatoren
- 2) programmgesteuerte Bewegungsautomaten, wie fest programmierte Einlegegeräte und frei programmierbare Industrieroboter

Die Hauptziele sowie abgeleiteten Ziele des Werkstückhandlings werden wie folgt definiert:

Hauptziel	abgeleitete Ziele
geringer Handlungsaufwand	Vereinheitlichung des Werkstückdesigns; Standardisierung der Aufnahme- und Spannflächen; Beibehaltung der Werkstückordnung; Zusammenfassung mehrerer Werkstücke zu einem Ganzen
Flexibilität	Vermeidung werkstückspezifischer Zubringeinrichtungen; Verwirklichung des Zubringens aus Baukastenelementen
exakter Materialfluss	geordnete Speicherung; zeitlich und örtlich genaues Weitergeben
maximale Maschinenauslastung	Ausführung der Zubringefunktion während der Maschinennutzungszeit
Möglichkeit zur Verkettung der Maschinen	Standardisierung der Aufnahme- und Spannmittel; Beibehaltung einer relativen Werkstückordnung

Tabelle 2.1.: Ziele des Werkstückhandlings [11]

Durch die Erzeugung von Massengütern hat die Automatisierung von Handhabungsvorgängen eingesetzt. Es wurden Vorrichtungen entwickelt, die im Takt der Verarbeitungsmaschine Teile zuführen. Es haben sich verschiedene Modelle von Zuführungseinrichtungen herauskristallisiert, die je nach Anwendung zum Einsatz kommen. Hierzu zählen beispielsweise der Drehautomat zur Einzelplatzautomatisierung, der (Linien-)Portalroboter zur Verkettung von Be- und Verarbeitungsmaschinen zu Arbeitslinien oder der Industrieroboter.

Durch die Fortschritte in der Technik der automatisierten Bildverarbeitung hat auch diese Einzug in Handhabungssysteme gehalten. Es ist damit möglich, Werkstücke in ungeordnetem Zustand zu erkennen und deren Lage zu ermitteln. Mit diesen Daten wird ein Roboter beauftragt, Teil für Teil zu greifen und dem Prozess zuzuführen [11]. Handhabungsprozesse, die Bildverarbeitung nutzen, haben sich bei der Verarbeitung von Schütt- und Stückgut bereits bewährt. Es ist möglich, Teil für Teil aus dem ungeordneten Zustand zu greifen. Eine aufwendige vorherige Ordnung in Werkstückträgern oder Magazinen ist nicht nötig. Dies vereinfacht bei Schüttgut, das nicht miteinander verhaken kann, die Lagerung und Logistik.

2.1.2. Technische Einrichtungen

Die technischen Einrichtungen, die nötig sind, um eine Zuführeinheit zu realisieren lassen sich in fünf Funktionsbereiche unterteilen. Die folgende Abbildung zeigt die Einteilung:

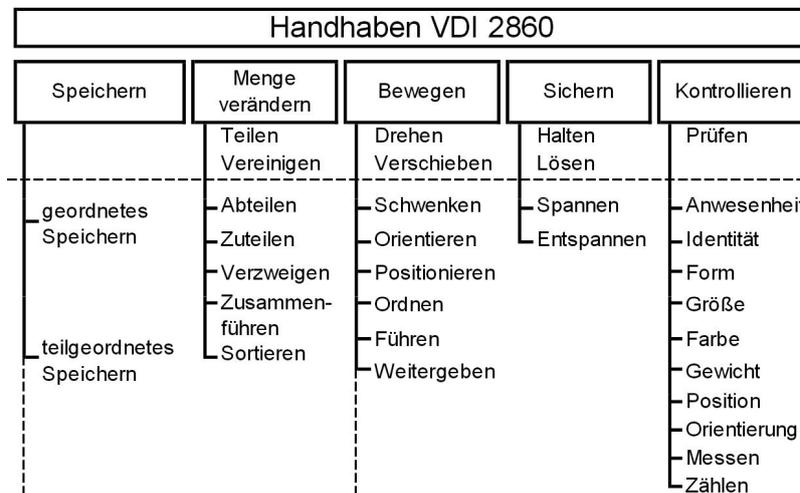


Abbildung 2.2.: Gliederung der Handhabungseinrichtungen nach ihren Hauptfunktionen [11]

Die grundlegenden Aufgaben der einzelnen Funktionsbereiche und exemplarische technische Einrichtungen zur Realisierung werden im Folgenden dargestellt.

Einrichtungen zum Speichern

Die Aufgabe der Speichereinrichtung ist es, dem eigentlichen Zuführsystem zu jeder Zeit die benötigten Werkstücke zur Verfügung zu stellen.

Die Speicher lassen sich nach ihrer Funktion in Beschickungs-, Ausgleichs-, Störungs-, Zwischen- und Sammelspeicher einteilen. Der Beschickungsspeicher sorgt für die Versorgung der Arbeitslinie mit benötigten Werkstücken. Zum zeitweiligen Ausgleich von Taktzeitschwankungen dient der Ausgleichsspeicher. Damit Störungen an einzelnen Maschinen nicht zur Abschaltung der gesamten Anlage führen, werden Störungsspeicher vorgesehen. Der Zwischenspeicher wird verwendet, wenn zum Beispiel Trocknungsvorgänge ablaufen müssen, bevor der nächste Arbeitsschritt ausgeführt werden kann. Als Sammelspeicher bezeichnet man die Vorratsbildung von meist fertigen Teilen für den Abtransport.

Die technischen Einrichtungen, die zum Einsatz kommen um die genannten Speicherarten zu erfüllen, sind unter anderem Bunker in verschiedenen Ausführungen, Stapleinrichtungen und Magazine [11].

Einrichtungen zum Verändern von Mengen

Da der Material- und Werkstückfluss einer ständigen Veränderung unterliegen kann, wird eine Vorrichtung benötigt um die Mengen von Objekten zu teilen oder zu vereinigen. Die häufigste und wichtigste Funktion hierbei besteht in der Zuteilung von Objekten. Das Zuteilen beschreibt das Abteilen mit gleichzeitiger Bewegung der Teilmenge zu einem definierten Zielort. Anwendung ist beispielweise die klassische Vereinzelung von Objekten. Weitere wichtige Aufgaben der Einrichtungen zum Verändern von Mengen können das Verzweigen und Zusammenführen, sowie das Sortieren sein. Zur technischen Umsetzung der benötigten Funktion stehen eine große Bandbreite an Verfahren und Mechaniken zur Verfügung, die je nach Anwendungsfall ausgewählt werden [11].

Einrichtungen zum Bewegen

Bei automatischen Handhabungssystemen werden manipulierende Einrichtungen eingesetzt, die Objekte bewegen. Die Bandbreite der Einrichtungen umfasst einfache Einlegeeinrichtungen, die in ihrem Bewegungsablauf nicht veränderbar sind, bis hin zu Industrierobotern, die im Bewegungsablauf frei programmierbar sind. Durch die Kombination von Linear- und Zirkularbewegungen lassen sich alle Bewegungsabläufe zusammensetzen. Die technischen Einrichtungen, die hierbei zum Einsatz kommen sind vielfältig und umfassen beispielsweise einfache Linear- und Schwenkeinheiten sowie komplexe Portaleinheiten mit kreuzenden Achsen oder Positionierer [11].

Einrichtungen zum Halten

Der Begriff halten oder sichern beschreibt in der Handhabungstechnik das Erhalten definierter Zustände von Objekten. Dieses Sichern eines Zustandes kann durch Kraft, Stoffe oder eine Formpaarung erzielt werden. Es sind auch Kombinationen möglich. So tritt für die Funktion „Greifen“ beispielsweise oft die Kombination von Kraft und Formpaarung auf. Dies ist der Fall, wenn ein Greifer das Objekt mittels Kraft in einer formschlüssigen Aufnahme hält. Zu den Halteeinrichtungen zählen insbesondere Werkstückaufnahmen, die Objekte in definierten Positionen und/oder Orientierungen halten, Greifer, die durch Krafteinwirkung Objekte in bestimmte Positionen zwingen und dort halten und Spanneinrichtungen, die ein Werkstück sicher halten. Für all diese Halteeinrichtungen gibt es verschiedene Ausführungen und Techniken. So kann die Kraftausübung beispielsweise mechanisch, pneumatisch oder elektrisch, in Form von Magnetismus, erzielt werden [11].

Einrichtungen zum Prüfen

Durch eine Prüfung wird festgestellt, ob bestimmte Eigenschaften oder Zustände erfüllt sind. Typische Prüfungen beim Handhaben sind Anwesenheit von Teilen, Identität, Orientierung und Position. Die in der Handhabungstechnik eingesetzten Geräte und Sensoren reichen von einfachen elektromechanischen Tastern bis zu Kamerasystemen mit automatischer Bildauswertung. Der Vorteil von Bilderkennungssystemen liegt darin, dass gleich mehrere Parameter zur gleichen Zeit kontrolliert werden können. So kann beispielsweise gleichzeitig eine Prüfung auf Gut- oder Schlechteil erfolgen und die Position und Ausrichtung von Gutteilen ermittelt werden. Für alle Arten von Prüfeinrichtungen gibt es am Markt eine Vielzahl von Herstellern und Komponenten, die je nach Anwendung ausgewählt werden [11].

2.1.3. Einführung industrielle Bildverarbeitung

Da die industrielle Bildverarbeitung in der Handhabungstechnik einen immer höheren Stellenwert und zunehmend mehr Einsätze erfährt, wird dieser Teilbereich hier noch einmal genauer betrachtet.

Die industrielle Bildverarbeitung hat sich heute zu einem entscheidenden Werkzeug in der Produktion und Fertigungstechnik entwickelt. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind Identifikation, Prüfung, Lokalisierung, Platzierung und Vermessung. Wird ein Bildverarbeitungssystem im Zusammenhang mit Handhabungssystemen eingesetzt, kann es sein, dass alle diese Einsatzgebiete auch abgedeckt werden müssen. Die Handhabungstechnik bietet somit ein großes Feld an Einsatzmöglichkeiten für die Bildverarbeitung. So ist es beispielsweise möglich, die Bildverarbeitung zur Identifikation und Lokalisierung eines zu verarbeitenden Objektes einzusetzen. Ebenso ist es möglich, die Platzierung eines gegriffenen Werkstückes an seiner Ablageposition mittels Bildverarbeitung zu realisieren.

Ein Bildverarbeitungssystem besteht aus mehreren Hauptkomponenten. Im Regelfall ist eine externe Beleuchtung vorzusehen, um für passende Lichtverhältnisse im interessierenden Bildbereich zu sorgen. Ein Objektiv überträgt die lichtmodulierten Objektinformationen des Bildbereichs auf einen entsprechenden Detektor in der Kamera, in der das Bild aufgenommen und der Bilderfassung für die nachfolgende Bearbeitung zur Verfügung gestellt wird. Eine Software kann das Bild dann auf verschiedenste Weise bearbeiten und auswerten. Bildverbesserungen sind ebenso möglich wie Mustererkennung oder Vermessungen von Objekten.

Es besteht sowohl die Möglichkeit die Bildverarbeitungssysteme modular aus den einzelnen Hauptkomponenten zusammenzustellen als auch intelligente Kameras (Smart-Kameras) zu verwenden, die die gesamte Bildverarbeitung von der Beleuchtung über die Bildaufnahme bis hin zur Bildverarbeitung in einem kompakten Gehäuse unterbringen [31].

2.1.4. Komplettsysteme für die Handhabung

Neben den unter 2.1.2 genannten Einzelkomponenten, mit denen ein Handhabungssystem entwickelt und realisiert werden kann, stehen am Markt auch Komplettsysteme zur Verfügung. Von diversen Herstellern werden Systeme in schlüsselfertiger Form vertrieben. Diese gibt es in verschiedenen Ausführungen von einfachen eindimensionalen Linearachsen bis hin zu Industrierobotersystemen, die Bewegungen um sechs Achsen ermöglichen. Je nach Kundenanforderung werden die benötigten Komponenten zusammengestellt und dem Kunden eine funktionsfertige Einheit übergeben und installiert. Dabei reicht das umfangreiche Leistungsspektrum von der Projektierung bis hin zum Service der installierten Anlage und Schulungen. Nachfolgend werden beispielhaft einige Hersteller und Systeme vorgestellt. Dabei wird ein Projektierer vorgestellt, der herstellerunabhängig Hard- und Software einsetzt sowie ein Hersteller mit kompletter Produktlinie und eine Mischform.

iNDAT Robotics GmbH

Die iNDAT Robotics GmbH aus 65462 Ginsheim- Gustavsburg ist in der Automatisierung von Bearbeitungs- und Montageprozessen tätig. Es wird das gesamte Leistungsspektrum von der Projektierung bis zum Support abgedeckt. Im Bereich der Handhabungstechnik werden verschiedene Roboterzellen oder Portalroboter angeboten. Hierbei wird auf eine modulare Technologieplattform Wert gelegt, um den Kundenanforderungen gerecht zu werden. Die Hard- und Software wird dabei herstellerunabhängig eingesetzt um maximale Flexibilität zu gewährleisten [12].

Adept Technology GmbH

Die Adept Technology GmbH mit der deutschen Niederlassung in 44379 Dortmund ist einer der weltweit führenden Hersteller von Industrierobotersystemen. Außerdem werden integrierte Bildverarbeitungssysteme zur Fließbandverfolgung sowie Technologien für die Zuführung von Kleinteilen angeboten. Adept setzt ausschließlich Hard- und Software aus der eigenen Produktlinie ein. Je nach Kundenanforderung werden Handhabungssysteme mit oder ohne Robotereinsatz und Bildverarbeitungssystemen realisiert [1].

bwm- Bremer Werk für Montagesysteme GmbH

Das Bremer Werk für Montagesysteme GmbH (bwm) aus 28865 Lilienthal bietet eine große Bandbreite von Montage- und Verarbeitungstechnik an. Der Umfang der Leistungen reicht dabei von der Projektierung über die Montage bis hin zu Schulungen und Serviceleistungen. Im Bereich der Handhabungstechnik ist mit dem UNIFEED ein flexibles Zuführsystem im Angebot, das mit verschiedenen Robotersystemen aller gängigen Fabrikate kombiniert wird. Es wird ein eigenes Bildverarbeitungssystem angeboten, das mit dem UNIFEED eingesetzt wird und dem Roboter die benötigten Positionsdaten von Werkstücken zur Verfügung stellt [5].

2.2. Mechanischer Aufbau des Portals

Der mechanische Aufbau des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Portals besteht aus einem 3-Achs-Flächenportal der Firma ITEM Industrietechnik GmbH welches durch die Niederlassung Hamburg in 22962 Siek gefertigt und geliefert wurde, einem Beschickungsbunkersystem zur Vorhaltung von Einzelteilen und einer Verteileinheit, die die Einzelteile aus dem Beschickungsbunker auf einem Objektträger ausbringt.

Die folgende Abbildung zeigt das 3-Achs-Flächenportal.

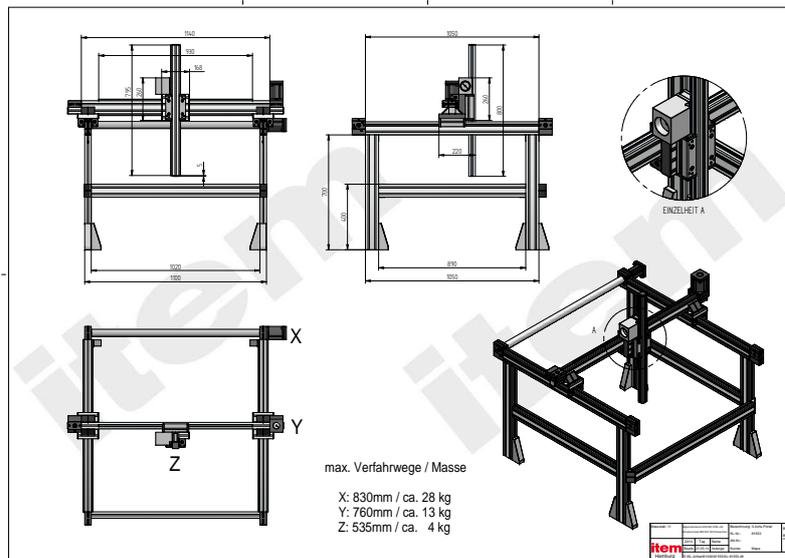


Abbildung 2.3.: Aufbau des 3-Achs-Flächenportals der Firma ITEM Industrietechnik GmbH

Mit diesem Flächenportal wird die Bewegung in der X-, Y- und Z-Richtung realisiert. Die maximalen Verfahrswege sind der Zeichnung zu entnehmen.

An der Z-Achse befindet sich eine Greifeinheit, die um 360° drehbar gelagert ist. Mit dieser können Teile gegriffen und für den Transport mit dem Achsportal fixiert werden. Durch das Austauschen des Greifers ist es möglich verschiedene Teile zu greifen und zu transportieren. Die folgende Abbildung stellt den Greifer, wie er für diese Arbeit exemplarisch projiziert wird, dar. Kommt eine andere Greifeinrichtung zum Einsatz, können sich auch Änderungen in der Ansteuerung und im Programmablauf, wie er in den folgenden Kapiteln beschrieben wird, ergeben. Die Abbildung zeigt die Greifeinheit in Ruheposition. Durch die Ansteuerung des Greifers mit Druckluft fahren die pneumatisch betätigten Greiffinger am unteren Ende der Einheit auseinander, der Abstand x im Bild vergrößert sich und ein Teil mit Boh-

rung oder Materialaussparung wird gegriffen und fixiert.

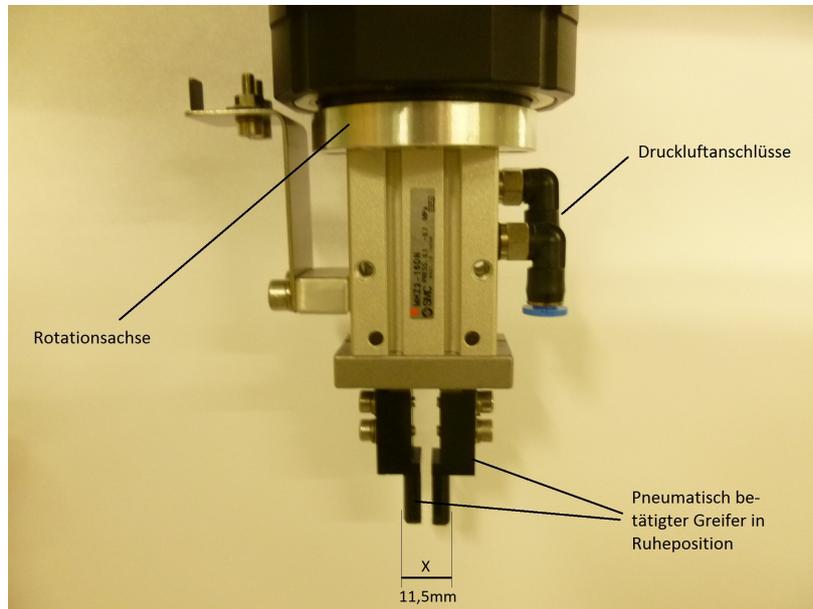


Abbildung 2.4.: Drehbare Greifeinheit in Ruheposition

Zur Versorgung des Portals mit zu verarbeitenden Einzelteilen wird ein Beschickungsbunker mit angeschlossener Verteileinheit verwendet, die die Teile auf einem Objektträger ausbringt. Von hier aus ist das Portal in der Lage, einzelne Teile zu greifen und abzutransportieren. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau des Bunkersystems mit den Verteileinheiten und Objektträgern. Hier ist ein Gesamtaufbau mit einem bisher eingesetzten 4-Achs-Industrieroboter abgebildet. Dieser Industrieroboter wird im Rahmen dieser Arbeit nun durch das vorgestellte 3-Achs-Flächenportal mit Greifeinheit ersetzt. Es werden an einer Portalstation zwei Beschickungsbunker mit entsprechenden Verteileinheiten und Objektträgern eingesetzt. Somit ist es möglich mit entsprechenden Greifwerkzeugen mit einem Industrieroboter beziehungsweise Flächenportal zwei verschiedene Teile nacheinander zu verarbeiten. Das Portal wird räumlich so über den Objektträgern positioniert, dass jede Position auf beiden Trägern durch die Greifeinheit erreicht wird.

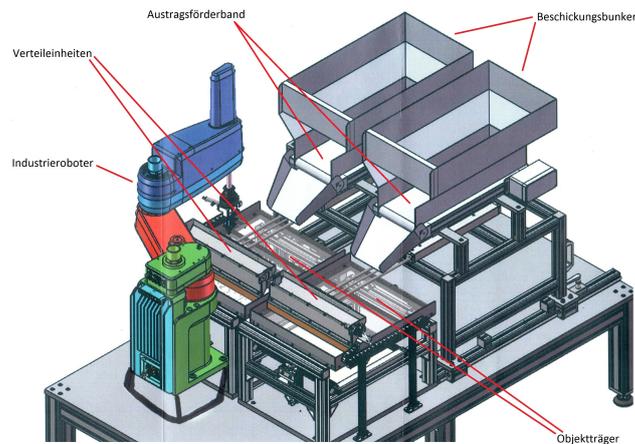


Abbildung 2.5.: Bunkersystem mit Verteileinheit und Objektträgern

Aus dem Beschickungsbunker gelangen die zu verarbeitenden Teile in die Verteileinheit. Diese kann, beladen mit Teilen, über den Objektträger bewegt werden um hier die aufgenommenen Teile zu entladen. Die Werkstücke fallen in zufälliger Ausrichtung und Lage auf den Objektträger und verweilen dort.

Zur örtlichen Orientierung der Achsen im Portalaufbau wird das kartesische Koordinatensystem verwendet. Dabei stellt die Achse, die parallel zum Austragsförderband des Bunkers verläuft die Y-Achse und die Achse, die rechtwinklig dazu verläuft, die X-Achse dar. Diese Orientierung entspricht nicht der Festlegung der Achsbezeichnung durch den Hersteller des 3-Achs-Flächenportals in Abbildung 2.3, wird hier jedoch zweckmäßig eingeführt. Die dritte Achse dient als Höhenangabe und wird als Z-Achse bezeichnet. Die folgende Abbildung zeigt die räumliche Vorstellung des Koordinatensystems:

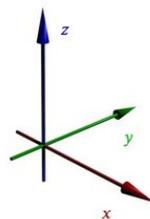


Abbildung 2.6.: Koordinatensystem X-Y-Z (Quelle: upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e0/Blender_Koordinatensystem.jpg)

Die Drehachse, die an die Z-Achse montiert ist, erhält keinen Buchstaben zur Bezeichnung, sondern wird weiterhin als Drehachse benannt.

2.3. Antriebstechnik des Portals

Die einzelnen Komponenten des Gesamtaufbaus der Handhabungseinrichtung sind mit verschiedenen Antriebskonzepten ausgestattet. Im Folgenden wird die technische Ausstattung der Teilsysteme vorgestellt.

Bunkersystem

Das Bunkersystem besitzt zum Austrag von Werkstücken ein Förderband. Dieses wird durch einen Gleichstrommotor angetrieben.

Verteileinheit

Die Verteileinheit erfüllt zwei Funktionen. Zum einen wird der gesamte Verteilerkörper mit den inliegenden Werkstücken über den Objektträger bewegt. Dies geschieht über einen pneumatisch angetriebenen Führungszylinder. Zum anderen ist die Verteileinheit in der Lage die Werkstücke auf dem Objektisch zu entladen. Hierfür besitzt der Verteiler eine Auslassklappe. Zur Betätigung der Klappe steht ein pneumatisch angetriebener Schwenkantrieb zur Verfügung.

Drehachse

Die Drehachse am Greifwerkzeug wird über einen Gleichstrom-Schrittmotor der Firma Oriental Motor Europe GmbH mit dazugehörigem Motorcontroller angetrieben.

X-, Y-, Z-Achse

Sowohl die X- und Y- als auch die Z-Achse werden durch Wechselstrom-Schrittmotoren der Oriental Motor Europe GmbH mit dazugehörigem Motorcontroller angetrieben. Dabei wird die Kraft im Fall der X- und Y-Achse auf einen Zahnriementrieb und im Fall der Z-Achse auf eine Zahnstange übertragen, die für den Vortrieb der jeweiligen Achse sorgen.

3. Anforderungen

Um eine zielgerichtete Bearbeitung zu gewährleisten werden die Anforderungen an das Zuführsystem definiert. Hierfür werden in Kapitel 3.1 zunächst die Anforderungen an das Gesamtsystem erarbeitet. Hier sind die Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem nur grob umschrieben. Aufgrund der sehr speziellen und umfangreichen Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem werden diese in Kapitel 3.2 noch separat ausgeführt.

Die hier genannten Anforderungen beziehen sich auf ein beispielhaft zu verarbeitendes Einzelteil aus dem Produktsortiment der MAPA GmbH. Die folgende Abbildung zeigt dieses Teil. Es handelt sich hierbei um die Mundplatte eines Beruhigungssaugers für Säuglinge aus dem NUK-Markensortiment. Diese Mundplatte wird durch das Greifwerkzeug am mechanischen Prototyp des Zuführportals (Siehe 2.2) in der zentralen Aussparung gegriffen und transportiert. Die folgende Abbildung zeigt die Draufsicht dieser Mundplatte:

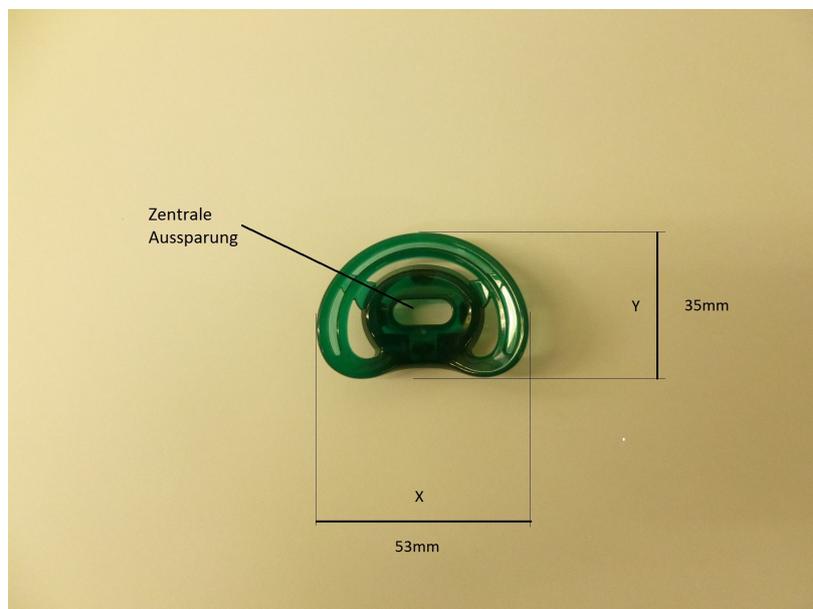


Abbildung 3.1.: Mundplatte Draufsicht Oberseite

3.1. Anforderungen an das Gesamtsystem

Die Anforderungen an das Gesamtsystem werden in mehrere Blöcke gegliedert.

Verwendung des vorhandenen Portals

Es wird das in Kapitel 2.2 beschriebene Flächenportal mit der in Kapitel 2.3 genannten Antriebstechnik genutzt. Als Beschickungsbunker zur Vorratshaltung von Werkstücken wird der montierte Bandbunker verwendet, der das Material der bereits montierten Verteileinheit zuführt.

Lokalisierung der Werkstücke

Die Verteileinheit legt die Werkstücke ungeordnet in zufälliger Ausrichtung auf dem Objektträger ab. Um maximale Flexibilität im Bezug auf die zu verarbeitenden Werkstücke zu erlangen, wird ein Bildverarbeitungssystem integriert, welches in der Lage ist, Teile mit bestimmten Merkmalen auf dem Objektträger zu finden, dessen Lage und Position zu ermitteln und mit diesen Daten die Antriebe des Portals zu versorgen.

Steuerung des Portals

Es wird eine Steuerung des Gesamtportals erstellt, die sowohl einen Handbetrieb als auch den automatischen Betriebsablauf gewährleistet. Im Handbetrieb sind alle Einzelfunktionen durch den Bediener steuerbar. Im Automatikmodus ist das System in der Lage im ungestörten Betriebsablauf eine Montagelinie ohne Zutun des Bedienpersonals mit benötigten Einzelwerkstücken zu versorgen. Die Wartung und Reparatur ist durch das technische Personal der MAPA GmbH bestehend aus Elektronikern für Betriebstechnik und Industriemechanikern durchführbar.

Variabilität

Das System ist in der Lage durch die Verwendung von verschiedenen, wechselbaren Greifern verschiedene Werkstücke zu verarbeiten. Die Steuerung unterstützt dies durch Anpassbarkeit.

Des Weiteren ist die Ablageposition nicht festgelegt. Sie ist durch die Steuerung anpassbar.

Taktgeschwindigkeit

Das Portal ist in der Lage, mindestens 12 Werkstücke pro Minute zu verarbeiten.

Fertigstellungstermin

Es wird ein funktionsfähiger Prototyp erstellt. Der mechanische Aufbau des Flächenportals besteht aus zwei Objektträgern, um mit einer Antriebskonstruktion gleichzeitig zwei Werkstücke verarbeiten zu können. Ziel ist die Fertigstellung einer der zwei Seiten des Portals zum 31.07.2014. Die Realisierung ist auf die zweite Seite des Portals übertragbar.

Kosten

Die Materialkosten für das Handhabungssystem liegen unterhalb derer für die bisher eingesetzten Systeme. Ziel ist die Kosten unterhalb von 40000 Euro zu halten.

3.2. Spezifische Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem

Aus den Anforderungen für das Gesamtsystem werden die spezifischen Anforderungen für das Bildverarbeitungssystem erarbeitet. Diese werden hier aufgrund des Umfangs in einem separaten Kapitel aufgelistet. Die Anforderungen werden in verschiedene Teilsysteme der Bildverarbeitung aufgeteilt.

Kamerasystem und Optik

Die Objektträger werden mit bereits vorhandenen LED-Leuchtfeldern hinterleuchtet. Durch diese Vorgabe ist die maximale Größe des Bildfeldes festgelegt. Der rechteckförmige, durch die Platte hinterleuchtete Bereich hat eine Größe von 400 mm x 300 mm. Das Kamerasystem soll möglichst in der Lage sein, die gesamte Fläche aufzunehmen. Das Sichtfeld der Kamera wird an die Größe der Beleuchtung angepasst.

Die Kamera darf sich nicht im Verfahrbereich des Portals befinden, um Schäden auszuschließen. Dies bedeutet, dass der Abstand der Kamera zur Aufnahmefläche mindestens 1450 mm betragen muss, wenn diese zentral über der Fläche angebracht wird. Für Kameras, die schräg zur Fläche angebracht werden, gelten andere Abstände, die gegebenenfalls zu ermitteln sind.

Das System ist in der Lage, Teile verschiedener Größenordnungen zu erkennen. Da das System variabel gehalten wird und verschiedene Teile verarbeitet werden sollen, sind die genauen Größenordnungen der zu erkennenden Teile nicht bekannt. Es wird von einer Größenordnung von 10 mm x 10 mm für die kleinsten zu erkennenden Teile bis 60 mm x 60 mm für die größten Teile ausgegangen.

Die Aufnahme eines Bildes wird durch die übergeordnete Steuerung angefordert. Das Kamerasystem hat zu diesem Zweck einen Triggereingang, um mit einem Signal die Bildaufnahme anzustoßen.

Bildverarbeitung

Durch die Maschineneinrichter in der Produktion soll es möglich sein, neue zu erkennende Teile, in das System einzutrainieren. Das heißt, wenn ein neues Teil durch die Bildverarbeitung erkannt werden soll, muss es dem Einrichter möglich sein, ein zu suchendes Muster oder Musterbild einzugeben oder einzuspeichern. Ebenso muss der Maschineneinrichter in der Lage sein, bestehende Suchabläufe zu ändern. Die Einrichter in der Produktion verfügen nicht über Fachkenntnisse aus den Bereichen Elektrotechnik oder Programmierung. Es muss gewährleistet sein, dass die Bedienung des Systems durch angeleitete Kräfte erfolgen kann.

Die Bildverarbeitung muss in der Lage sein, die X- und Y-Koordinaten (Koordinatensystem siehe 2.2) der erkannten Teile zu ermitteln. Ebenso muss der Verdrehwinkel der Teile zu einer definierten Nulllage ermittelt werden. Diese Koordinaten und der Winkel müssen der Steuerung des Handhabungsportals zugänglich gemacht werden.

Das aktuell zu verarbeitende Bild sowie die daraus resultierenden Ergebnisse für die Koordinaten- und Winkelermittlung können auf einem Anzeigegerät dargestellt werden und es besteht die Möglichkeit Bilder und Ergebnisse zur Analyse oder Fehlersuche abzuspeichern.

Aufgrund der geforderten Taktgeschwindigkeit von 12 Werkstücken pro Minute stehen für die Verarbeitung jedes Taktes fünf Sekunden zur Verfügung. Diese Zeit muss für die Aufnahme und Verarbeitung des Bildes ausreichen.

Benötigte Genauigkeit der Datenermittlung

Aufgrund der geforderten Variabilität im Bezug auf die zu greifenden und zu transportierenden Teile wird davon ausgegangen, dass die Genauigkeit auf die vorliegenden Teile und Greifer ausgelegt wird. Wird beispielsweise der Greifer gewechselt um andere Teile zu entnehmen und zu platzieren, muss darauf geachtet werden, dass dieser so konstruiert wird, dass die gegebenen Genauigkeiten des Bildverarbeitungssystems ausreichend sind.

Die benötigte Genauigkeit der Koordinatenermittlung ergibt sich aus dem eingesetzten Greifer, der zu befördernden Mundplatte und der Schrittauflösung der eingesetzten Antriebe für die X-, Y- sowie der Drehachse. Die in Abbildung 3.1 gezeigte Mundplatte hat eine zentrale Aussparung, in die die Finger des Greifwerkzeuges eingreifen. Die Rundungen an zwei der vier Kanten der Aussparung werden durch die Greiffinger formschlüssig nachgebildet und werden hier nicht weiter betrachtet. Durch die Symmetrie der Aussparung und der Greiffinger richtet sich die Mundplatte im Greifer selbst zentral aus. Ohne Berücksichtigung der Rundungen hat die Aussparung eine Größe von 14,9 mm x 6,5 mm. Die Greiffinger benötigen im Ruhezustand einen Raum von 11,3 mm x 5,2 mm um in die Aussparung einzutreten. Die benötigte Genauigkeit erhält man, indem man die zusammengehörigen Werte der Aussparung und der Greiffinger voneinander subtrahiert. Es ergeben sich so:

$$X_{abweichung,max} = \frac{X_{Aussparung} - X_{Greifer}}{2} = \frac{14,9 \text{ mm} - 11,3 \text{ mm}}{2} = 1,8 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$Y_{abweichung,max} = \frac{Y_{Aussparung} - Y_{Greifer}}{2} = \frac{6,5 \text{ mm} - 5,2 \text{ mm}}{2} = 0,65 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Da die Mundplatten willkürlich auf dem Objektträger verteilt liegen und nicht ausgerichtet sind, ist die X-Y-Orientierung der Mundplatte nicht an die X-Y-Orientierung des Portals gebunden. Es muss die geringere maximale Abweichung für beide Achsen angenommen werden. Zusätzlich ist die Abweichung der Portalantriebe zu berücksichtigen. Da für die Anordnung keine Datenblattangaben zur Verfügung stehen und ein Versuchsaufbau noch nicht in Betrieb ist, wird aus Erfahrung mit einer Abweichung von 0,35 mm gerechnet. Somit ergibt sich für die zulässige maximale Abweichung der Koordinaten in X- und Y-Richtung:

$$X, Y_{abweichung,max} = 0,65 \text{ mm} - 0,35 \text{ mm} = 0,3 \text{ mm} \quad (3.3)$$

Durch die Einarbeitung des Faktor 2 in Formel (3.1) und (3.2) gelten diese Abweichungen sowohl in positiver als auch in negativer Richtung. Somit ergibt sich eine maximale Abweichung von

$$X, Y_{abweichung,max} = \pm 0,3 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Die maximale Abweichung der Koordinaten des Verdrehwinkels zu einer definierten Nulllage wird wiederum aus den X-Y-Werten der Mundplatte sowie des Greifers ermittelt. Da sich die Drehachse in der Mitte der Greiffinger befindet, ist der X-Wert des Greifers zu halbieren. Dieser halbierte Wert bildet die Ankathete des Dreiecks zur Bestimmung der maximalen Abweichung des Verdrehwinkels. Außerdem ist die maximale X-Y-Abweichung zu berücksichtigen (Wert aus Formel 3.3). Mittels der Tangensfunktion kann die maximale Abweichung ermittelt werden. Das folgende Schaubild verdeutlicht das Vorgehen:

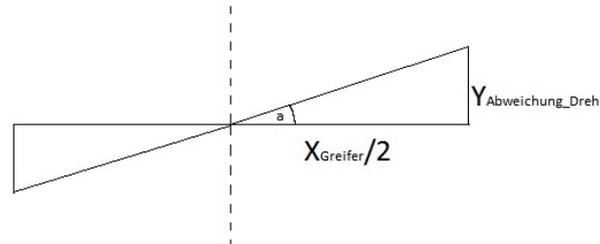


Abbildung 3.2.: Berechnung der maximal erlaubten Koordinatenabweichung des Verdrehwinkels

Nach der Tangensfunktion kann die maximal zulässige Koordinatenabweichung ermittelt werden.

$$a = \arctan\left(\frac{Y_{\text{AbweichungDreh}}}{X_{\text{Greifer}/2}}\right) \quad (3.5)$$

$$= \arctan\left(\frac{Y_{\text{abweichung,max}} - X, Y_{\text{abweichung,max}}}{X_{\text{Greifer}/2}}\right) \quad (3.6)$$

$$= \arctan\left(\frac{0,65 \text{ mm} - 0,3 \text{ mm}}{11,3 \text{ mm}/2}\right) \quad (3.7)$$

$$= 3,54^\circ \quad (3.8)$$

Diese Abweichung gilt wiederum in positiver wie negativer Drehrichtung aus der definierten Nulllage betrachtet. Somit muss die Bildverarbeitung eine Genauigkeit von

$$a = \pm 3,54^\circ \quad (3.9)$$

aufweisen.

Die Anforderungen an das Bildverarbeitungssystem werden noch einmal zusammengefasst:

- 1) Größe der Aufnahmefläche: 400 mm x 300 mm
- 2) Abstand Aufnahmefläche zu Kamera: 1450 mm
- 3) Größenordnung der zu erkennenden Teile: 10 mm x 10 mm bis 60 mm x 60 mm
- 4) Triggergesteuerte Bildaufnahme
- 5) Musterbild mit zu suchenden Eigenschaften ist durch Maschineneinrichter eintrainierbar
- 6) Anwendungen können durch den Bediener ohne Kenntnisse von Programmiersprachen geändert und ergänzt werden
- 7) Die Bildverarbeitung ist in der Lage, die X- und Y-Koordinaten sowie den Verdrehwinkel zu einer Nulllage der erkannten Teile auszugeben
- 8) Die ermittelten Koordinaten werden der Steuerung des Portals zugänglich gemacht
- 9) Möglichkeit zur Speicherung von Bildern und Ergebnissen
- 10) Benötigte Genauigkeit der X- und Y-Koordinaten: $\pm 0,3$ mm
- 11) Benötigte Genauigkeit des Verdrehwinkels: $\pm 3,54^\circ$

4. Konzeption

Aufgrund der Anforderungen wird die Konzeption des Handhabungssystems erstellt.

4.1. Konzeption des Bildverarbeitungssystems

Das Bildverarbeitungssystem stellt einen entscheidenden Baustein des Gesamtsystems dar. Es muss in der Lage sein, die zu verarbeitenden Teile aufgrund spezifischer Merkmale zu erkennen, deren Position zu ermitteln und diese an die Steuerungstechnik weiter zu geben. Des Weiteren werden Funktionen benötigt, die das Einlesen neuer Musterteile und die Erstellung neuer Prüfabläufe durch das Bedienpersonal ermöglichen.

Die Suche nach einer geeigneten Bildverarbeitung wird herstellerunabhängig durchgeführt. Es werden die Systeme und Programme von verschiedenen Herstellern und Systemintegratoren miteinander verglichen. Hierbei wird geprüft, ob die Bildverarbeitung in der Lage ist, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Einen Überblick über viele am Markt erhältliche Bildverarbeitungssysteme und -komponenten liefert die Broschüre „Industrielle Bildverarbeitung 2013/14“ des Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA)[29], sowie eine Übersicht der Universität Siegen über die gängigen Bibliotheken/Software zur Automatisierung in der Bildverarbeitung [33].

4.1.1. Vorstellung verschiedener Bildverarbeitungssysteme

Aufgrund der Vielzahl und Varianten an Bildverarbeitungen verschiedener Hersteller wird der Vergleich auf sieben Systeme beschränkt. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die zu vergleichenden mit dem Systemnamen, der Angabe des Herstellers und einem Verweis auf den Internetauftritt für erste Informationen.

Hersteller/Entwickler	Systemname	Informatiosquelle
Intel Corporation, Santa Clara, USA	OpenCV	[13]
MVTEC Software GmbH, München, Deutschland	HALCON	[16]
Cognex Corporation, Natick, USA	In-Sight	[8]
Cognex Corporation, Natick, USA	VisionPro	[9]
Tordivel AS, Oslo, Norwegen	Scorpion Vision Software	[28]
NeuroCheck GmbH	NeuroCheck 6.0	[18]
Bremer Werk für Montagesysteme GmbH, Lilienthal, Deutschland	MO/P/S	[4]

Tabelle 4.1.: Liste der zu vergleichenden Bildverarbeitungssysteme

Die Kriterien, nach denen die Bildverarbeitungssysteme verglichen werden, ergeben sich aus den Anforderungen an die Bildverarbeitung, wie in 3.2 erläutert. Die konkreten Kriterien sind im einzelnen:

Kompatibilität

Um die geforderte Genauigkeit zu erreichen und eine möglichst hohe Herstellerunabhängigkeit zu erzielen, wird die Kompatibilität des Bildverarbeitungssystems zu verschiedenen Kamertypen und -herstellern ermittelt. Bei PC- basierten Systemen wird ebenfalls die Kompatibilität mit verschiedenen Betriebssystemen untersucht.

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Es wird geprüft, welche Funktionen zum Auffinden eines Merkmals oder Teils im Bild und der Ermittlung der Positionsdaten vorhanden sind.

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Wie ist die Möglichkeit zur Anzeige von aktuellen Bildern während des Betriebsablaufs und die Anzeige und spätere Auswertung der Ergebnisse gestaltet?

Programmierung

Hier wird untersucht, wie neue Prüfabläufe hinzugefügt oder bestehende Abläufe editiert werden können. Ein besonderes Augenmerk wird in diesem Zusammenhang darauf gelegt, dass keine programmiertechnischen Hochsprachen wie C/C++ nötig sind, um eine Prüfung einzurichten oder die Grundfunktionen zu editieren.

Schnittstellen

Die Schnittstellen, die das System bietet, um die Prüf- und Messergebnisse an nachfolgende Automatisierungseinrichtungen weiterzugeben, werden erläutert.

Service

Die Serviceleistungen sind ebenfalls ein Auswahlkriterium. Hier wird ermittelt, ob und in welchem Umfang Dokumentation und Handbücher zur Verfügung stehen, ob Demonstrationsversionen angeboten werden und ob Programmbeispiele zur eigenen Verwendung integriert sind.

Sonstiges

Besonderheiten des Systems.

Anschaffungspreis

Wenn möglich, wird ein voraussichtlicher Anschaffungspreis des Systems ermittelt.

Weiterhin wäre der Vergleich der Verarbeitungsgeschwindigkeiten der einzelnen Programme wichtig. Dies lässt sich anhand von Demoversionen und Datenblattangaben, beziehungsweise Auskünften von Vertriebsmitarbeitern des Programmherstellers nicht objektiv durchführen. Hierzu wäre ein Test des gleichen Inputbildes mit allen Systemen nötig. Aufgrund der relativ langen möglichen Bearbeitungszeit für ein Bild durch die genannte Taktzeit wird davon ausgegangen, dass alle Systeme in der Lage sind diese einzuhalten. Bei der endgültigen Angebotserstellung wird darauf geachtet, möglichst verbindliche Angaben des Herstellers zu bekommen.

Die einzelnen Bildverarbeitungssysteme und Programme werden auf die genannten Merkmale hin untersucht.

OpenCV

OpenCV oder Open Source Computer Vision Library ist eine frei verfügbare Softwarebibliothek die Bildverarbeitungsalgorithmen enthält. OpenCV ist in C und C++ programmiert und wird in eine entsprechende Programmierumgebung eingebettet [33]. Die Entwicklung der unter den Bedingungen der BSD-Lizenz verfügbaren Bibliothek wurde von der Intel Corporation, USA ins Leben gerufen. Durch die offenen Bibliotheksstruktur kann das Grundgerüst durch den Anwender genutzt, verändert und weiterentwickelt werden. OpenCV steht in der aktuellen Version 2.4.9 zum Download bereit [36]. OpenCV ist somit eine PC basierte Software. Als Bildquelle dienen Kamerasysteme, die zusätzlich beschafft werden müssen.

Kompatibilität

OpenCV ist durch seine Einbindung in C/C++ Entwicklungsumgebungen auf jedem PC-System lauffähig, auf dem die Entwicklungsumgebung lauffähig ist. Somit ist ein Einsatz unter den Betriebssystemen Windows, MAC OS, Linux und Android möglich.

Die Kamerakompatibilität von OpenCV wird nicht offiziell von Seiten des Vertreibers angegeben. Die Treiber für Kameras müssen von den Kameraherstellern mitgeliefert werden oder selbst programmiert werden [33].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Die Programmbibliothek umfasst mehr als 2500 Algorithmen, die in Modulen für verschiedene Anwendungsfelder zusammengefasst sind. Hierzu zählen auch Module zur Objekterkennung.

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

OpenCV besitzt Funktionen die die Anzeige von Bildern und Ergebnissen auf dem PC-Bildschirm ermöglichen. Programmierbeispiele sind in der Online Dokumentation von OpenCV verfügbar [19].

Programmierung

Durch die Bibliotheksstruktur von OpenCV und seiner Einbindung in Entwicklungsumgebungen besitzt OpenCV an sich kein GUI. Eine grafische Oberfläche zum Hinzufügen oder Ändern von Prüfabläufen oder zum Einrichten neuer Prüfungen muss selbst programmiert werden.

OpenCV unterstützt die Programmiersprachen C, C++ und Python [33].

Schnittstellen

Durch die Einbindung eigener Programmteile und Algorithmen, können Daten und Bilder über jede am PC zur Verfügung stehenden Schnittstellen gesendet werden. Diese Funktionen müssen zusätzlich programmiert werden. So ist es möglich, die Daten zum Beispiel über TCP/IP auszugeben. [33]

Service

Für OpenCV existiert eine Online- Dokumentation. In dieser Dokumentation sind Funktionen knapp erläutert und es besteht die Möglichkeit, Beispielprogramme und -programmteile anzuschauen [20]. Aufgrund des Freewarestatus des Programms sind keine weiteren offiziellen Supportangebote, beispielsweise durch einen Vertriebspartner, vorhanden.

Sonstiges

Ein Alleinstellungsmerkmal von OpenCV ist sein Freewarestatus. Aufgrund dessen, dass das Programm kostenlos zur Verfügung steht, existiert im Internet eine große, kostenfreie Supportgemeinde.

Anschaffungspreis

Die Programmbibliothek OpenCV ist kostenlos erhältlich und mit der BSD-Lizenz auch kommerziell nutzbar.

HALCON

Die Bildverarbeitungssoftware HALCON wird von der Firma MVTec Software GmbH entwickelt und vertrieben. HALCON bietet eine umfassende Softwarebibliothek für die industrielle Bildverarbeitung. Es ist eine integrierte Entwicklungsumgebung enthalten, mit der die einzelnen Funktionen zu Programmabläufen zusammengestellt werden. HALCON und die Entwicklungsumgebung HDevelop sind PC basierte Programme. Als Bildquelle dienen Kamerasysteme verschiedener Hersteller [16].

Kompatibilität

Das HALCON-Bildverarbeitungssystem mit der integrierten Entwicklungsumgebung HDevelop kann auf Computersystemen mit verschiedenen Betriebssystemen eingesetzt werden. Hierzu zählt Windows ebenso wie Linux oder MAC OS X. HALCON unterstützt Multiprozessor- oder Multikernsysteme ebenso wie Grafikbeschleuniger.

HALCON ist hardwareunabhängig. Im Softwarepaket sind Treiber für Kameratypen verschiedener Hersteller enthalten. Damit ist es möglich, verschiedene Kameras und Bildeinzugsysteme von unterschiedlichen Herstellern zu nutzen [33].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Die Software bietet in Bibliotheken verschiedene Funktionen zur Umsetzung konkreter Aufgabenstellungen. Hierzu zählen Funktionen für den Bildeinzug, die Objekterkennung und das Vermessen der gefundenen Objekte. Diese Funktionen werden über die integrierte Entwicklungsoberfläche HDevelop zu Programmabläufen zusammengestellt. HDevelop bietet dabei die Möglichkeit, über Assistenzprogramme die verschiedenen Verarbeitungsschritte vom Einlesen des Bildes über die Suche nach Merkmalen bis hin zur Ausführung verschiedener Messalgorithmen zusammenzufassen [16].

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Die Anzeige von Bildern und Messergebnissen ist über die integrierte Entwicklungsumgebung HDevelop möglich. Die Anzeigefenster sind dabei an die Bedürfnisse des Bedieners anpassbar [16].

Programmierung

Die Erstellung von Programmabläufen mit den enthaltenen Standardfunktionen wird über die graphische Entwicklungsumgebung HDevelop realisiert. Diese Umgebung ist ohne Kenntnisse von Programmiersprachen wie C oder C++ bedienbar. HDevelop erzeugt aus dem zusammengestellten Programmablauf HALCON/.NET- code. Bei HALCON/.NET handelt es sich um eine C-ähnliche Programmiersprache, die auch in die Sprachen C, Visual Basic, C++ oder .NET überführt werden kann. HALCON bietet somit die Möglichkeit der Programmierung in C/C++, Visual Basic oder .NET [16].

Schnittstellen

HALCON beinhaltet Funktionen zur Verwendung von seriellen Schnittstellen. Hierfür stehen Funktionen zur Einrichtung einer seriellen Verbindung, der Serialisierung von Daten und zum Senden und Empfangen von seriellen Elementen zur Verfügung. Durch die Möglichkeit der Programmierung in beispielsweise C/C++ können auch andere Schnittstellen wie zum Beispiel [TCP/IP](#) realisiert werden [16].

Service

Eine Demoversion von HALCON ist kostenlos erhältlich, die einen eingeschränkten Funktionsumfang bietet.

In der Entwicklungsumgebung HDevelop befindet sich eine umfangreiche Dokumentation, in der beispielsweise alle Funktionen beschrieben sind. Die Dokumentation beinhaltet auch Anleitungen zum Erstellen von Standardanwendungen, an denen man sich bei der Programmierung oder Zusammenstellung der Funktionen orientieren kann. MVTec arbeitet in Deutschland mit einer Reihe von Vertriebspartnern zusammen, bei denen das Produkt erworben werden kann und die Produktunterstützung bieten [16].

Sonstiges

Durch seine umfangreichen Programmiermöglichkeiten ist HALCON universell einsetzbar. Es bietet sowohl die Möglichkeit der schnellen Zusammenstellung von Funktionen über die grafische Oberfläche HDevelop als auch die Programmierung und Einbindung von Funktionen in Programmierumgebungen wie C/C++.

Anschaffungspreis

Die Lizenzen für die Nutzung von HALCON sind modular aufgebaut. Zur Erstellung von Programmabläufen benötigt man eine Entwicklerlizenz von HALCON. Die Kosten für eine unbefristete Entwicklerlizenz belaufen sich auf 6875 Dollar. Wird das erstellte Programm auf einem anderen PC als dem Programmiergerät ausgeführt, ist eine Laufzeitlizenz nötig. Die Kosten hierfür sind von den verwendeten Funktionen abhängig und belaufen sich auf 812 bis 1688 Dollar [14].

In-Sight

In-Sight ist ein Smart-Kamerasystem, das von der Firma Cognex Corporation entwickelt und vertrieben wird. Für die Verwendung des Systems ist kein PC nötig. Das Bildverarbeitungsprogramm läuft im Betrieb direkt auf einem Prozessor, der in das Kamerasystem integriert ist. Mittels einer Konfigurationssoftware werden die Programmabläufe erstellt und verändert und anschließend in die Kamera geladen [7].

Kompatibilität

Die Konfigurationssoftware In-Sight-Explorer kann auf allen gängigen Betriebssystemen installiert werden.

Durch die Ausführung als Smart-Kamerasystem besteht keine Kompatibilität zu anderen Bildaufnahmesystemen. Das Kamerasystem und die Bildverarbeitung bilden eine Einheit [7].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Die Bildverarbeitungssoftware bietet Werkzeuge und Funktionen in verschiedenen Kategorien, wie zum Beispiel Lokalisierungstools, Messtools oder Robotersteuerungstools, mit denen die gewünschte Funktionalität realisiert werden kann. Ebenso enthalten sind Werkzeuge für die Ausgabe von Daten und Bildern an Schnittstellen [7].

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Mittels der flexiblen Anzeigeeoption VisionView können Bilder und Daten sowohl auf einem PC als auch auf einem Benutzerdisplay dargestellt werden [7].

Programmierung

Die Programmierung von Bildverarbeitungsanwendungen erfolgt mit der Software In-Sight Explorer. Diese läuft zur Anwendungserstellung auf einem PC und überträgt die fertige Anwendung auf die Kamera. Im Betrieb ist das Programmiergerät nicht nötig. Die Programmiersoftware verfügt über eine graphische Oberfläche, auf der der Anwender Schritt für Schritt durch die Erstellung der Anwendung geleitet wird [7].

Schnittstellen

Mit der Programmerweiterung CognexConnect, die in der In-Sight Explorer Software enthalten ist, kann ein Vielzahl von Kommunikationslösungen erstellt werden. Zur Kommunikation mit [SPS](#) stehen beispielsweise Feldbussysteme wie ProfiNET oder CC-Link zur Verfügung. Zur Ankopplung an ein PC-Netzwerk kann beispielsweise [TCP/IP](#) genutzt werden [7].

Service

Die Software In-Sight Explorer kann kostenlos auf der Homepage der Cognex Corporation heruntergeladen werden. Diese Software beinhaltet Beispielbilder mit denen Anwendungen erstellt und getestet werden können. Auch Beispiele zu typischen Anwendungen sind enthalten. In der In-Sight Explorer Software steht eine umfangreiche Dokumentation zur Verfügung. Über die Homepage der Cognex Corporation können Handbücher und Anleitungen kostenfrei heruntergeladen werden [8].

Sonstiges

Das Bildverarbeitungssystem ist ein Smart-Kamerasystem. Die gesamte Bildverarbeitung läuft im Betrieb auf dem Kamerasystem ab. Ein PC ist nicht zwingend notwendig.

Anschaffungspreis

Aufgrund eines Gespräches mit Auendienstmitarbeitern eines Vertriebspartners der Cognex Corporation wird für eine für die Anwendung passende Kamera von einem Preis von 8000 Euro ausgegangen.

VisionPro

Das Bildverarbeitungssystem VisionPro wird ebenfalls von der Firma Cognex Corporation entwickelt und vertrieben. VisionPro ist, im Gegensatz zu In-Sight, ein PC basiertes Bildverarbeitungssystem, dem eine Kamera vorgeschaltet wird. Es ist eine grafische Entwicklungsumgebung integriert, mit der Anwendungen erstellt werden können. Zusätzlich bietet VisionPro die Möglichkeit des Zugangs zu allen integrierten Funktionen und Werkzeugen über die Programmiersprachen .NET oder C/C++ [6].

Kompatibilität

Cognex VisionPro ist auf allen gängigen Microsoft Windows Versionen installierbar. VisionPro ist hardwareunabhängig. Im Softwarepaket sind Treiber für Kameratypen verschiedener Hersteller enthalten. Damit ist es möglich, verschiedene Kameras und Bildeinzugsysteme von unterschiedlichen Herstellern zu nutzen. Die Treiber für Kamerasysteme sind in der Software bereits enthalten [33] [6].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Die Bildverarbeitungssoftware bietet Werkzeuge und Funktionen in verschiedenen Kategorien, wie zum Beispiel Lokalisierungstools, Messtools oder Robotersteuerungstools, mit denen die gewünschte Funktionalität realisiert werden kann [6].

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Die Anzeige von Bildern und Messergebnissen ist über die integrierte Entwicklungsumgebung möglich. Die Anzeigefenster sind dabei an die Bedürfnisse des Bedieners anpassbar [6].

Programmierung

Die Erstellung von Programmabläufen mit den enthaltenen Standardfunktionen wird über die grafische Entwicklungsumgebung VisionPro QuickBuild realisiert. Diese Umgebung ist ohne Kenntnisse von Programmiersprachen wie C oder C++ bedienbar. VisionPro bietet die Möglichkeit der Programmierung in C/C++ oder .NET. Somit wird ein Zugang zu allen Funktionen ermöglicht. Diese können so konfiguriert eingebunden werden. Grafische Benutzeroberflächen für den Betrieb können ebenfalls mit der Entwicklungsumgebung QuickBuild erstellt werden [6] [33].

Schnittstellen

Durch die Einbindung eigener Programmteile und Algorithmen, können Daten und Bilder über jede am PC zur Verfügung stehende Schnittstelle gesendet werden. Diese Funktionen müssen zusätzlich programmiert werden. So ist es möglich, die Daten zum Beispiel über [TCP/IP](#) auszugeben [33].

Service

Es steht eine 30-Tage-Testsoftware zur Verfügung.

Die Software beinhaltet eine umfangreiche Dokumentation. Des Weiteren ist Dokumentation auf der offiziellen Website der Cognex Corporation erhältlich. Es sind Code Segmente und Musteranwendungen in der Software enthalten, die genutzt werden können [33].

Sonstiges

Durch seine umfangreichen Programmiermöglichkeiten ist VisionPro universell einsetzbar. Es bietet sowohl die Möglichkeit der schnellen Zusammenstellung von Funktionen über die grafische Oberfläche als auch die Programmierung und Einbindung von Funktionen in Programmierumgebungen wie C/C++.

Anschaffungspreis

Die Lizenzen für die Nutzung von VisionPro sind modular aufgebaut. Zur Erstellung von Programmabläufen ist eine Entwicklerlizenz erforderlich. Die Kosten für eine befristete Lizenz belaufen sich auf 995 Dollar pro Jahr. Des Weiteren ist für die Ausführung des erstellten Anwenderprogramms eine Laufzeitlizenz nötig. Die Kosten hierfür sind von den verwendeten Funktionen abhängig und belaufen sich auf 1600 bis 4500 Dollar [14].

Scorpion

Die Scorpion Vision Software wird durch die Firma Tordivel AS entwickelt und vertrieben. Vertriebspartner in Deutschland ist die Polytec GmbH, Heilbronn. Bei Scorpion handelt es sich um ein PC-basiertes Bildverarbeitungssystem. Die Versorgung mit Bilddaten wird über eine zusätzliche Kamera realisiert. Das System bietet eine eigene Programmieroberfläche, in der die einzelnen Bearbeitungsschritte per Ablaufskript festgelegt werden [27].

Kompatibilität

Die Software unterstützt die Betriebssysteme Windows XP/Embedded XP, Windows Vista und Windows 7 von Microsoft.

Scorpion unterstützt eine Vielzahl von verschiedenen Kameramodellen verschiedener Hersteller. Die Treiber für diese Kameras sind bereits im Softwareumfang enthalten [27] [33].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Scorpion bietet mehr als 150 Funktionen und Werkzeuge für die Bildverarbeitung, die in Gruppen zusammengefasst sind. Gruppen sind beispielsweise Basic, Geometry oder 3D, mit denen die gewünschte Funktionalität realisiert werden kann [27].

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Die Anzeige von Bildern und Messergebnissen ist über die integrierte Entwicklungsumgebung möglich. Die Anzeigefenster sind dabei an die Bedürfnisse des Bedieners anpassbar [27].

Programmierung

Das Hinzufügen und Editieren von Prüfabläufen geschieht über die integrierte Skriptsprache Python. Zum Hinzufügen und Ändern von Funktionen im Anwenderprogramm stehen in der Entwicklungsumgebung von Scorpion Assistenzfunktionen bereit, sodass eine Kenntnis der Programmiersprache Python zum Bearbeiten von Standardanwendungen nicht zwingend notwendig sind. Um jedoch das volle Potential von Scorpion ausnutzen zu können, müssen Kenntnisse in Python beim Bediener vorhanden sein. Mit der Entwicklungsumgebung ist es möglich, Benutzeroberflächen für den Betrieb zu erstellen [27] [33].

Schnittstellen

Scorpion unterstützt verschiedene Schnittstellenstandards wie [TCP/IP](#) oder Profibus, die über Python eingebunden werden [27].

Service

Es wird eine kostenlose 30-Tage-Demoversion von Scorpion angeboten.

Das Softwarepaket beinhaltet eine umfangreiche Dokumentation, in der beispielsweise alle Funktionen und Werkzeuge beschrieben werden. Außerdem steht auf der Homepage des Herstellers ein umfangreiches Angebot an Handbüchern und Dokumentation, sowie viele beispielhafte Anwendungen zur Verfügung, die heruntergeladen werden können [28].

Sonstiges

Mit der Programmierung in Python sticht das Bildverarbeitungssystem Scorpion aus den in dieser Arbeit beschriebenen Systemen heraus. Um den vollen Funktionsumfang von Scorpion nutzen zu können ist es nötig, sich mit der Programmiersprache Python vertraut zu machen. Bei der MAPA GmbH ist bereits ein Bildverarbeitungssystem im Einsatz, welches die Scorpion Software nutzt. Es verfügen jedoch nur wenige Mitarbeiter des technischen Personals über die Qualifikationen, das System in vollem Umfang einzusetzen.

Anschaffungspreis

Aufgrund der Erfahrung mit dem bestehenden System kann mit einem Anschaffungspreis von 7000 Euro pro Lizenz gerechnet werden.

Neurocheck

NeuroCheck 6.0 wird durch die Firma NeuroCheck GmbH entwickelt und vertrieben. Es handelt sich dabei um ein PC basiertes Bildverarbeitungssystem. Die Versorgung mit Bilddaten wird über eine zusätzliche Kamera realisiert. Das System bietet eine eigene Programmieroberfläche, in der die einzelnen Bearbeitungsschritte festgelegt werden [18].

Kompatibilität

Die Software unterstützt die Betriebssysteme Windows XP, Windows Vista und Windows 7 von Microsoft.

NeuroCheck 6.0 unterstützt standardmäßig die Kameramodelle von NeuroCheck. Die Treiber für diese Kameras sind bereits im Softwareumfang enthalten. Kameras anderer Hersteller können ebenfalls genutzt werden, wenn diese die nötigen Treiber mitliefern [18].

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Die Software bietet verschiedene Werkzeugfamilien mit einem umfangreichen Angebot an Werkzeugen und Funktionen, um die gestellte Aufgabe umzusetzen. Hierzu zählen Funktionen vom Bildeinzug über die Verarbeitung und Vermessung bis hin zur digitalen oder seriellen Ausgabe von Daten.

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Die Anzeige von Bildern und Messergebnissen ist über die integrierte Entwicklungsumgebung möglich. Die Anzeigefenster sind dabei an die Bedürfnisse des Bedieners anpassbar [18].

Programmierung

Zur Nutzung von NeuroCheck 6.0 sind keine Programmierkenntnisse erforderlich. Die Zusammenstellung von Prüfroutrinen wird über die integrierte Programmieroberfläche realisiert. Ebenso ist hier das Ändern bestehender Prüfungsanwendungen und die Anzeige von Bildern und Ergebnissen möglich [18].

Schnittstellen

Die Datenausgabe ist über verschiedene Kanäle möglich. Hierzu zählen Digital-I/O, Feldbussysteme wie Profibus DP und [TCP/IP](#) [18].

Service

Es wird eine kostenlose Demoversion von NeuroCheck 6.0 angeboten.

Das Softwarepaket beinhaltet eine interaktive Dokumentation, in der beispielsweise alle Funktionen und Werkzeuge beschrieben werden. Außerdem stehen auf der Homepage des Herstellers Angebote an Handbüchern und Dokumentation, sowie viele beispielhafte Anwendungen zur Verfügung, die heruntergeladen werden können [18].

Sonstiges

NeuroCheck bietet eine umfangreiche Bildverarbeitungssoftware, die ohne Programmierkenntnisse in vollem Funktionsumfang genutzt werden kann.

Anschaffungspreis

Aufgrund des Gespräches mit dem Vertrieb der NeuroCheck GmbH wird von einem Preis von 4000 Euro pro Lizenz ausgegangen.

MO/P/S

Die Bildverarbeitungssoftware MO/P/S wird von der Firma bwm-Bremer Werk für Montagesysteme GmbH entwickelt und vertrieben. Es handelt sich dabei um ein vollständig modular aufgebautes Bildverarbeitungssystem, dessen Funktionsumfang vollständig variabel ist. Je nach Kundenwunsch werden nur die benötigten Funktionen integriert. Das System arbeitet PC basiert und nutzt externe Kamerasysteme als Bildquelle. Als Konstrukteur von Komplettlösungen in der Montagetechnik wird die Bildverarbeitungssoftware in den schlüsselfertigen Anlagen und Steuerungen von bwm eingesetzt. Für jeden Kundenwunsch wird die MO/P/S Software angepasst und die benötigten Funktionen und Werkzeuge hinzugefügt. Auf Grund dessen steht auch keine klassische Information in Form von Datenblättern und Broschüren zur Verfügung. Die folgenden Informationen beruhen auf Informationsgesprächen mit Außendienstmitarbeitern der bwm GmbH [4].

Kompatibilität

Die Bildverarbeitungssoftware kann auf verschiedenen Windows Betriebssystemen von Microsoft installiert werden. Hierzu zählen Windows XP und Windows 7.

Als Bildquelle werden Kameras des Herstellers The Imaging Source Europe GmbH verwendet [26]. Für die Kameratypen dieses Herstellers sind die Treiber bereits im Softwarepaket enthalten. Soll eine andere Kamera eingesetzt werden, so ist dies möglich, wenn der Kamerahersteller den passenden Treiber mitliefert.

Merkmale der Software/ Bibliotheksumfang

Aufgrund der Erfahrungen mit ähnlichen Projekten kann auf eine umfangreiche Bibliothek an Funktionen und Werkzeugen zurückgegriffen werden, die die Realisierung der Aufgaben ermöglichen.

Anzeigemöglichkeit von Bildern und Ergebnissen

Die MO/P/S Software besitzt eine kombinierte Entwicklungs- Bedienoberfläche. In dieser grafischen Oberfläche können die aktuellen Bilder und Messergebnisse angezeigt werden.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit zu entscheiden, welche Bilder und Ergebnisse dauerhaft auf der Festplatte des PC gespeichert werden sollen. So kann beispielsweise jedes Bild oder nur die Bilder bei fehlerhafter Messung automatisch gespeichert werden.

Programmierung

Das Bildverarbeitungssystem setzt im Hintergrund die Funktionen und Werkzeuge von HALCON ein. Auf diese kann jedoch nicht direkt zugegriffen werden. Die Programmierung und Parametrierung von Anwendungen wird über die grafische Entwicklungsoberfläche von MO/P/S durchgeführt. Programmierkenntnisse sind hierfür nicht erforderlich.

Schnittstellen

Daten können an verschiedene Schnittstellen übergeben werden. Standardmäßig ist eine Ausgabe in **TCP/IP** vorgesehen. Es können auf Kundenwunsch jedoch auch andere Schnittstellen realisiert und hinzugefügt werden.

Service

Es wird eine Dokumentation der tatsächlich im Programm enthaltenen Funktionen mitgeliefert. Die Installation und Ersteinrichtung wird durch einen Mitarbeiter der bwm GmbH begleitet. Eine weitere Unterstützung bei Problemen ist telefonisch, per Internet und Fernzugriff auf das System oder persönlich durch Techniker der bwm GmbH möglich.

Sonstiges

Die Besonderheit dieses Systems liegt darin, dass in der Software nur die tatsächlich benötigten Werkzeuge und Funktionen enthalten sind.

Anschaffungspreis

Für den Betrieb ist eine HALCON Laufzeitlizenz sowie eine Lizenz für das aufgesetzte MO/P/S Programm nötig. Die Kosten für das System sind vom Funktionsumfang abhängig. Es kann für die vorliegende Aufgabe mit einem Richtwert von 3000 Euro pro Lizenz gerechnet werden.

4.1.2. Vergleich der Bildverarbeitungssysteme

Aufgrund des Vergleiches der verschiedenen Bildverarbeitungssysteme und der definierten Anforderungen in Kapitel 3.2 wird die Entscheidung zur Verwendung eines Systems getroffen. Aufgrund der vorliegenden Informationen sind alle vorgestellten Bildverarbeitungssysteme in der Lage, die gestellte Aufgabe zu bewältigen. Durch das Einholen von Angeboten wird sichergestellt, dass aus den Informationen die richtigen Schlüsse gezogen wurden. Außerdem ist damit eine belastbare Aussage zu den Kosten zu treffen. Es wird sich zunächst darauf beschränkt Angebote für folgende Bildverarbeitungen einzuholen: Cognex In-Sight,

Cognex VisionPro, NeuroCheck NeuroCheck 6.0 und bwm MO/P/S. Den Herstellern beziehungsweise den Vertriebspartnern werden die Anforderungen an die Bildverarbeitung übergeben um auf Basis dessen ein Angebot zu erstellen.

Auf eine genauere Betrachtung von OpenCV wird verzichtet, da es für dieses offene System keine Unterstützung von Systemintegratoren gibt und alle Benutzeroberflächen selbst erstellt werden müssten. Dies ist in der geforderten Zeit nicht umsetzbar.

Ebenso verhält es sich im Fall von Scorpion Vision. Durch die nötige Programmierung der Anwendung und der Bedienoberflächen ist eine Umsetzung in der geforderten Zeit nicht möglich. Des Weiteren ist eine Einzelplatzlizenz für Scorpion Vision relativ teuer.

Auf eine Angebotserstellung für das HALCON- System wird zunächst verzichtet, da dieses bei selbstständiger Umsetzung die höchsten Kosten für die Programmlicenzen verursacht. Den erstellten Angeboten sind die folgenden Daten zu entnehmen:

NeuroCheck

Das Bildverarbeitungssystem NeuroCheck 6.0 ist mit der zugehörigen Hardware in der Lage, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Es wird eine Premium-Lizenz angeboten, mit der alle Freiheiten im Bezug auf Erweiterungstools oder Ähnliches bestehen. Die Software beinhaltet standardmäßig Methoden zur Bestimmung von Objekten. Alternativ kann ein Erweiterungstool eingebunden werden, welches direkter für Positionieraufgaben verwendet werden kann.

Die Software implementiert die Verwendung verschiedener Kommunikations-Standards über Digital-I/O, Profibus DP, [TCP/IP](#) oder RS232. Hierüber können die Positionsdaten an die Steuerung übergeben werden.

Das Angebot umfasst eine [GigE](#)-Kamera mit [POE](#), welche über eine Adapterkarte im zu stellenden PC mit Spannung und Daten versorgt wird. Die enthaltene Optik ist auf ein Bildfeld von 455 mm x 455 mm bei einem Abstand von 1450 mm ausgelegt. Die Bildpunktauflösung dieses Kamerasystems beträgt ca. 0,22 mm/Pixel.

Ein Einrichten neuer Prüftypen und das Ändern bestehender Prüfungen ist durch eingewiesenes Personal möglich.

Der Preis für dieses System beträgt 11200 Euro inklusive der Unterstützung durch einen Techniker bei der Entwicklung der Prüfanwendung für die beschriebene Aufgabe im Umfang von maximal acht Stunden.

Die Lieferzeit beträgt 8-10 Wochen.

In-Sight

Das Cognex In-Sight-System wird mit einer entsprechenden Smart-Kamera angeboten. Mit der angebotenen Kamera inklusive Bildverarbeitungssoftware ist die Umsetzung des geforderten Funktionsumfangs möglich.

Die Aufnahme­fläche der Kamera beträgt 408 mm x 306 mm bei einem Abstand von 1450 mm der Kamera zur Aufnahme­fläche. Die physikalische Kameraauflösung beträgt dabei 0,255 mm/Pixel.

Für das Programmieren und Eintrainieren von Mustern wird ein handelsüblicher PC oder ein Notebook benötigt, das sich nicht im Lieferumfang befindet. Programmierkenntnisse sind nicht notwendig.

Die Ausgabe von Daten erfolgt über [TCP/IP](#) oder Profinet.

Die Kosten für das beschriebene System belaufen sich auf 8700 Euro pro Kamera. Als Option kann die Bildverarbeitungsanwendung durch einen Systemintegrator erstellt werden. Die zusätzlichen Kosten belaufen sich auf 4370 Euro inklusive der Unterstützung durch einen Techniker bei der Inbetriebnahme.

VisionPro

Cognex VisionPro wird als Software ohne Kamera angeboten. Eine geeignetes Kamerasystem kann zusätzlich angeboten oder extern beschafft werden. Ein PC ist zu stellen und nicht im Angebot enthalten.

Die Software erfüllt die Anforderungen an das System. Es stehen die Versionen VPRO-PLUS und VPRO-MAX zur Auswahl, wobei VPRO-MAX eine zusätzliche Option für das schnelle und genaue Auffinden von Merkmalen beinhaltet. Dieses Projekt kann aber auch mit der Version VPRO-PLUS umgesetzt werden.

Für eine Lizenz der Version VPRO-PLUS werden Kosten in Höhe von 1930 Euro, für die Version VPRO-MAX 2900 Euro angegeben. Als Option wird die Erstellung der Bildverarbeitungsanwendung angeboten. Die zusätzlichen Kosten hierfür belaufen sich auf 4520 Euro inklusive Unterstützung bei der Inbetriebnahme.

MO/P/S

Das Bildverarbeitungssystem MO/P/S ist mit der entsprechenden Hardware in der Lage, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Das System beinhaltet nur die zur Bearbeitung der konkreten Aufgabe benötigten Funktionen und Werkzeuge. Das Einlernen neuer Werkstücke ist durch das Hinterlegen einer Referenz durch den Bediener ohne Kenntnisse von Programmiersprachen möglich.

Das Angebot beinhaltet zwei [GigE](#)-Kameras mit [POE](#) sowie die entsprechenden Objektive und Halterungen. Der Kamerabereich beträgt 400 mm x 300 mm bei einem Abstand von 1450 mm von der Kamera zur Bildfläche. Damit ist eine Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm in X- und Y-Richtung sowie eine Genauigkeit von $\pm 3,5^\circ$ zu realisieren. Ein Ethernetswitch zum Anschluss der Kameras an ein zu stellendes PC-System und der Spannungsversorgung über [POE](#) sowie eine Netzwerkkarte ist ebenfalls im Lieferumfang enthalten.

Die Datenausgabe an das Steuerungssystem erfolgt über [TCP/IP](#).

Die Kosten für das System belaufen sich auf 8550 Euro inklusive der Erstellung der Anwendung, der benötigten Lizenz für HALCON und einer Inbetriebnahmeunterstützung im Umfang von 10 Stunden. Da sich das Angebot bereits auf 2 Kameras bezieht, ist es möglich, mit dieser Lösung auch schon die zweite Seite des Protalprototyps in Betrieb zu nehmen. Die Software und Lizenz ist so gestaltet, dass noch mehr Kameras bei Bedarf an das PC-System angeschlossen werden. Bei entsprechender PC-Hardware ist es somit möglich, mehrere Handhabungssysteme mit einem PC und dieser Software zu betreiben.

Die Lieferzeit beträgt ca. 3 Wochen.

Entscheidungsgrundlage

Jedes dieser vier Systeme ist in der Lage, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. In der Ausstattung und im Lieferumfang bestehen aber Unterschiede. Zur Verwendung von VisionPro wird noch die gesamte Hardware benötigt, die sich nicht im Lieferumfang befindet. Die Angebote für In-Sight und NeuroCheck beinhalten je eine Kamera und die nötige Hardware zur Einbindung der Bildverarbeitung. Bei MO/P/S sind bereits zwei Kameras und die nötige Hardware zum Anschluss von maximal 4 Kameras an ein PC-System enthalten und bietet damit die besten Erweiterungsmöglichkeiten, wenn die Anwendungen sich nicht grundlegend voneinander unterscheiden. Ein Nachteil von MO/P/S besteht in seinem modularen Aufbau. Sollen weitere Funktionen oder Werkzeuge zum Einsatz kommen, die nicht im Lieferumfang enthalten sind, so müssen diese durch die bwm GmbH integriert werden.

Ein großer Unterschied zwischen den Systemen besteht im Bezug auf die Erstellung des Anwenderprogramms. Bei MO/P/S ist dies im Lieferumfang inbegriffen, bei In-Sight und VisionPro kann die Erstellung als Option hinzugebucht werden oder selbst übernommen werden. Für NeuroCheck 6.0 wird das Anwenderprogramm unter der Zuhilfenahme der Unterstützung durch einen Techniker von NeuroCheck selbst erstellt.

Um die Systeme im Hinblick auf ihre Kosten zu vergleichen, werden für alle Systeme eine Lieferung mit Hardware und der Erstellung eines Anwenderprogramms für eine Kamera angenommen. Die Kosten belaufen sich dann auf:

1. 11200 Euro für NeuroCheck 6.0
2. 13070 Euro für Cognex In-Sight mit Smart- Kamera
3. 8220 Euro für Cognex VisionPro mit angenommenen Hardwarekosten von 800 Euro für beispielsweise Kamera und Anbindung

4. 7750 Euro für bwm MO/P/S mit angenommenen Hardwarekosten von 800 Euro für beispielsweise Kamera und Anbindung

4.1.3. Entscheidung für ein Bildverarbeitungssystem

Aufgrund des Vergleiches in Kapitel 4.1.2 und der Abwägung der Vor- und Nachteile der Systeme wird eine Entscheidung für die Anschaffung einer Bildverarbeitung getroffen. Der relativ günstige Bezugspreis spricht für die Systeme VisionPro von Cognex und MO/P/S von bwm. Dabei hat VisionPro im Vergleich zu MO/P/S den Vorteil flexibler in der möglichen Anwendung zu sein. Es ist der vollständige Funktionsumfang vorhanden und kann bei Bedarf eingebunden und genutzt werden. MO/P/S hat den Vorteil der einfachen Bedienung durch die Integration von ausschließlich benötigten Funktionen und Werkzeugen. Eine räumliche Nähe der Systemintegratoren zur MAPA GmbH ist für beide Systeme gegeben. Die bwm GmbH hat ihren Sitz in 28865 Lilienthal [4], ein Systemintegrator von Cognex, die AOT System GmbH, befindet sich in 28755 Bremen [2]. Eine schnelle persönliche Unterstützung ist somit gegeben. MO/P/S hat einen Kostenvorteil von ca. 500 Euro gegenüber der Verwendung von VisionPro. Ein Nachteil von MO/P/S besteht in der Abhängigkeit vom Systemintegrator, wenn weitere Funktionen hinzugefügt werden sollen. Es handelt sich hierbei nicht um eine umfangreiche Programmbibliothek wie bei VisionPro. Andere Programmierer und Systemintegratoren können nicht auf die Software von bwm aufsetzen. Die Abhängigkeit von einem Lieferanten ist bei Cognex nicht gegeben.

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile wird sich für die Anschaffung des MO/P/S Bildverarbeitungssystems der bwm GmbH entschieden. Der entscheidende Vorteil dieses Systems liegt neben seinem günstigen Anschaffungspreis in der Bedienfreundlichkeit des einfachen Aufbaus.

4.2. Konzeption der Antriebsansteuerung der X-, Y-, und Z-Achse

Eine Bewegung der X-, Y- und Z-Achsen wird über den Einsatz einer Kombination von Schrittmotoren mit zugehörigen Motorcontrollern erzielt. Diese Motorcontroller werden über die Steuerung des Systems angesprochen und mit Daten versorgt. Für die X-, Y- und Z-Achse werden Controller des selben Typs eingesetzt. Es werden Controller vom Typ ARD-CD der Firma Oriental Motor Europe GmbH eingesetzt. Ein Ausführliches Handbuch dieser Controller-Schrittmotor Kombination befindet sich im Anhang.

4.2.1. Busanbindung der Motorcontroller

Die Motorcontroller verfügen über RJ48 [37] Steckverbindungen, über die eine Buskommunikation eingerichtet werden kann. Diese Verbindung nutzt den RS485 Übertragungsstandard. RS485 ist eine erdsymmetrische Schnittstelle, die für Mehrpunktverbindungen geeignet ist. Die Leitungen müssen an ihren Enden mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen werden. Der Motorcontroller besitzt hierfür bereits einen integrierten, zuschaltbaren Widerstand. Die maximale Leitungslänge wird in der ISO 8482 mit 500 m angegeben [22]. Unter Benutzung dieses Übertragungsstandards können mit dem Controller verschiedene Buskommunikationen eingerichtet werden. Als Protokolle werden MODBUS-RTU, CC-Link und MECHATROLINK unterstützt.

MODBUS-RTU ist ein Kommunikationsprotokoll, das 1979 von Gould-Modicon für die Kommunikation mit speicherprogrammierbaren Steuerungen entwickelt wurde. Es handelt sich hierbei um ein Master/Slave-System, das auf den Schnittstellen RS232 oder RS485 arbeitet. Es verkehrt ein Master mit bis zu 255 Slaves. Bei MODBUS-RTU werden die Daten direkt in binärer Form übertragen. Dies macht das System bei der Verwendung mit einer SPS interessant, da keine Umwandlung in beispielsweise ASCII-Zeichen nötig ist. Der Standardaufbau einer Nachricht besteht aus der Adresse (8 Bit), der Funktion (z.B. Lesen/Schreiben 8 Bit), den Daten (n·8 Bit) und dem Fehlererkennungscode (16 Bit). Jedes Telegramm wird von dem nächsten durch eine Sendepause, die mindestens 3,5 Zeichen lang sein muss, getrennt [22][35].

CC-Link ermöglicht die Kommunikation zum Datenaustausch zwischen Automatisierungssystemen verschiedener Hersteller. Entwickelt 1997 als firmeneigenes Feldbus-Netzwerk von Mitsubishi Electric steht es seit 2000 als offenes Netzwerk auf dem Markt zur Verfügung. CC-Link basiert auf der RS485 Schnittstelle und unterstützt eine maximale Leitungslänge von 1,2 km. Die Übertragungsrate beträgt 10 Mbit/sec und es können in einem Netzwerk maximal 64 Stationen betrieben werden. Es handelt sich hierbei um ein Master/Slave-System, wobei im Gegensatz zu MODBUS-RTU der Master von verschiedenen Stationen eingenommen werden kann. Man spricht hierbei von einem floating Master [34]. Zur Realisierung einer CC-Link Busverbindung mit den eingesetzten Controllern wird ein Zusatzmodul benötigt, das an den Controller angeschlossen wird. Dieses Hardwaremodul stellt eine externe Baugruppe dar und muss separat beschafft werden.

Das Bussystem MECHATROLINK wurde speziell für Antriebsanwendungen entwickelt und unterstützt eine maximale Leitungslänge von 100 m bei Einsatz von Repeatern. Es handelt sich um ein Master/Slave-System mit einer Übertragungsrate von 10 Mbit/sec und einer maximalen Anzahl von 30 Slavestationen an eine Masterstation in einem Netzwerk [15]. Für die Realisierung einer MECHATROLINK Verbindung wird wie bei CC-Link ebenfalls ein Zusatzmodul für den Motorcontroller benötigt.

Alle drei Bussysteme sind in der Lage, eine Busverbindung zwischen den Controllern und der übergeordneten Steuerung zu realisieren. Die Motorcontroller stellen dabei die Slavestationen für die Steuerung, die als Master agiert, dar. Da noch nicht entschieden wurde,

welches Steuerungssystem zum Einsatz kommt, wird sich für eine Busansteuerung über MODBUS-RTU entschieden, um die Daten wie zum Beispiel zu fahrende Schrittzahl und Richtung von der Steuerung in die Motorcontroller zu übertragen. Für den Einsatz von MODBUS-RTU ist keine zusätzliche Hardware für die Motorcontroller nötig und die Daten liegen direkt in einer binären Form vor, sodass sie in der SPS verarbeitet und in der Umkehrrichtung einfach ausgegeben werden können.

4.2.2. Anbindung der Motorcontroller über Digital I/O

Die Motorcontroller verfügen über acht digitale Eingänge und sechs digitale Ausgänge, die mit verschiedenen Funktionen belegt werden können. Die Eingänge können beispielsweise mit Start- oder Stoppbefehlen belegt werden. An den Ausgängen können Signale wie zum Beispiel Alarm- oder Fertigmeldungen abgefragt werden. Es ist auch möglich durch Eingangsbeschaltungen eine im Controller hinterlegte Abfolge von Fahraufträgen zu starten. Es können bis zu 63 Verfahrätze gespeichert werden, die nacheinander oder einzeln abgefahren werden können. Eine vollständige Liste der Belegungsmöglichkeiten ist im Handbuch der Motorcontroller im Anhang zu finden.

Um den Verdrahtungsaufwand gering zu halten werden möglichst viele Signale per Bussystem übertragen. Als Eingangssignal wird einzig ein Stopp-Signal verwendet, das den Antrieb unverzüglich still setzt. Die digitalen Ausgänge des Controllers werden nicht verwendet.

4.2.3. Wegbegrenzung und Referenzposition

Für die absolute Wegbegrenzung und das Auffinden einer Referenzposition unterstützt der eingesetzte Motorcontroller verschiedene Betriebsarten.

Der erste Modus ist der Push-Modus. Dabei fährt der Motor die Achse langsam in einer vorzugebenden Richtung an, bis ein Widerstand der Achse registriert wird. Der Motor fährt mit geringer Geschwindigkeit so lange, bis er den beweglichen Teil der Achse gegen den feststehenden Teil drückt. Auf diese Endposition der Achse kann ein Offset programmiert werden, den die Achse anfährt und als Referenzpunkt mit der absoluten Schrittzahl Null gespeichert wird. Der Vorteil dieser Lösung liegt darin, dass keine externen Sensoren benötigt werden um eine Referenzposition anzufahren. Da in diesem Fall jedoch auch keine Sensoren für die absolute Begrenzung der Fahrstrecke vorhanden sind, kann es bei der Eingabe eines Verfahrsatzes mit zu hoher Schrittzahl zu Schäden am Portalaufbau kommen. Daher wird von dieser Lösung abgesehen.

Der zweite Modus ist der 2-Sensor-Modus. Es werden 2 externe Sensoren verwendet, deren Schaltausgang über spezielle Eingänge direkt in den Controller geführt werden. Die Sensoren begrenzen den maximal zu verfahrenen Weg. Wird im normalen Betrieb einer der Sensoren durch den beweglichen Teil der Achse erreicht, stoppt der Motor unverzüglich

und gibt eine Alarmmeldung aus, die quittiert werden muss, bevor ein neuer Fahrauftrag erteilt werden kann. Wird eine Referenzfahrt ausgeführt, wird die Bewegungsrichtung vorgegeben und die Achse setzt sich mit sehr langsamer Fahrt in Bewegung. Wird ein Sensor erreicht, stoppt der Motor. Auf diese Endposition kann ein Offset programmiert werden, den die Achse in entgegengesetzter Richtung anfährt und als Referenzpunkt mit der absoluten Schrittzahl Null gespeichert wird. Vorteil dieser Methode ist, dass nur zwei Sensoren benötigt werden um sowohl eine Wegbegrenzung der Achse als auch eine Referenzfahrt zu ermöglichen. Nachteilig ist, dass die Referenzfahrt nur mit sehr niedriger Geschwindigkeit ausgeführt werden kann, um schrittgenau und reproduzierbar den Anfang eines der Sensoren zu erfassen um den Referenzpunkt immer an exakt die gleiche Stelle zu legen.

Im dritten Modus, dem 3-Sensor-Modus, wird der Nachteil des 2-Sensor-Modus durch die Verwendung eines dritten Sensors umgangen. Zwei Sensoren sorgen hierbei wieder für die Begrenzung des Achsweges und stoppen den Motor im normalen Betrieb bei Erreichen eines dieser Sensoren unverzüglich. Wird die Referenzfahrt ausgeführt, setzt sich die Achse in eine vorgegebene Richtung in Bewegung. Wird nun zu erst einer der Begrenzungssensoren erreicht, ändert der Motor die Drehrichtung und die Achse verfährt in entgegengesetzter Richtung. Wird nach einer Richtungsumkehr oder als erstes der dritte Sensor, der sich zwischen den Begrenzungssensoren befindet erreicht, so wird dieser Sensor zunächst vollständig überfahren und die benötigte Schrittzahl zum Überfahren des Sensors wird gespeichert. Wurde der Sensor vollständig überfahren, wird je nach Einstellung die aktuelle Position als Referenzposition festgelegt oder der Motor führt eine Fahrt in entgegengesetzter Richtung mit der Schrittzahl der Strecke von einem Sensorende zum anderen aus und setzt diesen Punkt als Referenz. Auf diese mechanische Referenzposition kann wiederum ein Offset programmiert werden, den die Achse anfährt und mit der absoluten Schrittzahl Null gespeichert wird. Nachteil des 3-Sensor-Modus ist die Verwendung eines zusätzlichen Sensors. Vorteil ist, dass die Referenzfahrt durch das Überfahren des Sensors, bei dem die Achse abgebremst wird, eine deutlich höhere Referenziergeschwindigkeit ermöglicht wird und ein reproduzierbares, schrittgenaues Anfahren des Referenzpunktes jederzeit möglich ist.

Aufgrund der Vorteile des 3-Sensor-Modus gegenüber dem 2-Sensor-Modus kommt dieser zum Einsatz. Es ist zwar ein zusätzlicher Sensor nötig, dafür ist die Referenziergeschwindigkeit deutlich erhöht. Für den Prototyp werden die Kosten für den zusätzlichen Sensor in Kauf genommen, da bei Versuchen mit häufigeren Referenzierungen zu rechnen ist. Für einen Einsatz im normalen Produktionsbetrieb bietet sich dann der 2-Sensor-Modus an. Aufgrund der intelligenten Steuerung im Motorcontroller wird aus jeder Ausgangslage bei Ausführung der Referenzfahrt immer der exakt gleiche Referenzpunkt angefahren und mit dem absoluten Schrittwert Null belegt.

4.3. Konzeption der Antriebsansteuerung für die Drehachse

Die Bewegung der Drehachse des Greifwerkzeugs wird durch eine Schrittmotor- Controller Kombination ermöglicht. Es wird ein Motorcontroller ASD10A-K der Fima Oriental Motor Europe GmbH verwendet. Das Handbuch der Motor- Controller Kombination befindet sich im Anhang.

Der Motorcontroller besitzt Impulseingänge, sowie digital Ein- und Ausgänge. Über die Impulseingänge werden die zu fahrenden Schritte und die Richtung der Bewegung vorgegeben. Die digitalen Ein- und Ausgänge können binäre Zustände einlesen oder ausgeben und sind für die sonstige Steuerung der Achse, wie zum Beispiel die Fehlerbehandlung, zuständig. Die Impulseingänge können auf zwei verschiedene Arten betrieben werden. Dem 2-Puls-Modus, indem je ein Impulseingang für jede Drehrichtung zur Verfügung steht oder im 1-Puls-Modus, in dem die Impulse für die Schrittzahl für beide Richtungen auf den selben Eingang gelangen und der zweite Impulseingang die Drehrichtung festlegt. Welcher Modus verwendet wird, richtet sich nach den Möglichkeiten die die Steuerung bietet. Diese muss in der Lage sein, die benötigten Impulse zu formen und an den Motorcontroller auszugeben. Die Impulse müssen eine Mindestbreite von $1 \mu s$ und einen Mindestabstand von $2 \mu s$ aufweisen um vom Controller erkannt zu werden. Der Eingangsspannungspegel der Impuls- und Digitaleingänge liegt bei $5 V$. Überschreiten die Ausgänge der Steuerung den Wert von $5 V$ ist ein begrenzender Widerstand vorzusehen. Die Größe des Widerstandes berechnet sich nach den Ausführungen im Handbuch des Conrollers zu

$$R_V = \frac{U_A - 1,5 V}{10 \text{ mA}} - 220 \Omega \quad (4.1)$$

R_V ist dabei die Größe des einzusetzenden Vorwiderstandes und U_A die Höhe der Ausgangsspannung der Digitalausgänge der Steuerung. Hat sie Steuerung beispielsweise $24 V$ Ausgänge muss ein Vorwiderstand von

$$R_V = \frac{24 V - 1,5 V}{10 \text{ mA}} - 220 \Omega \quad (4.2)$$

$$R_V = 2030 \Omega \quad (4.3)$$

in Reihe zum Eingang gelegt werden.

Zur Realisierung einer Referenzfahrt wird ein Sensor, der sich im Zubehör der Drehachse befindet, verwendet. Wird eine Referenzfahrt ausgelöst, wird festgelegt in welche Richtung der Motor drehen soll. Wird der Sensor erreicht, wird dieser vollständig überfahren, die Drehrichtung des Motors umgekehrt und Schrittgenuau der Mittelpunkt des Sensors angefahren. Dieser Punkt wird anschließend mit dem absoluten Schrittwert Null belegt.

4.4. Konzeption der Buskommunikation

Nachdem die eingesetzten Komponenten zur Bildverarbeitung und Antriebssteuerung festgelegt sind, wird die Konzeption der Buskommunikation erarbeitet. Der Controller der Drehachse wird direkt über Impulse und binäre Signale angesteuert und findet deshalb in der Buskommunikation keine Beachtung. Die Bildverarbeitung gibt die Positionsdaten von erkannten, zu verarbeitenden Werkstücken über das Ethernetprotokoll **TCP/IP** an die Steuerung weiter. Die Steuerung ihrerseits muss mit den Motorcontrollern für die X-, Y- und Z-Achse über die RS485 Physik mittels des MODBUS-RTU Protokolls kommunizieren. Die folgende Abbildung verdeutlicht das Kommunikationskonzept und benennt die Aufgabe innerhalb des Netzwerkes.

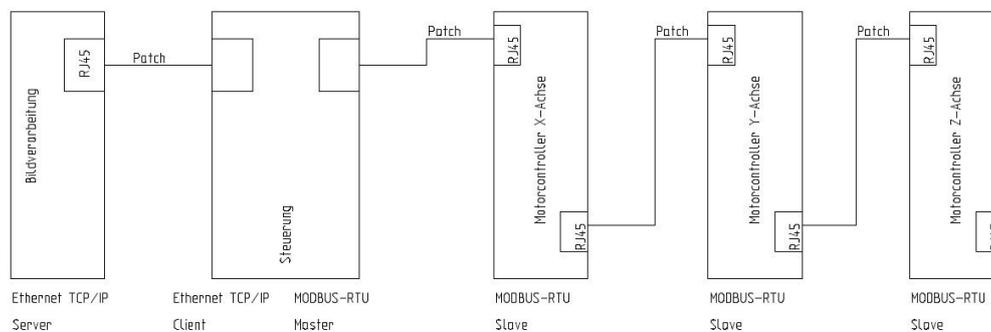


Abbildung 4.1.: Konzeption der Buskommunikation

Die Bildverarbeitung kommuniziert mit der Steuerung über das Ethernetprotokoll **TCP/IP**. Die Steuerung übernimmt dabei die Rolle des Client und stößt periodisch eine Send- und Empfangsaktion an. Die Bildverarbeitung übernimmt die Rolle des Servers, empfängt die Steuerbefehle und sendet die Daten der Bildauswertung zurück.

Die Steuerung agiert als Master der MODBUS-RTU Kommunikation. Durch die Adressierung der Slaves wird jedem Motorcontroller der entsprechende Datensatz zugesandt. Dieser enthält die Schrittzahl mit Richtungsangabe und einen Startbefehl. Im Gegenzug senden die Slaves Statusdaten, wie Alarm- oder Fertigmeldungen zurück.

4.5. Konzeption der Steuerungstechnik

Die Steuerung ist ein zentrales Element im Gesamtsystem. Sie realisiert das Zusammenspiel von Bildverarbeitung, Antriebstechnik, Handbedienelementen, Sensoren und Aktoren.

Hierfür kommt ein industrielles Automatisierungssystem zum Einsatz. Möglich ist ein System mit speicherprogrammierbarer Steuerung (SPS) oder eine PC-basierte Steuerung. Ein Vorteil des PC-basierten Steuerungssystems liegt darin, dass für die Bildverarbeitung bereits ein PC erforderlich ist, der die Steuerung mit übernehmen kann. Hierfür ist die Ausrüstung mit Ein- und Ausgangskarten für die Aktoren und Sensoren sowie die erforderlichen Feldbusschnittstellen für den MODBUS-RTU Betrieb nötig [32]. Es wird davon ausgegangen, dass der PC standardmäßig eine Ethernet-Schnittstelle mit dem TCP/IP Protokoll besitzt. Ein Nachteil des Systems ist, dass die Modularität ein Stück weit verloren geht. Die Bildverarbeitung, Steuerung und das Portal sind eng miteinander verknüpft und können auch in Zukunft praktisch nicht ohne grundlegende Umbaumaßnahmen einzeln verwendet werden. Diesen Vorteil bietet die Lösung mit einem eigenständigen SPS-System. Die Steuerung und das Handhabungssystem stellen ein eigenständiges Teilsystem dar und könne auch mit anderen Bildverarbeitungssystemen oder Ähnlichem betrieben werden. Dies könnte beispielsweise nötig werden, wenn sich im Praxisbetrieb der Anlage herausstellt, dass ein anderes als das hier projektierte Bildverarbeitungssystem zum Einsatz kommen soll. Ein Austausch des Systems ist bei einem eigenständigen SPS-System mit weniger Aufwand zu realisieren. Selbst eine Lösung mit Smart-Kamera, ohne PC-basierte Bildverarbeitung wäre so in Zukunft möglich. Ein weiterer Grund für die Verwendung eines SPS-Systems ist die vorhandene Ersatzteilversorgung. Der Einsatz von SPS-Systemen ist bei der MAPA GmbH stand der Technik und Ersatzteile oder Austauschbaugruppen liegen entweder auf Lager oder können zeitnah beschafft werden. Dies erhöht die Verfügbarkeit des Handhabungssystems im Produktionsbetrieb. Aufgrund der genannten Vorteile wird sich bei den folgenden Vergleichen von Automatisierungssystemen auf SPS-basierte Steuerungen beschränkt.

4.5.1. Vergleich von Steuerungssystemen

Es sind eine ganze Reihe von SPS-Systemen von verschiedenen Herstellern am Markt erhältlich. Eine Übersicht über verfügbare Automatisierungssysteme und deren Hersteller findet sich auf der Internetseite des SPS-Magazin aus dem TeDo-Verlag [25]. Bei der MAPA GmbH werden bisher Systeme von Siemens und VIPA eingesetzt. Hierfür sind die erforderlichen Programmierumgebungen, Programmlizenzen, Lieferantenbeziehungen, Ersatzteilhaltungen und Programmierkenntnisse des technischen Personals bereits vorhanden. Daher wird sich bei der Auswahl des Steuerungssystems auf diese beiden Hersteller und deren Systeme beschränkt.

Die Siemens AG bietet mit den SIMATIC-Baureihen verschiedene modulare Steuerungssysteme an. Die Module umfassen von der Stromversorgung über Prozessoreinheiten (CPU) und Ein-/Ausgabemodulen bis hin zu Kommunikationsmodulen viele Funktionseinheiten, mit denen die geforderten Funktionen realisiert werden können. Die Baureihen SIMATIC S7-1200 und SIMATIC S7-1500 sind dabei auf die Programmierumgebung SIMATIC STEP7 (TIA-Portal) angewiesen. Es sind bereits Ein- und Ausgänge und Kommunikationsmöglichkeiten in die CPU-Baugruppe integriert. Die Baureihen SIMATIC S7-300/400 kön-

nen sowohl mit dem TIA-Portal als auch mit der Programmierumgebung SIMATIC STEP7 V5.4/5.5 projiziert werden. Die Baureihe SIMATIC S7-200 stellt eine kompakte Baureihe dar, bei der in die CPU-Baugruppe bereits Ein-/Ausgabe und Kommunikationsmöglichkeiten integriert sind. Zur Programmierung dieses Systems wird die Software SIMATIC STEP7 Micro/Win benötigt. Es ist möglich bei entsprechender Zusammenstellung der Module und Komponenten eines dieser Systeme die benötigten Funktionen der Steuerung zu realisieren. In jeder Baureihe gibt es Ausführungen mit verschiedenen CPU-Leistungen und Speichergrößen [24].

Die VIPA GmbH bietet in vier Baureihen verschiedene kompakte und modulare Steuerungssysteme an, die durch Zusatzmodule um Ein/Ausgangsfunktionen oder Kommunikationsmöglichkeiten erweitert werden. Diese Steuerungen können alle entweder mit der eigenen Programmierumgebung WinPLC7 oder der STEP7 Software von Siemens programmiert werden. Das System 100V ist ein kompaktes Steuerungssystem, bei dem Ein- und Ausgänge sowie Kommunikationsmöglichkeiten bereits in der CPU-Baugruppe integriert sind. Ähnlich verhält es sich bei dem System SLIO. Auch SLIO stellt ein kompaktes Steuerungssystem dar. Die benötigten Ein- und Ausgänge sowie Kommunikationsmöglichkeiten werden über Zusatzmodule in das System integriert. Das System 200V ist im Bezug auf die CPU und Speicherausstattung leistungsfähiger als die Systeme 100V und SLIO. Bei dieser Steuerung sind typabhängig bereits Kommunikationsmöglichkeiten in die CPU-Baugruppe eingearbeitet. Ein- und Ausgänge oder andere Erweiterungen werden per Zusatzmodul hinzugefügt. Das System 300S bietet eine Vielzahl an Zentralbaugruppen, die neben dem Prozessor auch Eingänge, Ausgänge und Kommunikationsschnittstellen aufweisen können. Erweiterungen sind durch Zusatzmodule möglich. Eine Besonderheit des System 300S besteht darin, dass als Aufnahmesystem im Schaltschrank das Schienensystem für die Siemens SIMATIC S7-300 zum Einsatz kommt. Sowohl Hardware- als auch Programmtechnisch sind die Baureihen 300S von VIPA und SIMATIC S7-300 kompatibel. Es ist möglich, in einem Gesamtsystem verschiedene Module der Baureihen zu mischen. Sowohl durch die alleinige Verwendung von Modulen der VIPA Baureihen als auch durch die Vermischung mit SIMATIC-Modulen ist die Umsetzung der geforderten Funktionalität zu realisieren [30].

4.5.2. Entscheidung für ein Steuerungssystem

Aufgrund der Kompatibilität und der bereits vorhandenen Erfahrung mit den Systemen Siemens SIMATIC S7-300 und VIPA 300S wird das Automatisierungssystem aus Komponenten dieser beiden Hersteller und Baureihen erstellt. Die Programmierumgebungen und benötigten Softwarelizenzen sind bereits vorhanden, sodass nur die Hardware beschafft werden muss. Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Module zusammenzustellen, die benötigt werden um die geforderte Funktion umzusetzen. Die folgende Zusammenstellung wurde unter dem Gesichtspunkt erarbeitet, dass diese Baugruppen bei der MAPA GmbH schon im Einsatz sind und deshalb bei einem defekt auch als Ersatzbaugruppe zur Verfügung stehen. Dies erhöht die Einsatzsicherheit des Gesamtsystems. Die Datenblätter beziehungsweise

Handbücher aller verwendeten Module befinden sich im Anhang.

Als Zentralbaugruppe kommt eine VIPA CPU313-5BF13 zum Einsatz. Die Angabe der Prozessorgeschwindigkeit erfolgt bei einer **SPS** als Zeit, die mindestens benötigt wird um bestimmte Operationen auszuführen. Die CPU313 benötigt sowohl für die Verarbeitung einer Bitoperation als auch für die Ausführung von Word- und Duobleoperationen mindestens $0,02 \mu\text{s}$. Für die Ausführung einer Gleitpunktoperation werden mindestens $0,12 \mu\text{s}$ benötigt. Da die benötigte höchste Ausführungszeit, die die Steuerung zur Verfügung hat um die geforderte Taktzahl der Handhabungseinrichtung zu erreichen zu diesem Zeitpunkt nicht ermittelt werden kann, wird von einer ausreichenden Geschwindigkeit ausgegangen. Aus Erfahrung kann davon ausgegangen werden, dass bei einem System dieser Art eher die Geschwindigkeiten und Reaktionszeiten der Antriebe als begrenzender Faktor angesehen werden kann als die Bearbeitungszeit durch die Steuerung oder die Bildverarbeitung. Die CPU313 besitzt einen 128 kB großen Arbeitsspeicher. Dieser Speicher kann mittels steckbarer Speicherkarte auf maximal 512 kB vergrößert werden, da aufgrund der erwarteten Datenmenge, die durch die zwei Busverbindungen entsteht, von einer höheren temporär zu speichernden Datenmenge ausgegangen werden kann. Die Zentralbaugruppe besitzt bereits 24 digitale Eingänge und 16 digitale Ausgänge. Reichen diese nicht aus, wird die Anzahl je nach Bedarf durch Erweiterungsmodule erhöht. Als Kommunikationsschnittstellen stellt die CPU313 zwei RS485 Anschlüsse zur Verfügung. Eine davon wird als Verbindung zum Programmiergerät genutzt, die andere steht für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zur Verfügung. Als Protokoll wird an dieser MODBUS-RTU unterstützt. Die **SPS** agiert in dem Fall als Master und die Motorcontroller als Slaves. Somit kann mit dieser Zentralbaugruppe die MODBUS-Kommunikation ohne zusätzliches Modul erstellt werden.

Für die Kommunikation über Ethernet **TCP/IP** wird die Siemens Baugruppe CP343-1 hinzugefügt. Diese wird für die Anbindung der Steuerung an das Ethernet benötigt. Die CP343 verfügt hierfür über verschiedene Kommunikationsarten mit den zugehörigen Protokollen. Unter anderem wird über einen offenen Kommunikationsdienst auch das Protokoll **TCP/IP** unterstützt. Das Protokoll, das dies ermöglicht, heißt bei Siemens ISO-on-TCP. Im folgende wird der Begriff **TCP/IP** auch im Zusammenhang mit der Steuerung weiterhin gebraucht. Durch den Einsatz dieser Baugruppe kann die Verbindung zur Bildverarbeitung erstellt werden.

Zur Versorgung des Motorcontrollers für die Drehachse mit den benötigten Impulsfolgen wird die Positionierbaugruppe FM353 von Siemens eingesetzt. Die FM353 ist eine universal einsetzbare, Mikroprozessor gesteuerte Positionierbaugruppe für die Ansteuerung von Schrittmotoren sowohl für Rund- als auch für Linearachsen. Es können verschiedene Betriebsarten wie Tippbetrieb, Referenzfahrt oder Schrittmaßfahrt realisiert werden. Die Baugruppe beinhaltet je vier digitale Ein- und Ausgänge, an die Beispielsweise der Sensor für die Referenzposition, der in Kapitel 4.3 beschrieben wird, angeschlossen wird. Die Impulsausgänge der FM353 sind einstellbar. Es ist eine maximale Impulsfrequenz von 200 kHz möglich. Dies entspricht einer Periodendauer von $5 \mu\text{s}$. Bei einer angenommenen Impulsbreite von der halben Zykluszeit, entsprechend $2,5 \mu\text{s}$, werden die in Kapitel 4.3 benannten Anforderungen an die Impulsformung noch eingehalten.

4.6. Konzeption der Sicherheitstechnik

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Realisierung eines Prototypen des Handhabungssystems zu Testzwecken. Die Sicherheitstechnik wird nicht in dem Umfang erarbeitet, der für einen Betrieb in der täglichen Produktion nötig wäre. Es wird eine Not-Aus Funktion entwickelt, die bei Gefahr alle Bewegungsvorgänge des Handhabungssystems sofort abschaltet. Hierfür wird ein Not-Aus-Taster im Gehäuse des Schaltschranks für die Steuerung vorgesehen. Dieser Taster betätigt ein Not-Aus-Schaltgerät mit zwangsgeführten Kontakten die ein sofortiges Stillsetzen der Motoren und sonstigen Antriebe bewirken. Erst durch ein aktives quittieren des Not-Aus-Zustandes können wieder Bewegungen ausgeführt werden. Für den Betrieb im normalen Produktionsablauf wären weitere Sicherheitseinrichtungen, beispielsweise gegen das Eingreifen in sich bewegende Komponenten, nötig. Diese müssen gegebenenfalls noch hinzugefügt werden um einen Produktionsbetrieb zu ermöglichen. Dieser Prototyp ist ausdrücklich nur zu Testzwecken mit verminderter Sicherheitsanforderung geeignet.

5. Entwicklung

Gemäß der erarbeiteten Konzeption wird in diesem Kapitel das Gesamtsystem entwickelt. Die Entwicklung gliedert sich dabei in die großen Abschnitte des Entwurfes des Bildverarbeitungssystems, des Steuerungsablaufes und der Programmimplementierung sowie einiger kleinerer Abschnitte.

5.1. Entwicklung der Ansteuerung für Bunkerantrieb, Verteileinheit, Rüttleinheit und Beleuchtung

Bunkerantrieb

Der Bunker des mechanischen Aufbaus des Portals hat die Aufgabe Werkstücke vorzuhalten, die auf dem Objektträger ausgebracht werden. Zum Ausfordern der Werkstücke aus dem Bunker besitzt dieser ein integriertes Förderband (Siehe Kapitel 2.2). Es ist bereits ein Gleichstromantrieb integriert, der angesteuert werden muss. Eine Drehrichtungsänderung kann bei Bedarf durch die Änderung der Spannungsrichtung erzielt werden. Der Antrieb hat eine Leistung von 10 W bei einer Spannung von 24 V DC und einer Stromaufnahme von 0,4 A.

Verteileinheit

Die pneumatisch betätigte Verteileinheit überführt die Werkstücke vom Ausgang des Bunkers auf den Objektträger (Siehe Kapitel 2.2).

Die Einheit wird durch das Förderband des Bunkers befüllt. Um eine bedarfsgerechte Füllung zu ermöglichen und eine Überfüllung zu vermeiden, wird der Füllstand der Verteileinheit überwacht. Es wird eine Lichtschranke eingesetzt, die bei Unterbrechung ein Signal an die Steuerung liefert, dass die Verteileinheit beladen ist. Es wird eine Lichtschranke des Herstellers SensoPart vom Typ FR20RG1-PSM4 eingesetzt. Diese ist durch eine kleine Schalthysterese in der Lage, auch transparente Objekte zu erkennen und hat eine Reichweite von 0,005 m bis 0,5 m [23].

Die Verteileinheit kann mit Hilfe eines pneumatischen Führungszylinders (Festo DFM-20-400-B-P-A-KF [10]) bewegt werden. Die Ansteuerung erfolgt über ein Magnetventil. Wird das Ventil angesteuert, bewegt sich die Verteileinheit vom Bunker weg in Richtung des Objektträgers. Wird die Ansteuerung aufgehoben, bewegt sich die Verteileinheit in die Ausgangslage zurück und verharrt dort bis zur nächsten Ansteuerung des Magnetventils.

Um relevante Positionen der Verteileinheit abzufragen werden Näherungsschalter eingesetzt, die in das Profil des Führungszylinders integriert werden können und in der Position variabel sind. Es ist nötig, drei Positionen der Verteileinheit genau zu detektieren. Hierzu gehören die Endlage, wenn das Ventil nicht angesteuert ist, der maximal erlaubte Ausschub und eine Position, an der die Verteileinheit die Werkstücke auf den Objektträger austellen soll. Somit werden drei Näherungsschalter benötigt, die bei Betätigung ein Signal an die Steuerung abgeben. Ein passender Näherungsschalter findet sich im Zubehörprogramm zum Führungszylinder (Festo SMT-8M-A-PS-24V-E-0.3-M8 [10]).

Des Weiteren besitzt die Verteileinheit eine Auslassklappe, die ebenfalls pneumatisch angetrieben wird. Es wird ein Schwenkantrieb verwendet, dessen Endlagen mit Näherungsschaltern abgefragt werden. Die Signale der Schalter werden der Steuerung zugeführt. (Schwenkantrieb: Festo DSM-6-90-P-A, Näherungsschalter: Festo SMT-10M-PS-24V-E-0.3-L-M8D [10]).

Es werden Magnetventile des Herstellers Festo eingesetzt, die durch die Steuerung betätigt werden. Es werden Ventile vom Typ CPE14-M1BH-5L-1/8 verwendet [10]. Diese Ventile benötigen eine Spannung von 24 V und einen Strom von 0,0533 A zur Ansteuerung.

Rüttleinheit

Da die Werkstücke durch die Verteileinheit in zufälliger Lage auf dem Objektträger platziert sind, müssen diese verteilt und vereinzelt werden um der Bildverarbeitung zu ermöglichen einzelne, freie Teile zu finden und deren Lage zu ermitteln. Diese Vereinzlung wird durch eine Rüttelbewegung des Objektträgers realisiert. Hierfür ist der Objektträger einseitig auf Gummipolstern gelagert. Auf der gegenüberliegenden Seite ist der Objektträger an einem pneumatischen Rüttelantrieb befestigt. Dieser Rüttelantrieb (Netter Vibration NTS 180 NF [17]) wird über ein Magnetventil mit Druckluft versorgt. Ist das Ventil angesteuert, rüttelt der Objektträger.

Als Ventil wird wiederum ein Magnetventil Festo CPE14-M1BH-5L-1/8 mit der Steuerungspannung von 24 V und einem Strom von 0,0533 A verwendet [10].

Beleuchtung

Der Objektträger wird hinterleuchtet, um für passende Lichtverhältnisse für die Bildaufnahme zu sorgen. Hierfür wird ein bereits vorhandener Eigenbau der MAPA GmbH eingesetzt.

Die Beleuchtung ist als Flächenleuchtmittel ausgeführt. Einzelne Leuchtdioden sind auf eine Platte aufgebracht und mit einem Gehäuse ummantelt. Die Beleuchtung besitzt keine weitere Schaltmöglichkeiten. Die Versorgung wird durch die Steuerung realisiert. Die Beleuchtungsplatte benötigt einen Strom von 2,8 A bei einer Spannung von 24 V DC.

5.2. Entwicklung der Spannungsversorgung

Die Betrachtung der Spannungsversorgung teilt sich in die Bereiche der Versorgung mit 24 V Gleichspannung und 230 V Wechselspannung auf. Da die Wechselspannung unter anderem die Netzteile versorgen muss, die nötig sind um die Gleichspannung zu generieren, wird zunächst die Gleichspannung betrachtet.

Verschiedene Verbraucher müssen mit 24 VDC versorgt werden. Hierzu zählen beispielsweise die Motorcontroller, die sowohl mit Gleich- als auch mit Wechselspannung versorgt werden müssen, die eingesetzte Beleuchtungsplatte unter dem Objektträger oder die CPU der Steuerung mit angeschlossenen digitalen Ausgängen und Erweiterungsbaugruppen. Der benötigte Strom für das Automatisierungssystem hängt von der Anzahl der benötigten digitalen Ausgänge ab, die maximal gleichzeitig aktiv sind. Aus Erfahrung wird hier zunächst von einem benötigten Strom von 2,5 A ausgegangen. Die nachfolgende Tabelle listet die Gleichstromverbraucher mit ihren Verbrauchswerten auf.

Bezeichnung	Verbrauchswert in A
Beleuchtungsplatte	3
Austragsband Beschickungsbunker	0,4
Automatisierungssystem	2,5
Motorcontroller X-Achse	0,75
Motorcontroller Y-Achse	0,75
Motorcontroller Z-Achse	0,75
Motorcontroller Drehchse	1

Tabelle 5.1.: Strombedarf Gleichstromverbraucher

Um die Versorgung der Steuerung und der Leistungsteile zu trennen werden zwei 24 V Gleichstromkreise aufgebaut. Dies hat den Vorteil, dass ein Fehler in einem Leistungsverbraucher und ein damit verbundenes Auslösen einer Sicherung nicht zum Ausfall der Steuerung führt. Zur Versorgung des Automatisierungssystems wird ein Netzteil PS307/2.5A von VIPA eingesetzt, welches direkt mit auf der Montageschiene der übrigen Steuerungsmodule befestigt wird. Dieses Netzteil stellt einen maximalen Strom von 2,5 A zur Verfügung und versorgt nur das Automatisierungssystem mit den digitalen Ausgängen. Für die Versorgung

der übrigen Verbraucher kommt ein 10 A Schaltnetzteil zum Einsatz. Rechnerisch bleiben damit 3,35 A als Reserve um damit in Zukunft auch noch eine weitere Beleuchtungsplatte betreiben zu können, ohne ein weiteres Netzteil einbauen zu müssen.

Es wird nun der Strombedarf der 230 V Wechselspannung ermittelt. Mit dieser Spannung werden die beiden 24 V Netzteile und die Motorcontroller für die X-, Y- und Z-Achse versorgt. Die folgende Tabelle listet die Verbraucher mit den Verbrauchswerten auf.

Bezeichnung	Verbrauchswert in A
VIPA Netzteil Automatisierungssystem	0,29
Schaltnetzteil Leistungsverbraucher	1,2
Motorcontroller X-Achse	3
Motorcontroller Y-Achse	3
Motorcontroller Z-Achse	2,3

Tabelle 5.2.: Strombedarf Wechselstromverbraucher

Der Strombedarf der Wechselstromverbraucher summiert sich somit auf 9,79 A. Damit ist der Betrieb des Gesamtsystems an einer üblichen einphasigen 16 A Steckdose möglich. Um das Gesamtsystem möglichst flexibel und transportabel zu halten wird der Anschluss an das Versorgungsnetz steckbar ausgeführt.

5.3. Entwicklung des Bildverarbeitungssystems

In der Konzeption wurde entschieden das Bildverarbeitungssystem MO/P/S der Firma bwm Bremer Werk für Montagesysteme GmbH einzusetzen. Die Einbindung der benötigten Module der Software und die Erstellung der Bedieneroberfläche wird durch die bwm GmbH ausgeführt, sodass bei Lieferung ein funktionsfähiges Programm übergeben wird. Um dies zu ermöglichen, werden die in Kapitel 3.2 genannten Anforderungen an bwm übergeben. Auf dieser Grundlage wird ein bindendes Angebot erstellt. Diesem zufolge werden alle genannten Anforderungen erfüllt. Der Lieferumfang besteht dabei aus zwei Stück Kameras mit Objektiven und Halterungen, dem modularen Prüfsystem (Software MO/P/S), der benötigten HALCON-Laufzeitlizenz, einem Netzwerkswitch zum Anschluss der Kameras und deren Versorgung über POE, einer Netzwerkkarte für den Bildverarbeitungs-PC und der Unterstützung bei der Inbetriebnahme vor Ort durch einen Techniker der bwm GmbH im Umfang von zehn Stunden. Dieses Angebot umfasst damit die benötigten Komponenten um auch die zweite Seite des Portals in die Bildverarbeitung einzubinden, was nicht Gegenstand dieser Arbeit ist. Der PC, auf dem die Software ausgeführt wird, ist nicht Teil des Lieferumfanges und wird durch die MAPA GmbH gestellt. Die Lieferzeit des Systems wird

mit maximal drei Wochen angegeben und liegt damit im zeitlich Rahmen der Realisierung. Die weitere Abwicklung der Bestellung wird durch den technischen Einkauf der MAPA GmbH bearbeitet.

5.3.1. Schnittstellen zwischen Steuerung und Bildverarbeitung

Das Bildverarbeitungssystem MO/P/S bietet standardmäßig die Möglichkeit der Datenaus- und eingabe über das Ethernetprotokoll **TCP/IP**. Diese Schnittstelle wird genutzt, um die Prüf- und Positionsdaten von der Bildverarbeitung in das Steuerungssystem und in umgekehrter Richtung den Startbefehl für die Bildaufnahme und Verarbeitung von der Steuerung zur Bildverarbeitung zu übertragen. Das Steuerungssystem verfügt daher über eine Schnittstelle, die das **TCP/IP**-Protokoll auf Basis der Ethernet-Physik unterstützt.

5.3.2. Datenaustausch zwischen Steuerung und Bildverarbeitung

Es müssen Daten bidirektional zwischen der Bildverarbeitung und der Steuerung ausgetauscht werden. Dabei handelt es sich um Daten, die die Bildverarbeitung an das Steuerungssystem sendet und Steuerbefehlen, die die Steuerung umgekehrt an die Bildverarbeitung sendet. Die folgende Tabelle zeigt die benötigten Daten und Signale. Die erste Spalte beinhaltet den vergebenen Signalnamen, die zweite die Richtung des Datenflusses und die dritte eine Erläuterung. Da mehrere Kameras an eine Bildverarbeitung angeschlossen sein können, werden diese mit Nummern versehen (Kamera Nr.x).

Datum/Signal	Richtung	Erläuterung
Start Verarbeitung Kamera Nr.x	Steuerung -> BV	Start der Bildverarbeitung für Kamera Nr. x
Prüfung IO/NIO Kamera Nr.x	BV -> Steuerung	Abfrage ob für Kamera Nr.x ein abholbares Teil gefunden wurde
Koordinate X Kamera Nr.x	BV -> Steuerung	X-Koordinate des Teils mit der besten Übereinstimmung für Kamera Nr.x
Koordinate Y Kamera Nr.x	BV -> Steuerung	Y-Koordinate des Teils mit der besten Übereinstimmung für Kamera Nr.x
Drehwinkel Kamera Nr.x	BV -> Steuerung	Drehwinkel zur Nulllage des Teils mit der besten Übereinstimmung für Kamera Nr.x

Tabelle 5.3.: Übersicht der Daten und Signale zwischen Bildverarbeitung und Steuerung

Die Aufnahme und Verarbeitung des Bildes wird von der Steuerung gestartet. Dies ist nötig, da keine Aufnahme erfolgen darf, wenn sich zum Beispiel Teile der Portalachsen im Bildbereich befinden oder die Verteileinheit gerade in den Bereich verfährt. Die Bildaufnahmezeitpunkte sind daher nicht beliebig und eine Bearbeitung muss durch die Steuerung angestoßen werden. Die Bildverarbeitung meldet dann zurück, ob ein Teil auf dem Objektträger abholbar ist oder nicht (Prüfung IO/NIO). Wurde mindestens ein abholbares Teil erkannt werden die Koordinaten und der Verdrehwinkel des Teils mit der besten Übereinstimmung mit dem Musterteil an die Steuerung übergeben.

5.3.3. PC-System für die Bildverarbeitung

Es wird ein PC-System für die Bildverarbeitung gestellt, auf dem die Bildverarbeitungssoftware installiert wird. Es wird sich für einen Desktop-PC mit Eingabemöglichkeiten durch Tastatur und Maus und Ausgabemöglichkeiten auf einen Bildschirm entschieden. Als Mindestanforderungen an das System werden in Absprache mit dem Hersteller der Bildverarbeitungssoftware folgende Merkmale erarbeitet:

- Prozessor: mindestens 2 GHz
- Arbeitsspeicher: mindestens 4 GB
- Festplattenspeicher: mindestens 120 GB um ausreichend Platz zur Speicherung von Bildern zu haben
- Betriebssystem Microsoft Windows 7
- Freie Steckplätze: Mindestens 2 PCI-Express Steckplätze. Ein Steckplatz wird durch die mitgelieferte Netzwerkkarte belegt, über die die Kameras angeschlossen werden (PCIe x16)
- Netzwerkanschluss (Gigabit Ethernet) für die Verbindung zur [SPS](#)
- Monitor mindestens 17 Zoll

Dieser PC wird durch die Informatikabteilung der MAPA GmbH konfektioniert und innerhalb weniger Tage geliefert.

5.3.4. Kalibrierung und Koordinatentransformation

Kamerakalibrierung

Die Kamerakalibrierung wird bei Bildverarbeitungsapplikationen benötigt, die eine genaue Messung im Bild erfordern. Diese Kalibrierungen werden bei der Inbetriebnahme von Anlagen durchgeführt und sollten beibehalten werden, solange am Aufbau der Anlage oder der Applikation nichts geändert wird. Kameras und ihr Aufbau besitzen perspektivische Fehler, die für eine verzerrte Wiedergabe des Bildes sorgen. Diese Fehler können aufgrund der Linzenverzerrungen, anderer Kameraungenauigkeiten oder durch eine ungenaue Ausrichtung der Hardware entstehen. Durch die Kalibrierung ist die Bildverarbeitungssoftware in der Lage, verzerrte Bilder subpixelgenau zu entzerren. So sind exakte Messungen möglich. Für die Durchführung der Kalibrierung werden je nach System und Hersteller Kalibrierplatten verwendet, die mitgeliefert werden [31].

Im Rahmen dieses Projektes wird, wie in Kapitel 3.2 beschrieben, eine Kamera zentral senkrecht mit mehr als 1450 mm Abstand zur Bildaufnahme­fläche montiert. Aufgrund der Erfahrung mit ähnlichen Projekten ist nach Aussage der bwm GmbH zur Erkennung von Teilen, die flach auf dem Objektträger liegen, keine Kalibrierung der Kamera nötig. Der Abstand und Betrachtungswinkel sind günstig, sodass die Verzerrungen nicht die Anforderungen an die Genauigkeit beeinträchtigen. Eine Funktion zur Kalibrierung der Kamera wird daher nicht im Lieferumfang der Bildverarbeitungssoftware enthalten sein. Stellt sich im praktischen Einsatz heraus, dass eine Kalibrierung nötig ist, kann diese Funktion nachträglich hinzugefügt werden. Die mechanische Befestigung der Kamera muss so realisiert sein, dass die Ausrichtung im Bezug auf die Bildaufnahme­fläche bei Inbetriebnahme eingestellt werden kann und sich im anschließenden Betrieb nicht verändert.

Koordinatentransformation

Die von der Kamera aufgenommenen und durch die Software bearbeiteten Bilder enthalten als Ausgangspunkt für alle Berechnungen Pixelwerte. Diese Pixel stellen die kleinste Bezugsgröße für die Bildverarbeitung dar. Für die Ansteuerung der Motorcontroller der X- und Y-Achse, werden die Anzahl der zu verfahrenen Schritte benötigt. Ausgehend von einem gemeinsamen Bezugsnullpunkt der Bildverarbeitung und der Motorcontroller muss somit der Zusammenhang zwischen Pixelkoordinaten eines Teils auf dem Objektträger und der zu verfahrenen Schrittzahl der Controller hergestellt werden. Die Bildverarbeitungssoftware wird bereits eine Funktion zur Umrechnung zwischen Pixel und metrischem System enthalten. An die Steuerung werden diese metrischen Daten in mm sowie der Drehwinkel in ° weitergegeben und in der SPS in entsprechende Schrittzahlen umgerechnet. Die Formel für diese Umrechnung lautet

$$\text{Schrittzahl} = \text{Ausgabe der Bildverarbeitung} \cdot \text{Auflösung des Motorcontrollers} \quad (5.1)$$

Die Anzahl der zu verfahrenen Schritte ergibt sich aus dem Ausgabewert der Bildverarbeitung in mm beziehungsweise $^{\circ}$ multipliziert mit der Auflösung des entsprechenden Controllers in $\frac{\text{Schritte}}{\text{mm}}$ oder $\frac{\text{Schritte}}{^{\circ}}$.

5.4. Entwicklung der Kommunikation

Die Kommunikation über das Ethernetprotokoll **TCP/IP** dient zur Übertragung von Daten zwischen der Bildverarbeitung und der **SPS**. Es wird die Kommunikationsbaugruppe Siemens CP343-1 eingesetzt, die über einen RJ45 Anschluß verfügt. Die physikalische Verbindung zwischen Steuerung und Bildverarbeitung wird über ein handelsübliches, achtpoliges Ethernet Patchkabel realisiert. Im Lieferumfang der Baugruppe befinden sich Funktionsbausteine, die in das Anwenderprogramm integriert werden und nach entsprechender Parametrierung die Steuerung der Kommunikation ermöglichen. Es sind Bausteine zum Senden und Empfangen von Daten vorhanden.

Für die Datenübermittlung zwischen der Steuerung und den Motorcontrollern kommt das Bussystem MODBUS-RTU zum Einsatz. Physikalisch wird eine RS485-Verbindung erstellt. Zu diesem Zweck besitzt die VIPA **SPS** einen neunpoligen Sub-D Anschluß. Die Verbindung zum ersten Motorcontroller wird über ein Adapterkabel realisiert, da die Controller über RJ45 Anschlüsse verfügen. Die Verbindungen der übrigen Controller zu einem Linienbussystem erfolgt über handelsübliche achtpolige Ethernet Patchkabel. Auf Anfrage wird durch die Produktunterstützung von VIPA ein vorgefertigter Funktionsbaustein zur Realisierung von Sende- und Empfangsfunktion sowie Grundeinstellung der Kommunikation bereitgestellt. Diese Bausteine werden genutzt, in das Anwenderprogramm integriert und ermöglichen so bei entsprechender Parametrierung den Datenaustausch zwischen Steuerung und Motorcontroller.

5.4.1. Zuordnung von Datenbausteinbereichen zu den Busteilnehmern

Für jede der zwei genutzten Kommunikationsarten der **SPS** müssen Speicherbereiche festgelegt werden, in den sich die zu versendenden Daten befinden und die empfangenen Daten abgelegt werden. Zu diesem Zweck werden Datenbausteine angelegt, auf die die Funktionsbausteine der jeweiligen Kommunikationsart zugreifen. Es werden sowohl für die MODBUS- als auch für die **TCP/IP**-Kommunikation je zwei Datenbausteine erstellt.

Je einen, in dem bestimmte Bereiche für die Sendedaten zu jedem Teilnehmer festgelegt werden und je einen, in dem die Empfangsdaten von jedem Teilnehmer der entsprechenden Kommunikationsart gespeichert werden. Es wird die Länge der zu sendenden Datenpakete und erwartete Länge der Antwortdaten der Teilnehmer festgelegt. Ein Datensatz der Bildverarbeitung bei erfolgreicher Teilidentifizierung umfasst beispielsweise einen String der Länge von 100 Zeichen. Somit werden im Datenbaustein mindestens 100 Byte Datenraum deklariert, in dem die Empfangsdaten gespeichert werden. Eine detaillierte Auflistung der verwendeten Datenbausteine mit den Bereichszuordnungen zu den verschiedenen Teilnehmern ist dem Anhang zu entnehmen. Hier befindet sich sowohl ein Programmausdruck des Steuerungsprogramms als auch das vollständige SIMATIC-Programm.

5.5. Vorüberlegungen zum Entwurf des Steuerungsablaufs

Es wird ein Steuerungsablauf erstellt, der dann in das SIMATIC S7-Programm umgesetzt wird. Der Ablauf mit den möglichen Betriebszuständen wird an dieser Stelle zunächst grob in Textform beschrieben. Die Detaillösungen sowie Abhängigkeiten der Betriebszustände sind dem folgenden Kapitel 5.6, in dem der grafische Entwurf des Steuerungsablaufs entwickelt wird, zu entnehmen.

Das Handhabungssystem verfügt über vier Hauptbetriebszustände. Diese Zustände werden als „Aus“, „Handbetrieb“, „Referenzfahrt“ und „Automatikbetrieb“ bezeichnet. In der Betriebsart „Aus“ befindet sich die Anlage nach dem Einschalten der Betriebsspannung, nach dem betriebsmäßigen Ausschalten aus anderen Betriebszuständen heraus oder bei betätigtem beziehungsweise unquittiertem Not-Aus-Signal. In diesem Betriebszustand ist kein Verfahren der Achsen oder eine Ansteuerung der Aktoren möglich. Die SPS befindet sich im normalen Betrieb. Das bedeutet, dass auch in der Betriebsart „Aus“ Sensorsignale erfasst werden und die Kommunikation mit Teilnehmern über das Bussystem und TCP/IP stattfindet.

Über ein Tastersignal wird die Anlage eingeschaltet und befindet sich im Betriebszustand „Handbetrieb“. In dieser Betriebsart können alle Achsen sowie Aktoren per Taster einzeln angesteuert werden. Dabei wird für die Achsen und Aktoren ein Tippbetrieb eingerichtet. Bei aktiver Betätigung eines Tasters wird die entsprechende Funktion ausgeführt und sofort beendet, wenn die Betätigung aufgehoben wird.

Aus dem „Handbetrieb“ heraus kann über einen weiteren Taster die „Referenzfahrt“ ausgelöst werden. Es wird in den entsprechenden Betriebszustand umgeschaltet. Die Aktoren werden in einen definierten Betriebspunkt verfahren und die Achsen führen eine Referenzfahrt mit anschließender Definition des Schritt-Nullpunktes durch, wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben.

Nur aus dem Betriebszustand „Referenzfahrt“ heraus und nach der erfolgreichen Abar-

beitung durch die Achsen und Aktoren ist das Umschalten in die Betriebsart „Automatikbetrieb“ möglich. Dies ist nötig, da zum Betrieb in „Automatik“ eine Referenzierte Achse zwingend notwendig ist um eine gleiche Koordinatenbasis mit der Bildverarbeitung zu gewährleisten. Im Automatikbetrieb verfährt die Steuerung die Achsen zunächst zum Ablagepunkt des Werkstückes. Dieser Punkt ist durch die mechanische Konstruktion so gewählt, dass sich die Achsen nicht im Bildbereich der Kamera befinden. Der Raum zwischen Bildaufnahme- und Kamera ist frei und eine Bildaufnahme wird ausgelöst. Die Bildverarbeitung wertet das Bild aus und übergibt bei erfolgreicher Identifizierung eines Werkstückes dessen Lagekoordinaten an die Steuerung. Wird kein entsprechendes Werkstück gefunden, löst die Steuerung einen Rüttelvorgang aus, um falsch positionierte oder überlappende Werkstücke auf dem Objektträger in eine andere Position zu verschieben. Anschließend wird erneut eine Bildaufnahme und Auswertung gestartet. Wird nach einer bestimmten, einstellbaren Anzahl an Versuchen kein Werkstück erfolgreich identifiziert, werden aus dem Vorratsbunker durch die Verteileinheit neue Werkstücke auf dem Objektträger ausgebracht. Die Bildaufnahme und Auswertung beginnt erneut. Bei erfolgreicher Identifizierung und Übergabe der Koordinaten an die Steuerung werden die Motorcontroller mit der entsprechenden Anzahl an Schritten versorgt, das Werkstück wird angefahren und gegriffen. Anschließend kehren die Achsen zur entsprechenden Ablageposition zurück und übergeben das gegriffene Werkstück. Der Automatische Ablauf beginnt anschließend von vorn.

Aus jeder Betriebsart kann jederzeit durch Betätigung des Not-Aus jede Bewegung unverzüglich unterbrochen werden und es wird in die Betriebsart „Aus“ gewechselt. Wird der betriebsmäßige Austaster betätigt, wird die aktuelle Bewegung zu Ende ausgeführt und anschließend in den Betriebszustand „Aus“ gewechselt.

5.6. Graphischer Entwurf des Steuerungsablaufs

Um die im Kapitel 5.5 erarbeitete Funktionalität zu Dokumentieren und eine Verständliche Codegenerierung zu ermöglichen wird ein grafisches Verfahren für den Steuerungsentwurf gewählt. Es wird der Entwurf mittels Petrinetzen mit einem übergeordneten Betriebskopf, der den Übergang zwischen verschiedenen Netzen ermöglicht, gewählt. Bei Petrinetzen handelt es sich um eine Darstellungsform mit gerichteten Graphen. Diese Graphen bestehen aus einer Menge von Plätzen und Transitionen sowie einer korrespondierenden Menge von Kanten, die die Plätze miteinander verbinden. Die Plätze werden im Petrinetz als offene Kreise gezeichnet, die Kanten als Pfeile. Transitionen werden durch senkrechte oder waagerechte Balken dargestellt. In einem Netz müssen sich Plätze und Transitionen immer zwingend abwechseln. Somit existieren Kanten nur zwischen Transitionen und Plätzen, jedoch nie zwischen zwei Plätzen oder zwei Transitionen. Bei den in dieser Arbeit verwendeten Bedingungs-Ereignis-Netzen wandern nicht unterscheidbare Marken entlang

der Kanten durch das Netz und belegen dessen Plätze. Dabei kann jeder Platz nur genau eine oder keine Marke enthalten. Ist ein Platz belegt, so wird dieser als aktiviert bezeichnet. Ist die auf eine oder mehrere aktivierte Stellen folgende Transition schaltfähig, das heißt ihre Schaltbedingungen sind erfüllt, wird den aktiven Plätzen die Marke entzogen und diese werden deaktiviert. Die Marke wandert zum folgenden Platz oder Plätzen und aktiviert diese. Um schaltfähig zu sein müssen alle Vorplätze einer Transition aktiviert sein und es darf kein Nachplatz eine Marke enthalten. Somit werden bei einer gegebenen Eingabe die Schaltvorgänge der Transitionen so lange fortgesetzt, bis ein stabiler Zustand erreicht ist und alle Marken in Plätzen verweilen [21]. Bei der steuerungstechnischen Interpretation der Petrinetze ist die Schaltfähigkeit von Transitionen zusätzlich von Prozesssignalen, wie zum Beispiel Eingangsvariablen, abhängig und den Plätzen können Ausgabefunktionen, wie zum Beispiel Ausgangsvariablen, zugeordnet werden. Die folgende Abbildung verdeutlicht durch ein Beispiel das Vorgehen:

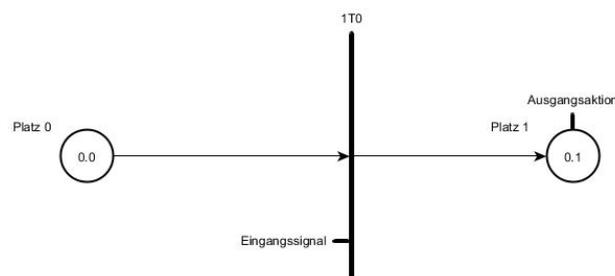


Abbildung 5.1.: Beispiel eines Petrinetzes

Ist der Platz 0 aktiviert, also durch eine Marke belegt, und das Eingangssignal an Transition 1T0 wahr, so ist diese Transition schaltfähig. Wenn sich in Platz 1 keine Marke befindet, schaltet Transition 1T0 und die Marke wandert von Platz 0 nach Platz 1. Platz 0 ist somit deaktiviert, Platz 1 aktiviert und die Ausgangsaktion von Platz 1 wird so lange ausgeführt, wie dieser aktiv ist.

Zusätzlich zu diesen Standardtransitionen werden einige Sondertransitionen verwendet, die während des Schaltens genau einmal eine Aktion ausführen. Die Anweisungen für diese Aktionen stehen innerhalb der Transition. Diese Aktionen können beispielsweise das Erhöhen eines Zählerstandes oder das abwarten eines Timers sein.

5.6.1. Entwurf des Betriebskopfes

Die Gesamtfunktionalität des Steuerprogrammes ist in verschiedene Unterprogramme aufgeteilt dies führt zu einer besseren Übersichtlichkeit und Veränderbarkeit von einzelnen Programmteilen. Die Unterprogramme sind dabei nach den in Kapitel 5.5 genannten Betriebsarten unterteilt. Für jedes Unterprogramm wird ein eigenes Petrinetz erstellt, welches erst aktiviert ist, wenn die entsprechende Betriebsart gewählt ist. Befindet sich die Steuerung beispielsweise im Betriebszustand „Automatikbetrieb“ ist dieses Petrinetz aktiv und das Netz für „Handbetrieb“ still gesetzt. Der Betriebskopf stellt die Abhängigkeiten und Übergangsmöglichkeiten zwischen den verschiedenen Netzen oder Betriebsarten grafisch dar. Die folgende Abbildung zeigt den Betriebskopf. Ein Ausdruck befindet sich zudem im Anhang.

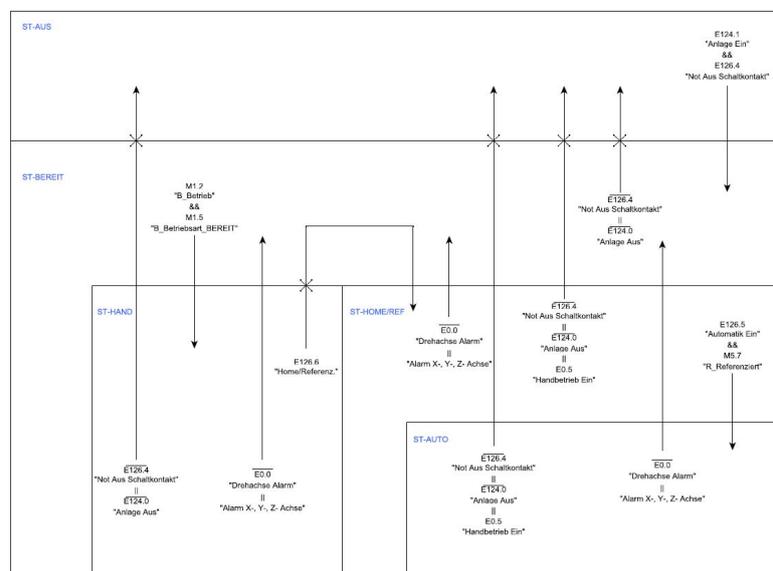


Abbildung 5.2.: Grafische Darstellung des Betriebskopfes

Es handelt sich hierbei um eine hierarchische Darstellung. In jeder Abbildungsstufe darf nur ein Netz aktiv sein. Die Netze sind in diesem Fall „ST-AUS“, „ST-BEREIT“, „ST-HAND“, „ST-HOME/REF“ und „ST-AUTO“. Es dürfen zum Beispiel nicht gleichzeitig die Netze „ST-HAND“ und „ST-HOME/REF“ aktiv sein.

Ein Netz wird nur aktiviert, wenn sein überlagertes Netz aktiv ist und die Schaltbedingungen erfüllt sind. So müssen beispielsweise die Netze „ST-BEREIT“ und „ST-HOME/REF“ aktiv sein und die Schaltbedingungen „Automatik Ein“ und „R_Referenziert“ anliegen um das Netz „ST-Auto“ zu aktivieren und in den Automatikbetrieb zu gelangen. Beim Verlassen eines Netzes durch die entsprechenden Schaltbedingungen werden das Netz selbst und alle

unterlagerten Netze still gesetzt. Das heißt, wird zum Beispiel der Not-Aus-Schaltkontakt aktiviert während sich die Anlage in „ST-AUTO“ befindet, werden alle Netze unterhalb von „ST-AUS“ stillgelegt. So ist es durch Schaltbedingungen und Hierarchien möglich, zwischen bestimmten Betriebsarten in festgelegten Reihenfolgen umzuschalten.

5.6.2. Entwurf der Betriebsarten „Anlage Aus“ und Anlage Bereit“

In den Petrinetzen „ST-AUS“ und „ST-BEREIT“ werden die Betriebsarten „Aus“ und „Bereit“ umgesetzt. Die folgende Abbildung zeigt das Netz „ST-AUS“:

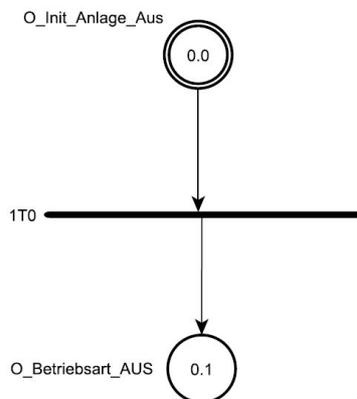


Abbildung 5.3.: Petrinetz ST-AUS

Dieses Petrinetz beinhaltet nach der Aktivierung nur eine schaltfähige Transition, die einen Betriebsartenmerker setzt.

Für die Umsetzung der Betriebsart „Bereit“ wird ein umfangreicheres Netz benötigt, dessen Ausdruck sich im Anhang befindet. In dieser Betriebsart kann bei Bedarf eine Quittierung von Motorstörungen der Achsantriebe erfolgen. Erst wenn keine Störungen vorliegen wird über den Merker „B_Betrieb“ die Betriebsbereitschaft der Anlage signalisiert und in den Handbetrieb umgeschaltet.

5.6.3. Entwurf der Betriebsart „Handbetrieb“

Nach Aktivierung des Netzes „ST-HAND“ wird ein Betriebsartenmerker gesetzt und alle Funktionen der Aktoren und Achsen können per Taster im Tippbetrieb ausgeführt werden. Das vollständige Petrinetz des Handbetriebes liegt im Anhang vor. Die folgende Abbildung

zeigt beispielhaft einen einzelnen Aktionszweig. Für jede zur Verfügung stehende Funktion der Handhabungseinrichtung sind ähnliche Aktionszweige vorhanden.

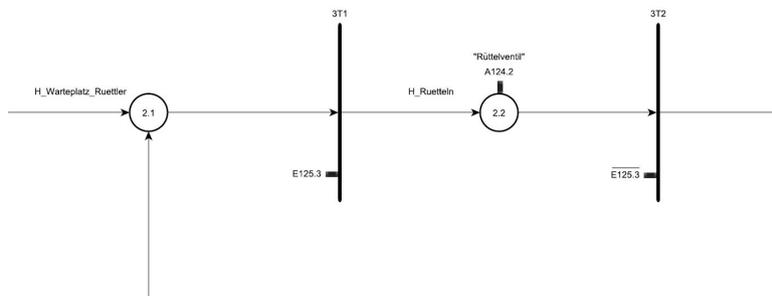


Abbildung 5.4.: Teilausschnitt aus dem Petrinetz des Handbetriebes

Hier ist beispielhaft die Ansteuerung des Rüttelventils dargestellt. Nach der Aktivierung des Netzes ist der Wartepplatz 2.1 besetzt. Wird nun die Schaltbedingung E125.3 wahr, wandert die Marke von Platz 2.1 nach Platz 2.2. Mit diesem Platz ist der Ausgang zur Ansteuerung des Rüttelventils verknüpft. Solange der Platz durch die Marke besetzt ist, ist der Ausgang und somit das Rüttelventil betätigt. Ist die Schaltbedingung E125.3 nicht mehr wahr, schaltet sie Transition 3T2, die Marke wandert von Platz 2.2 zurück nach Platz 2.1, der Ausgang wird somit nicht mehr angesteuert und es ist wieder der Ausgangszustand erreicht.

5.6.4. Entwurf der Betriebsart „Referenzfahrt“

Bei Aktivierung des Netzes „ST-HOME/REF“ wird die Verteileinheit zurück gefahren und die Achsen führen eine Referenzfahrt durch. Auch für diese Betriebsart „Referenzfahrt“ wird ein Petrinetz erstellt. Der Ausdruck befindet sich im Anhang. Bei den Referenzfahrten der Achsen ist darauf zu achten, dass die Z-Achse eine bestimmte Mindesthubhöhe nicht unterschreitet bevor sich die Achsen X und Y in Bewegung setzen, da es sonst zu Kollisionen des Greifwerkzeugs mit fest stehenden Teilen des Objektträgers oder des Vorratsbunkers kommen kann. Dies wird vermieden, indem zunächst die Referenzfahrt der Z-Achse abgeschlossen sein muss, bevor die Fahrten der X- und Y-Achse ausgelöst werden. Der Referenzpunkt der Z-Achse liegt in ausreichendem Abstand, sodass X- und Y-Achse frei verfahren können.

5.6.5. Entwurf der Betriebsart „Automatikbetrieb“

Die Betriebsart „Automatikbetrieb“ ist ausgewählt, wenn das Netz „ST-AUTO“ aktiv ist. Auch der Ausdruck dieses Netze befindet sich im Anhang. Der grundsätzliche Ablauf ist so gestaltet, das nach einer Bildaufnahme und -auswertung je nach Ergebnis das identifizierte Teil abgeholt wird, das Rüttelventil aktiviert wird oder, nach mehrmaligem Rütteln, neue Werkstücke auf dem Objektträger ausgebracht werden. Ist ein Teil abholbar, werden zunächst die X-, Y- und Drehachse in die entsprechende Position, die durch die Bildverarbeitung ermittelt wird, gebracht. Anschließend wird das Teil mittels der Z-Achse und des Greifwerkzeuges angehoben und die Nullposition der Z-Achse angefahren. Erst jetzt können sich die X- und Y-Achse in Bewegung setzen und die Abladeposition anfahren. Diese Abfolge wird wie bei der Referenzfahrt gewählt, um Kollisionen des Greifers oder der Achsen mit fest stehenden Teilen des Portals zu vermeiden. Haben die X-, Y- und Drehachse die Abladeposition erreicht, fährt die Z-Achse die Entladeposition an und der Greifer lässt das Werkstück los. Die Z-Achse fährt wieder in Nullposition, ein neues Bild wird aufgenommen und der Ablauf beginnt von vorn.

Der Bunkerantrieb zum Befüllen der Verteileinheit läuft parallel zum übrigen Ablauf und wird durch die Lichtschranke in der Verteileinheit abgeschaltet, sobald diese voll ist. Aufgrund dessen, dass die Lichtschranke durch jedes in den Verteiler einfallende Teil durchbrochen und damit aktiviert wird, ist eine Zeitverzögerung nötig. Erst wenn die Lichtschranke eine bestimmte Zeit dauerhaft belegt ist, wird dies als Vollsignal gewertet.

Aufgrund dessen, dass nur nach einer Referenzfahrt in den Automatikbetrieb geschaltet werden kann und die Referenzpositionen auch im Bildbereich der Kamera liegen können wird vor der ersten Bildaufnahme, direkt nach dem Einschalten des Automatikbetriebes, die Abladeposition angefahren, bevor die erste Bildaufnahme ausgelöst wird. So ist der Automatikbetrieb völlig modular und auf keine bestimmten Referenzpositionen der Achsen angewiesen.

5.7. Erstellung von Stromlaufplänen und Aufbau des Schaltschranks

Die Unterbringung der Steuerungstechnik und der für den Betrieb der Achsen und Aktoren nötigen Hardware erfolgt in einem Schaltschrank um diese vor Umwelteinflüssen zu schützen. In diesem Schaltschrank werden auch die Bedien- und Anzeigeelemente eingelassen, sodass sie von außen zugänglich sind. Der PC mit der Bildverarbeitung wird in einem externen PC-Schrank untergebracht um das eigentliche Portal modular von der Bildverarbeitung trennen zu können. Da es sich hier um einen Prototyp zu Testzwecken handelt, geschieht dies um in Zukunft die Module unabhängig voneinander einsetzen zu

können. Der PC-Schrank der Bildverarbeitung enthält dabei keine weitere Hardware des Portalsystems.

5.7.1. Erstellung der Stromlaufpläne

Für die Realisierung des Schaltschranks für die Steuerungs- und Antriebstechnik werden Stromlaufpläne und Verdrahtungslisten erstellt, die sich im Anhang dieser Arbeit befinden. Diese werden nach den üblichen Regeln der MAPA GmbH erstellt um für eine einfache Wartung, Fehlersuche und Änderungen durch das technische Personal vor Ort zu sorgen. Die Pläne und Listen werden mit dem Programm CADdy++ electrical, vertrieben von der IGE+XAO-Group, erstellt. Die Stromlaufpläne beinhalten dabei im ersten Teil die Haupt- und Laststromkreise sowie die Versorgung der Motorcontroller. Der zweite Teil beinhaltet die Achssensoren, die Not-Aus-Steuerung sowie den schematischen Aufbau der Busverbindungen. Den größten Umfang stellt die Darstellung der Ein- und Ausgangsbeschaltung der SPS im dritten Teil dar. Hier sind die Sensoren und Aktoren, die direkt an das Automatisierungsgerät angeschlossen sind, eingezeichnet. Die Darstellung der Ein- und Ausgangskarten der SPS erfolgt dabei nach den MAPA-üblichen Vorgaben. Im Anschluss an die Stromlaufpläne finden sich die Verdrahtungslisten. Hier sind alle verwendeten Klemmen mit ihrem Klemmenindex, Typ und den Zielen ihrer Anschlüsse aufgelistet. Dies vereinfacht die Fehlersuche und Wartung sowie die Kontrolle der korrekten Verdrahtung nach dem Realisieren des Schaltschranks. Des weiteren wird eine Bauteilliste erstellt, um eine einfache Identifikation sowie Ersatzteilhaltung und -bestellung der verwendeten Hardware zu ermöglichen.

5.7.2. Bedien- und Anzeigeelemente

Es sind Bedien- und Anzeigeelemente nötig, die zur Steuerung der Betriebsartenauswahl, für die Handbedienung der Achsen und Aktoren und die Signalisierung von Betriebszuständen dienen. Alle Anzeigeelemente sowie die Bedienelemente zur Gesamtanlagensteuerung, wie Hauptschalter, Ein-/Ausschalter, Betriebsartenschalter werden in der Tür des Schaltschranks eingelassen um von außen bedienbar zu sein. Die Bedienelemente zur Handbedienung der Achsen und Aktoren bekommen ein eigenes, separates Gehäuse, welches in der Hand gehalten werden kann. So muss sich der Bediener nicht zwangsläufig direkt vor dem Schaltschrank befinden, um die Anlage per Hand zu verfahren. Die Farben der Drucktaster und Anzeigen werden nach DIN EN 60204-1:98-11 ausgelegt [3].

Die Bedien- und Anzeigeelemente im Schaltschrank sind im einzelnen:

Bedienelement	Funktion
Hauptschalter	Spannungsversorgung Ein-/Ausschalten
Not-Aus	Not-Aus Funktion auslösen
Anlage Ein	Betriebsartumschaltung von „Aus“ nach „Bereit“
Anlage Aus	Betriebsartumschaltung aus beliebiger Betriebsart nach „Aus“
Not-Aus quittieren	Quittierung des Not-Aus-Zustandes
Störung quittieren	Störungen der Antriebe quittieren
Referenzfahrt	Betriebsartumschaltung von „Handbetrieb“ nach „Referenzfahrt“
Automatik	Betriebsartumschaltung von „Referenzfahrt“ nach „Automatikbetrieb“
Hand	Betriebsartumschaltung von „Referenzfahrt“ nach „Handbetrieb“
Anzeigeelement	Bedeutung
Betrieb	Spannungsversorgung ist eingeschaltet, Betriebsart ist nicht „Aus“
Not-Aus	Not-Aus wurde ausgelöst und noch nicht quittiert
Not-Aus quittiert	Not-Aus ist quittiert
Handbetrieb	Betriebsart „Handbetrieb“ ist ausgewählt
Automatikbetrieb	Betriebsart „Automatikbetrieb“ ist ausgewählt
Störung Antriebe	Ein oder mehr Motorcontroller sind gestört

Tabelle 5.4.: Bedien und Anzeigeelemente des Schaltschranks

Die räumliche Aufteilung der Bedien- und Anzeigeelemente auf der Tür des Schaltschranks ist dem Stromlaufplan der Steuerung zu entnehmen. Diese befindet sich im Anhang und beinhaltet eine Zeichnung der Schaltschrantür mit den Symbolen der Bedien- und Anzeigeelemente.

Die Bedienelemente, die in der Fernbedienung für die Handsteuerung nötig sind, werden in folgender Tabelle aufgelistet:

Bedienelement	Funktion
X-Achse vor	X-Achse vorwärts verfahren
X-Achse zurück	X-Achse rückwärts verfahren
Y-Achse vor	Y-Achse vorwärts verfahren
Y-Achse zurück	Y-Achse rückwärts verfahren
Z-Achse hoch	Z-Achse aufwärts
Z-Achse runter	Z-Achse abwärts
Drehachse vor	Drehachse vorwärts verfahren
Drehachse zurück	Drehachse rückwärts verfahren
Verteiler vor	Verteileinheit in Richtung Objektträger verfahren
Verteiler öffnen	Verschlussklappe der Verteileinheit öffnen
Greifen	Greifer betätigen
Bunkerantrieb	Bandantrieb des Vorratsbunkers einschalten
Rütteln	Rüttelantrieb einschalten

Tabelle 5.5.: Bedien und Anzeigeelemente der Fernbedienung

Diese Bedienelemente bekommen ein eigenes Bedienpult und sind mit der Steuerung über ein Kabel verbunden. Die Aufteilung der Bedienelemente auf der Fernbedienung ist wiederum dem Stromlaufplan der Steuerung im Anhang zu entnehmen.

5.7.3. Verdrahtung gemäß Stromlaufplan und Verdrahtungsliste

Gemäß den entwickelten Stromlaufplänen und Zeichnungen für den Aufbau der Schaltschranktür und der Fernbedienung wird nun der Hardwareeinbau und dessen Verdrahtung für die Steuerung vorgenommen. Die Aufteilung der Hardware im Schaltschrank erfolgt nach dem Standardaufbau der MAPA GmbH, bei dem das Automatisierungsgerät und Transformatoren im oberen Schaltschrankraum, Motorcontroller und sonstige Schaltgeräte in der Mitte und Klemmleisten wenn möglich unten aufgebaut werden. Die Leitungsfarben und Querschnitte für die Verdrahtung sind im Stromlaufplan angegeben und entsprechen den Anforderungen der DIN EN 60204-1 beziehungsweise der VDE0113-1 für die elektrische Sicherheit von Maschinen.

5.8. Implementierung des S7-Programms

Der grafisch entworfene Steuerungsablauf, die Funktionen der FM 353 Baugruppe sowie die nötigen Funktionen für die Buskommunikation über MODBUS-RTU und [TCP/IP](#) werden mit der Programmierumgebung SIMATIC STEP7 V5.5 in ein S7-Programm implementiert.

Ein kompletter Ausdruck des Programms sowie ein Ordner mit dem S7-Programm selbst befindet sich im Anhang.

5.8.1. Implementierung der Funktionen für die Kommunikation und die FM 353 Baugruppe

Zur Umsetzung der Kommunikation sowie zur Einbindung der FM 353 Baugruppe zur Ansteuerung des Motorcontrollers der Drehachse werden sowohl in den Hardwareeinstellungen des S7-Programms als auch im Anwenderprogramm diverse Einstellungen vorgenommen und Funktionen beziehungsweise Funktionsbausteine erstellt, parametrieren und eingebunden.

Für die FM 353 Baugruppe werden in den Hardwareeinstellungen die Maschinendaten der Rundachse hinterlegt und Grundeinstellungen wie Maximalfrequenz, maximale Beschleunigung und die Art der Referenzpunktfahrt durchgeführt. Dabei wird nach den Anweisungen des Handbuches, welches sich im Anhang befindet, vorgegangen. Im Anwenderprogramm werden Funktionsbausteine für die Betriebsarten Handbetrieb (Tippbetrieb), Referenzfahrt und Automatikbetrieb erstellt. Diese werden je nach Bedarf aufgerufen und führen die entsprechende Aktion durch.

Für die Kommunikation über [TCP/IP](#) mit der Bildverarbeitung kommt die CP343-1 Baugruppe zum Einsatz. Hierfür werden in den Hardwareeinstellungen nach den Anweisungen im Handbuch, welches sich im Anhang befindet, die Grundeinstellungen durchgeführt. Es muss die Verbindung unter Angabe von entsprechenden IP-Adressen und Portnummern eingerichtet werden. Im Anwenderprogramm werden Funktionen, die sich im Lieferumfang der Kommunikationsbaugruppe befinden, eingebunden und beim Aufruf parametrieren. Diese Funktionen dienen zur Steuerung der Kommunikation, zum Senden und zum Empfangen von Daten.

Im Lieferumfang der Zentralbaugruppe der [SPS](#) sind eine Funktion, ein Funktionsbaustein und ein anwendungsbezogener Datentyp für die Kommunikation über MODBUS-RTU enthalten. Diese werden in das Anwenderprogramm eingebunden und realisieren das Senden und Empfangen von Daten über MODBUS aus beziehungsweise in vorzugebende Datenbausteine. Die Initialisierung der Buskommunikation erfolgt über eine weitere vorgefertigte Funktion, die im Neustart-Organisationsbaustein OB100 eingebunden und parametrieren wird. Zu den Parametern zählen die Anzahl der Datenbits pro Zeichen, die Paritätseinstellung, die Anzahl der Stopbits und die Baudrate. Diese Einstellungen werden so gewählt, dass sie mit den Parametern in den Motorcontrollern übereinstimmen.

5.8.2. Implementierung der Funktionen für den Betriebskopf und die Petrinetze

Für die in Kapitel 5.6.1 bis 5.6.5 erarbeiteten Teillösungen des Gesamtprogramms werden bei der Programmierung je eine Funktion für jedes Petrinetz beziehungsweise den Betriebskopf erstellt. Somit wird die Modularität des Steuerungsablaufs, wie er in der grafischen Lösung entworfen wurde, beibehalten.

Bei der Umsetzung des Betriebskopfes wird je ein Programmnetzwerk für jeden Übergang von einer Betriebsart in eine andere erstellt. Beim Verlassen einer Betriebsart werden die dort verwendeten Merker vollständig rückgesetzt, sodass kein Markenfluss mehr stattfindet und das Netz und damit das Teilprogramm stillgelegt ist. Beim Betreten einer Betriebsart wird die Initialisierungsstelle, der Initialisierungsmerker, des entsprechenden Netzes und damit des Teilprogramms gesetzt. So wird für jeden im Betriebskopf dargestellten Fall der entsprechende Betriebsartenwechsel umgesetzt.

Bei der steuerungstechnischen Programmumsetzung der entworfenen Petrinetze werden allen Stellen im Netz Merker im S7-Programm zugeordnet. Die Zahlen in den Stellen entsprechen der Merker Nummer im Programm. Alle Transitionen stellen in S7 Programmiernetzwerke dar, die analog zu den Bezeichnungen benannt werden. So kann zur Fehlersuche oder Umprogrammierung aus dem Petrinetz direkt auf die entsprechende Stelle im Programmcode geschlossen werden. Bei der Programmierung werden die unter Kapitel 5.6 genannten Anforderungen an das Schalten der Transitionen berücksichtigt. Somit kann die Programmierung für jede Transition schematisch nach dem Muster in der folgenden Abbildung abgearbeitet werden.

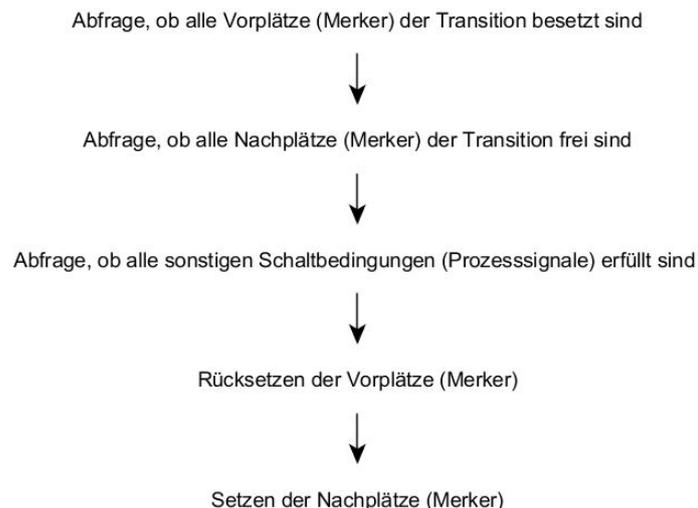


Abbildung 5.5.: Umsetzung einer Transition im Programm

Sind in den Transitionen noch Anweisungen enthalten, die einmal während des Schaltens abzarbeiten sind, so sind diese Aktionen noch in das dargestellte Muster nach den Abfragen einzubringen.

Die Ausgangszuweisung zu den Merkern erfolgt am Ende der Funktion oder des Funktionsbausteins. Die Zuweisungen erfolgen mit ODER-Verknüpfungen zu den einzelnen Merkern, wenn eine Ausgangsanweisung von mehreren Stellen ausgeführt wird.

6. Realisierung

Im Folgenden werden nun die entwickelten Einzelkomponenten zusammengefügt, in Betrieb genommen und getestet. Es wird dabei stufenweise vorgegangen. Nachdem zunächst die Hardware in Betrieb genommen wird, folgt im Anschluss ein Programmtest der einzelnen Programmmodule, dann wird die Bildverarbeitung in Betrieb genommen und am Schluss steht ein kompletter Funktionstest des Automatikbetriebes.

6.1. Inbetriebnahme der Hardware

Die Inbetriebnahme der Hardware umfasst den Schaltschrank der Steuerung mit den Sensoren, Aktoren und der Beleuchtung, sowie die Inbetriebnahme und den Test der Motorcontroller mit den angeschlossenen Linearantrieben mit Hilfe einer Konfigurationssoftware.

6.1.1. Inbetriebnahme des Schaltschranks

Die folgenden Bilder zeigen den realisierten Aufbau des Schaltschranks mit den eingebauten Hardwarekomponenten.

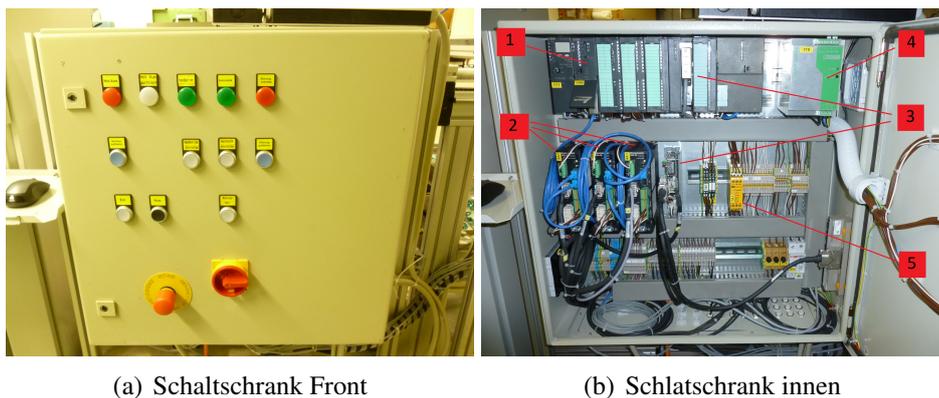


Abbildung 6.1.: Aufbau Schaltschrank

In die Front des Schrankes sind die Anzeige- und Bedienelemente für die Steuerung der Gesamtanlage eingelassen (Bild a). Im Inneren ist im oberen Teil das Automatisierungssystem und das Netzteil für die 24 VDC Lastspannung untergebracht (Bild b, Nummer 1 und Nummer 4). In der Mitte sind die Motorcontroller für die X-, Y-, und Z-Achse (Bild b, Nummer 2), sowie der Controller der Drehachse, der Signale von der FM 353 Baugruppe empfängt, (Bild b, Nummer 3) verbaut. Das Schaltgerät, welches die Not-Aus-Funktion realisiert, ist ebenfalls im mittleren Teil des Schrankaufbaus angesiedelt (Bild b, Nummer 5). Hinzu kommen noch diverse Klemmen und Sicherungen, die sich im unteren und mittleren Teil des Schrankes befinden.

Die folgende Abbildung zeigt die Realisierung der Fernbedienung für den Handbetrieb. Hier sind die Taster für die entsprechenden Funktionen installiert.



Abbildung 6.2.: Fernbedienung für den Handbetrieb

Bei der Inbetriebnahme des Schaltschranks wird zunächst die korrekte Verdrahtung anhand des erstellten Stromlaufplanes sowie der Klemmenbelegungslisten geprüft um anschließend die einzelnen Stromkreise durch das Einschalten der entsprechenden Sicherungen zuzuschalten. Alle relevanten Spannungswerte werden überprüft. Ist diese Funktion soweit gegeben, werden die Sensoren an den Achsen und den sonstigen Aktoren in Betrieb genommen, eine optische Kontrolle durchgeführt, ob diese an den gewünschten Aktorpositionen ansprechen und geprüft, ob die Signale den richtigen Eingängen der SPS zugeordnet sind. Dies geschieht jeweils durch die Kontrolle von Leuchtsignalen sowohl an den Sensoren selbst, als auch an den Eingangskarten der SPS.

Anschließend werden der Bandantrieb des Vorratsbunkers, die Verteileinheit sowie die Beleuchtungsplatte in Betrieb genommen und auf korrekte Funktion getestet.

6.1.2. Inbetriebnahme der Motorcontroller mit Konfigurationssoftware

Nach der Inbetriebnahme der Spannungsversorgung im Schaltschrank, werden die Motorcontroller mit einer mitgelieferten Konfigurationssoftware in Betrieb genommen. Über diese Software werden Parameter, wie zulässige Verfahrgeschwindigkeiten, zulässige Beschleunigungen, das Anfahrverhalten, der Referenzfahrtmodus und vieles mehr eingestellt. Das Handbuch der Motorcontroller im Anhang beinhaltet eine vollständige Übersicht über die einstellbaren Parameter. Mit der Software ist auch ein Verfahren der Achsen sowie das Auslösen der Referenzfahrt, das Auslesen der Fehlerspeicher und das Betrachten von internen Zuständen möglich.

Die Kommunikationsparameter für die MODBUS-RTU-Kommunikation werden ebenfalls mit Hilfe der Konfigurationssoftware festgelegt. Es werden acht Datenbits pro Zeichen verwendet, die Parität zur Fehlererkennung wird auf „gerade“ eingestellt, es wird ein Stopbit verwendet und als Baudrate wird die Standardeinstellung von $19200 \frac{\text{Bit}}{\text{s}}$ verwendet. Diese Einstellungen werden von der SPS als Kommunikationspartner ebenfalls unterstützt. Die Zeiteinstellung für den Time Out, also die Zeit zwischen Sende-/Empfangsaktionen muss laut Handbuch der Controller mindestens 3,5 Zeichen betragen. Bei einer eingestellten Baudrate von $19200 \frac{\text{Bit}}{\text{s}}$ entspricht dies somit einem Zeitwert von mindestens 1,46 ms. Da dies eine Mindestangabe ist, wird für den Time Out eine Zeit von 4 ms eingestellt.

Die Steuerung benötigt zur Umrechnung der von der Bildverarbeitung gelieferten metrischen Entfernungsangaben einen Umrechnungsfaktor für die entsprechende Schrittzahl der X-, Y- und Drehachse. Hierfür wird über die Controller eine eingegebene Anzahl von Schritten gefahren und die Entfernung beziehungsweise der zurückgelegte Winkel ausgemessen. Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse dar.

Achse	Schrittzahl	Entfernung/Winkel	Resultierender Faktor
X-Achse	1000	30 mm	$33,333 \frac{\text{Schritte}}{\text{mm}}$
Y-Achse	1000	30 mm	$33,333 \frac{\text{Schritte}}{\text{mm}}$
Drehachse	1000	20°	$50 \frac{\text{Schritte}}{^\circ}$

Tabelle 6.1.: Ermittlung der Umrechnungsfaktoren von mm in Schritte

Diese resultierenden Faktoren werden zur Berechnung der Schrittzahlen im Steuerprogramm der SPS hinterlegt und verwendet.

6.2. Inbetriebnahme der SPS

Nachdem die Inbetriebnahme der übrigen Hardware abgeschlossen ist, wird das Automatisierungsgerät mit seinen Komponenten in Betrieb genommen. Aufgrund der modularen Struktur des Programmaufbaus kann dabei Stufenweise vorgegangen werden. Die Funktionen werden nach und nach für die SPS freigegeben, wenn sicher ist, dass die Oberfunktionen korrekt ausgeführt werden.

6.2.1. Inbetriebnahme/Test der MODBUS-RTU-Kommunikation

Nach der Einstellung der entsprechenden Kommunikationsparameter Anzahl der Datenbits pro Zeichen, Parität, Stopbits, Time Out und Baudrate, die mit den Einstellungen in den Motorcontrollern übereinstimmen, ist die MODBUS-Kommunikation bei Start der SPS bereits aktiv. Eine korrekt funktionierende Kommunikation mit richtigen Parametern wird durch Kontrolllampen an den Motorcontrollern angezeigt. Zur Überprüfung wird bei allen angeschlossenen Controllern in einem bestimmten Register ein Wert durch die SPS verändert und die Änderung mit der Konfigurationssoftware der Controller, mit der ebenfalls auf die Register zugegriffen werden kann, überprüft.

6.2.2. Programmtest der Betriebszustände „Anlage AUS“ und „Anlage BEREIT“

Es werden die Betriebszustände „Aus“ und „Bereit“ getestet. Die hierfür angelegten Funktionen werden im Anwenderprogramm der Steuerung freigeschaltet und das Verhalten über Variablen Tabellen beobachtet und gesteuert. Es wird dabei die Umschaltung zwischen den Betriebsarten gemäß den Vorgaben im Betriebskopf mit den zugehörigen Signalen getestet. In der Betriebsart „Aus“ werden keine weiteren Aktionen durchgeführt, außer das alle untergeordneten Funktionen abgeschaltet werden. Im Betriebszustand „Bereit“ wird das Quittieren von provozierten Antriebsfehlern der Motorcontroller getestet.

6.2.3. Programmtest/Funktionstest „HANDBETRIEB“

Durch das Freischalten der Funktion für den „Handbetrieb“ ist das Verfahren der Achsen sowie das Ansteuern der sonstigen Aktoren über die Fernbedienung möglich. Alle Aktionen des Handbetriebes werden daraufhin getestet, ob der Tippbetrieb gemäß den Petrinetzen realisiert ist. Für die Antriebe der Linearachsen werden bei dieser Gelegenheit die Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für den Tippbetrieb mit Hilfe der Konfigurationssoftware

der Motorcontroller eingestellt. Diese Geschwindigkeit wird so gewählt, dass ein Positionieren der Achsen auf ± 2 mm problemlos im Tipbetrieb möglich ist.

Des Weiteren werden die Sensoren für die Endlagen der Achsen getestet. Wird ein Endlagensensor durch eine der Achsen erreicht, geht der entsprechende Motorcontroller in Störung, die Betriebsart wird auf „Bereit“ gewechselt und es wird auf eine Quittierung der Störung gewartet. Nach erfolgter Quittierung wird wieder in den „Handbetrieb“ gewechselt.

6.2.4. Programmtest/Funktionstest „HOME/REFERENZIEREN“

Die Funktion für die Betriebsart „Referenzfahrt“ wird freigeschaltet. Aus dem „Handbetrieb“ heraus kann durch Betätigung des entsprechenden Tasters die Referenzfahrt der Achsen ausgelöst werden. Diese wird mit den in den Motorcontrollern hinterlegten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen ausgeführt. Nach Ende der Referenzfahrt wird durch einen Merker der Zustand „Referenziert“ gemeldet und es kann durch den entsprechenden Taster der „Automatikbetrieb“ ausgewählt werden.

6.2.5. Funktionstest der NOT-AUS-Funktion

Wird während der Bewegung einer Achse oder eines sonstigen Aktors der Not-Aus-Taster betätigt, wird die Bewegung unverzüglich unterbrochen und die Anlage geht in den Betriebszustand „Aus“. Erst nach erfolgter Quittierung des Not-Aus-Zustandes kann die Anlage wieder eingeschaltet werden.

6.3. Inbetriebnahme der Bildverarbeitung

Die Installation der Bildverarbeitungssoftware und der Kamera wird durch die bwm GmbH durchgeführt. Im Anschluss erfolgt eine Einweisung in den Umgang mit dem Programm und die Erstellung einer Musteranwendung mit dem in Kapitel 3 vorgestellten Musterteil. Ebenso wird die Kommunikation über **TCP/IP** in Betrieb genommen. Die folgende Abbildung zeigt die Bedienoberfläche der Software. Links unten ist das jeweils aktuelle Bild zu sehen, darüber eine Liste der letzten Auswertungen und Messergebnisse und rechts daneben die Bedienleiste mit unterlagerten Fenstern zur Einstellung.

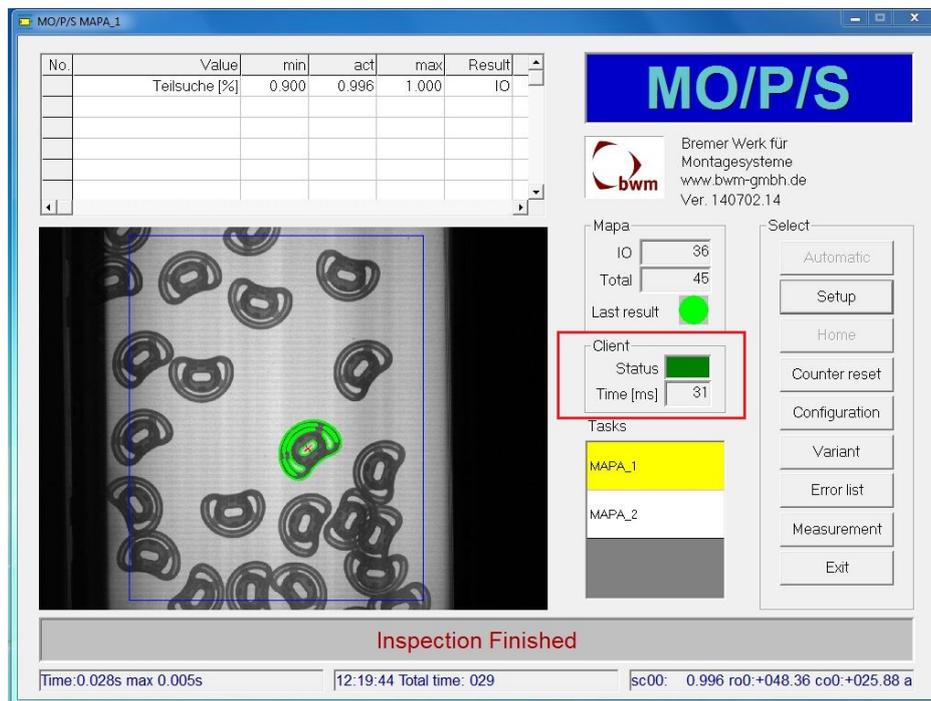


Abbildung 6.3.: Bedienoberfläche Bildverarbeitung

6.3.1. Koordinatentransformation

Mit Hilfe der erstellten Musteranwendung wird nun die Genauigkeit der Bildverarbeitung überprüft sowie der einzutragende Wert für die Umrechnung von Pixelwerten in metrische Daten ermittelt. Hierfür wird eine Musterschablone erstellt und ausgedruckt. Die folgende Abbildung zeigt dieses Musterbild. Der Abstand der eingezeichneten Linien wird ermittelt, das Musterbild auf dem Objektträger in der Kameraaufnahme fläche positioniert und ein Bild aufgenommen. Mit Hilfe der Bildverarbeitungssoftware wird nun der Abstand der Linien zueinander in Pixelwerten ermittelt. Durch die Zuordnung der Pixelwerte zum Abstand in mm wird der Faktor für die Umrechnung ermittelt. Dieser wird in das Bildverarbeitungssystem eingegeben, sodass das System im Anschluss in der Lage ist, der Steuerung die ermittelten Abstandswerte in mm auszugeben. Somit wird gleichzeitig geprüft, ob die Anforderung an die Genauigkeit der Werte erfüllt werden. Der Wert des Drehwinkels zu einer festzulegenden Nulllage wird vom Programm direkt ausgegeben. Hier wird nur die geforderte Genauigkeit überprüft.

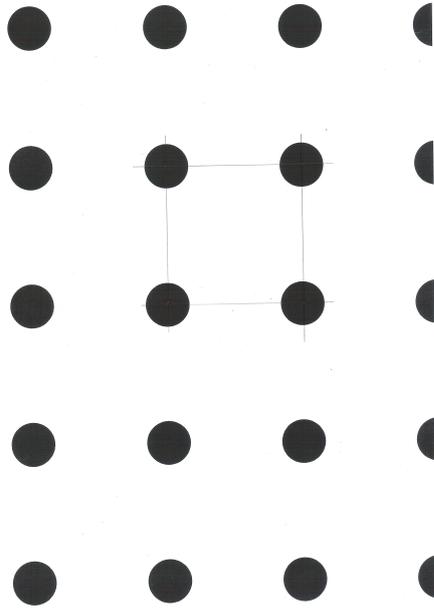


Abbildung 6.4.: Musterbild für die Koordinatentransformation

Die Messungen ergaben folgende Werte.

Achse	metrischer Wert bzw. Drehwinkel	Pixelwert bzw. Drehwinkel	Resultierender Faktor bzw. Abwei- chung vom Winkel
X-Achse	65 mm	204 Pixel	$0,319 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Y-Achse	63 mm	197 Pixel	$0,32 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Drehachse	20°	$20,05^\circ$	$0,05^\circ$

Tabelle 6.2.: Ermittlung der Umrechnungsfaktoren von Pixel in mm

Die ermittelten Faktoren werden in das Bildverarbeitungssystem eingegeben. Die Ausgabe der Werte erfolgt im Anschluss im metrischen System als mm-Angabe. Die geforderte Genauigkeit von $\pm 0,3$ mm für die X- und Y-Achse sowie von $\pm 3,5^\circ$ für die Drehachse werden eingehalten. Die geringfügigen Abweichungen können auf Messfehler und Zeichengenauigkeiten zurückzuführen sein.

Diese Messungen werden so durchgeführt, dass sich das Musterbild zentral in der Bildaufnahme fläche, senkrecht unter der Kamera befindet. Da auf eine Kalibrierung der Kamera

verzichtet wird, muss die folgende Testreihe auf Maßhaltigkeit zeigen, ob die Genauigkeiten auch an den Rändern der Bildaufnahme­fläche eingehalten werden.

6.3.2. Testreihe auf Maßhaltigkeit

Für diese Testreihe werden die Abstände zwischen den Linien auf dem Musterbild auch in den Randgebieten der Bildaufnahme­fläche mit den dort ermittelten Pixelwerten verglichen und der resultierende Faktor, also die mögliche Genauigkeit, ermittelt.

Achse	metrischer Wert bzw. Drehwinkel	Pixelwert bzw. Drehwinkel	Resultierender Faktor bzw. Abweichung vom Winkel
X-Achse	65 mm	158 Pixel	$0,41 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Y-Achse	63 mm	185 Pixel	$0,34 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
X-Achse	65 mm	185 Pixel	$0,351 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Y-Achse	63 mm	183 Pixel	$0,344 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
X-Achse	65 mm	203 Pixel	$0,32 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Y-Achse	63 mm	166 Pixel	$0,379 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
X-Achse	65 mm	155 Pixel	$0,42 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$
Y-Achse	63 mm	180 Pixel	$0,35 \frac{\text{mm}}{\text{Pixel}}$

Tabelle 6.3.: Testreihe Umrechnungsfaktoren von Pixel in mm im Randbereich

Die Testreihe zeigt, dass die Abweichungen im Randbereich durch die fehlende Kalibrierung deutlich ansteigen. Die maximale Abweichung von der geforderten Genauigkeit liegt bei 0,12 mm oder 40 %. Nach Absprache mit der MAPA GmbH sowie der bwm GmbH wird auf eine Kalibrierung für den Prototyp trotzdem verzichtet. Sollte sich im Funktionstest herausstellen, dass die Genauigkeit nicht ausreichend ist, werden die Finger des Greifers entsprechend angepasst.

6.4. Funktionstest Automatikbetrieb

Nachdem alle Teilsysteme der Handhabungseinrichtung in Betrieb genommen sind, wird der Automatikbetrieb mit dem Zusammenspiel von Portal, Steuerung und Bildverarbeitung

getestet. Bei der erstmaligen Ausführung der Betriebsart „Automatikbetrieb“ oder zum Einlernen neuer zu verarbeitender Teile wird die folgende Vorgehensweise abgearbeitet. Zunächst wird eine Referenzfahrt ausgelöst, damit die Achsen referenziert und somit einen definierten Nullpunkt haben. Dieser Nullpunkt muss nun mit dem Nullpunkt der Bildverarbeitung abgeglichen werden. Das Bildverarbeitungsprogramm bietet dafür die Möglichkeit den Pixelnullpunkt zu verschieben. Das zu suchende Teil wird per Hand an exakt der Stelle auf dem Objektträger positioniert, an der sich nach der Referenzfahrt der Mittelpunkt des Greifers befindet. Ein Teil an dieser Position abzulegen ist leicht möglich, indem man nach der Referenzfahrt in „Handbetrieb“ umschaltet, von Hand ein Teil in den Greifer einlegt und dieses mit der Z-Achse auf den Objektträger fährt. Dort wird das Teil vom Greifer losgelassen und die Achsen per Hand aus dem Bildbereich gefahren. Das folgende Bild zeigt das abgelegte Teil in der Nullposition der Achsen.

Das Teil liegt nun in der Nullposition der Achse, ein Bild wird aufgenommen und die zu suchenden Merkmale festgelegt. Die aktuelle Position dieses Referenzteils wird in der Bildverarbeitung als Nullposition festgelegt.

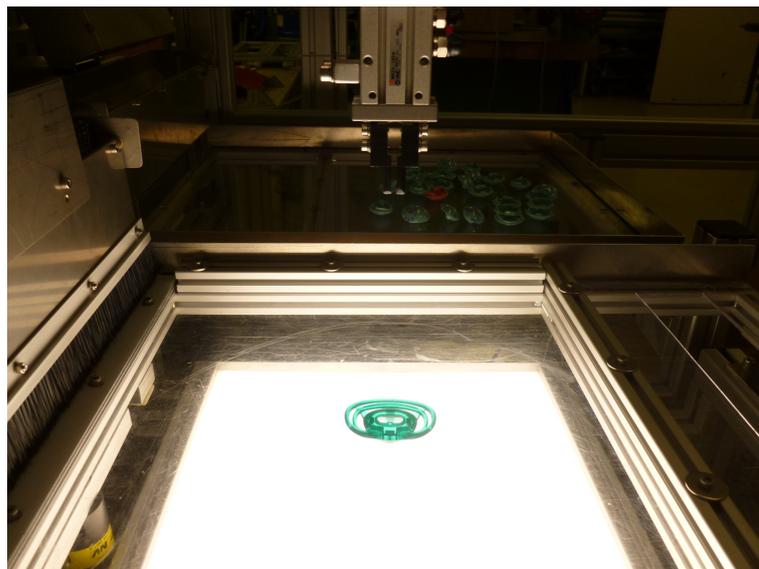


Abbildung 6.5.: Referenzteil in Nullposition

Bedingt durch den zwingenden Ablauf in der Steuerung, direkt im Anschluss an eine Referenzfahrt in die Betriebsart „Automatikbetrieb“ umzuschalten wird nun noch einmal eine Referenzfahrt ausgelöst. Danach wird der „Automatikbetrieb“ ausgewählt und die Handhabungseinrichtung beginnt mit dem automatischen Betrieb.

Die nötigen Schritte zum Einlernen eines neuen Werkstückes werden noch einmal zusammengefasst grafisch dargestellt.

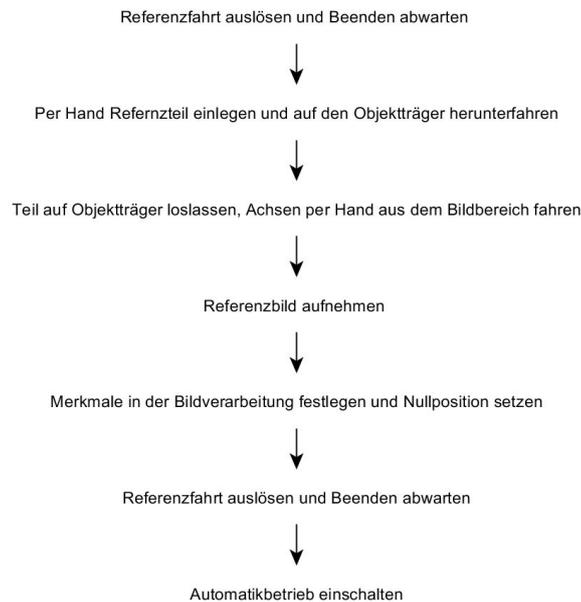


Abbildung 6.6.: Ablauf des Starts des Automatikbetriebes

Bei den ersten Tests stellte sich heraus, dass einige Werkstücke auf dem Objektträger nach dem rütteln und verteilen noch eine Weile nachschwingen. Da eine Bildaufnahme von sich bewegenden Teilen zu fehlerhaften Auswertungen und Messungen führt, wird eine Verzögerungszeit von fünf Sekunden nach jedem Rüttelvorgang in den Programmablauf eingebaut.

Mit dieser Zeitverzögerung verlief der Automatikbetrieb fehlerfrei. Auf der DVD im Anhang befindet sich ein Video, in dem der Automatikbetrieb der Handhabungseinrichtung dargestellt ist.

Durch diese Zeitverzögerung und dadurch, dass aufgrund von Instabilitäten der Halterung der Achsen noch nicht deren mögliche Geschwindigkeit ausgenutzt werden kann, sind zur Zeit nur durchschnittlich neun Werkstücke pro Minute zu verarbeiten. Die geforderte Taktgeschwindigkeit von 12 Werkstücken pro Minute wird nicht erreicht.

6.4.1. Anforderungen und Ergebnisse: Soll-Ist-Vergleich

Anhand der folgenden Tabelle werden die Anforderungen mit den Ergebnissen verglichen.

Anforderung SOLL	Ergebnis IST	Erfüllt/ nicht Erfüllt
Verwendung des vorhandenen Portals	Das vorhandene Portal wird verwendet	Erfüllt
Flexible Lokalisierung der Werkstücke	Verschiedenste Werkstücke können mit der Bildverarbeitung lokalisiert werden	Erfüllt
Steuerung für automatischen Betriebsablauf und Handbetrieb, Wartung und Reparatur durch betriebs-eigenes Personal	Steuerung für automatischen Betriebsablauf und Handbetrieb, Wartung und Reparatur durch betriebs-eigenes Personal möglich	Erfüllt
Variabilität der Steuerung im Bezug auf Greifwerkzeuge und Ablageposition	Beim Austausch der Greifwerkzeuge oder einer Veränderung der Ablageposition müssen nur Konstant- und Offsetwerte in der Steuerung geändert werden	Erfüllt
Taktgeschwindigkeit 12 Werkstücke pro Minute	Aktuelle Taktgeschwindigkeit 9 Werkstücke pro Minute	Nicht erfüllt
Fertigstellung des Prototyp zum 31.07.2014	Fertigstellung des Prototyp zum 31.07.2014	Erfüllt
Zielkosten unterhalb von 40000 Euro	Die Gesamtkosten belaufen sich auf etwa 30000 Euro für den Gesamtaufbau mit Mechanik, Steuerung und Bildverarbeitung	Erfüllt

Tabelle 6.4.: Anforderungen und Ergebnisse: Soll-Ist-Vergleich

7. Zusammenfassung

Das Projekt wird noch einmal kurz zusammengefasst und ein Ausblick auf Entwicklungsmöglichkeiten gegeben.

7.1. Zusammenfassung des Projektes

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Realisierung des Prototypen eines Handhabungsportals. Dieses ist in der Lage aus einer ungeordneten Menge von Werkstücken einzelne zu entnehmen und in bestimmter Ausrichtung in eine Ablageposition zu verfahren. Ein solches Handhabungsportal wird beispielsweise bei der Versorgung von Montagemaschinen mit Einzelteilen eingesetzt. Bisher wurden hier Komplettsysteme von externen Herstellern verwendet, die jedoch nicht vom betriebseigenen Personal gewartet und repariert werden konnten. Da es durch diesen Umstand bereits zu Produktionsausfällen kam, wurde nun ein eigenes System aus Komponenten, deren Technik bekannt und zugänglich ist, entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Vorratsbunkersystem, das eine ungeordnete Menge von Einzelteilen auf einen Objektträger aufbringt. Durch den Einsatz einer Rüttleinrichtung können die Werkstücke auf dem Träger in ihrer Lage verändert und vereinzelt werden. Eine Kamera mit angeschlossener Bildverarbeitung nimmt Bilder der Werkstücke auf dem Objektträger auf und wertet diese aus. Wird ein Teil mit bestimmten Merkmalen gefunden, wird seine Position ermittelt und die Werte an die Antriebe von Linearachsen weitergegeben. Diese Linearachsen, an denen eine Greifvorrichtung montiert ist, fahren die Position des Teils an und holen es vom Objektträger ab. Anschließend wird das Teil an eine bestimmte Ablageposition gefahren.

Für diese Realisierung stand bereits ein mechanischer Aufbau mit der Antriebstechnik der Linearachsen zur Verfügung. Der Auftrag an diese Arbeit war nun die Konzeption und Entwicklung der zugehörigen Bildverarbeitung sowie Steuerungstechnik. Hierfür wurden in der Konzeptionsphase verschiedene Bildverarbeitungssysteme sowie Automatisierungsgereäte verglichen, je ein Geeignetes ausgewählt und die Ansteuerung von Aktoren konzipiert. Anschließend wurde in der Entwicklungs- und Realisierungsphase der Prototyp des Handhabungssystems erstellt und getestet. Hierfür wurden modulare Programme entwickelt, die nötigen Schaltpläne entworfen und der hardwaretechnisch Aufbau des Schaltschranks realisiert.

Die gestellten Anforderungen an das System wurden bis auf eine Ausnahme erfüllt. Die

mögliche Taktzahl des Portals genügt aktuell noch nicht den Anforderungen. Durch mechanische Änderungen am Portalaufbau kann die Taktzahl noch deutlich gesteigert werden sodass davon ausgegangen werden kann, dass die geforderte Taktzahl mit dem automatisierungstechnischen Aufbau und dessen Komponenten erreicht und noch übertroffen werden kann.

Die folgende Abbildung zeigt noch einmal den Gesamtaufbau des Systems.



Abbildung 7.1.: Gesamtsystem

Im Vordergrund befindet sich dabei das Linearportal mit dem Greifer, der über die beiden Objektträger hinweg verfährt. Über den Objektischen befinden sich die Kameras an einem separaten Gestell. An der rechten Seite, hinter den Objektträgern sind die beiden Vorratsbunker erkennbar. Der weiße Schrank am rechten Bildrand beinhaltet den PC für die Bildverarbeitung. Der Schaltschrank für die Steuerungstechnik ist daneben am Portalgestell angebracht.

7.2. Ausblick und Entwicklungsmöglichkeiten

An dem bestehenden Prototyp müssen nun noch weitere Langzeittests durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Software und die Bildverarbeitung auch in längeren Einsatzperioden fehlerfrei funktionieren. Besonders die Maßhaltigkeit, auch in Verbindung mit anderen Greifsystemen und Werkstücken muss noch genauer untersucht werden. Hier könnte es noch nötig sein, eine Kalibrierung der Kamera hinzuzufügen.

Für einen längeren Testbetrieb müssen der Steuerung noch Sicherheitsfunktionen hinzugefügt werden. So muss beispielsweise eine mechanische oder optische Abschränkung dafür sorgen, dass während des Betriebes nicht in sich bewegende Teile gegriffen werden kann.

Des Weiteren kann die zweite Seite des vor Beginn dieser Arbeit bereits bestehenden mechanischen Aufbaus in Betrieb genommen werden. Die Bildverarbeitung und Kameratechnik ist bereits dafür ausgerüstet. Am Schaltschrank und an den Steuerungsprogrammen sind noch Änderungen und Ergänzungen nötig.

Um die geforderte Taktzahl zu erreichen sind noch Änderungen am mechanischen Aufbau nötig. So kann beispielsweise der Rahmen verstärkt und versteift werden um höhere Geschwindigkeiten der Achsen zu ermöglichen und die Oberfläche des Objektträgers verändert werden um ein Nachschwingen der Teile zu verhindern.

Literaturverzeichnis

- [1] ADEPT: *Adept Produkte*. 2014. – URL <http://www.adept.de/produkte/roboter>. – [Online; Stand 15. Mai 2014]
- [2] AOT: *AOT System*. 2014. – URL <http://www.aotsystem.net>. – [Online; Stand 14. Juli 2014]
- [3] BRECHMANN, Gerhard: *Elektronik Tabellen Betriebs- und Automatisierungstechnik*. Westermann Verlag GmbH, 2005 (ISBN: 3-14-235035-2)
- [4] BWM: *bwm MO/P/S*. 2014. – URL http://www.bwm-gmbh.de/bwm-bildverarbeitung_c3a3751e65f232a2/bwm-bildverarbeitung.html. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [5] BWM: *UNIFEED- flexibles Roboterzuführsystem*. 2014. – URL http://www.bwm-gmbh.de/unifeed_2a5887402ebe9734/unifeed.html. – [Online; Stand 15. Mai 2014]
- [6] COGNEX: *VisionPro Vision Software Produktleitfaden*. Cognex Corporation, 2011 (Befindet sich im Anhang)
- [7] COGNEX: *In-Sight Vision Systems Produktleitfaden*. Cognex Corporation, 2012 (Befindet sich im Anhang)
- [8] COGNEX: *Cognex In-Sight*. 2014. – URL <http://www.cognex.com/machine-vision-system.aspx>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [9] COGNEX: *Cognex VisionPro*. 2014. – URL <http://www.cognex.com/PC-vision-software.aspx>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [10] FESTO: *Festo Produktkatalog*. 2014. – URL http://www.festo.com/cat/de_de/products. – [Online; Stand 28. Juli 2014]
- [11] HESSE, Stefan: *Grundlagen der Handhabungstechnik*. Carl Hanser Verlag München, 2013 (ISBN: 978-3-446-43530-8)
- [12] INDAT: *Roboterzellen und Roboteranlagen, individuell geplant und gebaut*. 2014. – URL <http://www.indat.net/roboterzellen-roboteranlagen.php>. – [Online; Stand 15. Mai 2014]

- [13] ITSEEZ: *OpenCV*. 2014. – URL <http://opencv.org/about.html>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [14] JMAK: *A detailed comparison of HALCON vs. Cognex Vision Pro*. 14.07.2014. – URL <http://www.jmakautomation.com/halcon-vs-cognex-visionpro>. – [Online; Stand 22. Juli 2014]
- [15] MECHATROLINK: *Mechatrolink*. 2014. – URL <http://www.mechatrolink.org/en/mechatrolink/feature-m2.html>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [16] MVTEC: *Halcon*. 2014. – URL <http://www.halcon.com/>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [17] NETTER: *Netter Druckluft-Kolbenvibratoren*. 2014. – URL [http://www.nettervibration.com/cms/upload/prospekte/PR-NTS-\[25\].pdf](http://www.nettervibration.com/cms/upload/prospekte/PR-NTS-[25].pdf). – [Online; Stand 20. Juli 2014]
- [18] NEUROCHECK: *NeuroCheck 6.0*. 2013. – URL <http://www.neurocheck60.de>. – [Online; Stand 15. Juli 2014]
- [19] OPENCV.ORG: *OpenCV*. 2014. – URL <http://docs.opencv.org/doc/tutorials/tutorials.html>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [20] OPENCV.ORG: *OpenCV*. 2014. – URL <http://docs.opencv.org>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [21] PICKHARDT, Rainer: *Grundlagen und Anwendungen der Steuerungstechnik*. Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 2000 (ISBN: 3-528-03927-2)
- [22] SCHNELL, Gerhard ; WIEDEMANN, Bernhard: *Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik*. Vieweg + Teubner Verlag, 2008 (ISBN: 978-3-8348-0425-9)
- [23] SENSOPART: *Lichtschranken und Lichttaster*. 2014. – URL <http://www.sensopart.com/de/produkte/lichtschranken-und-lichttaster/lichtschranken/fr20-rg1-psm4.html>. – [Online; Stand 20. Juli 2014]
- [24] SIEMENS: *SIMATIC S7*. 2014. – URL <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/de/simatic-s7-controller/Seiten/Default.aspx>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [25] SPSMAGAZIN: *Produkt-Katalog Mittlere und große SPS-Systeme/Controller (3/2014)*. 2014. – URL <http://www.sps-magazin.de/?inc=mues/formmue&mue=36>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [26] THEIMAGINGSOURCE: *Industriekameras*. 2014. – URL http://www.theimagingsource.com/de_DE/products/cameras/. – [Online; Stand 22. Juli 2014]

- [27] TORDIVEL: *Scorpion Vision Software Version 8 Product Data*. Tordivel/Polytec, 2010 (Befindet sich im Anhang)
- [28] TORDIVEL: *Vision Software Scorpion*. 2014. – URL <http://www.scorpionvision.com/36.html>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [29] VDMA: *Industrielle Bildverarbeitung 2013/14 -Anwendungen-Produkte-Bezugsquellen*. VDMA, 2013 (Befindet sich im Anhang)
- [30] VIPA: *VIPA Steuerungssysteme*. 2014. – URL <http://www.vipa.com/de/produkte/steuerungssysteme/>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [31] WEISSLER, Gerhard: *Einführung in die industrielle Bildverarbeitung*. Franzis Verlag GmbH, 2007 (ISBN: 978-3-7723-4028-4)
- [32] WELLENREUTHER, Günter ; ZASTROW, Dieter: *Automatisieren mit SPS-Theorie und Praxis*. Vieweg+ Teubner Verlag, 2011 (ISBN: 978-3-8348-1504-0)
- [33] WEYRICH, Univ.-Prof. Dr.-Ing. M.: *Überblick der gängigen Bibliotheken/Software zur Automatisierung in der Bildverarbeitung*. 2013. – URL https://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/%C3%9Cberblick_der_g%C3%A4ngigen_Bibliotheken/Software_zur_Automatisierung_in_der_Bildverarbeitung. – ISSN 2195-9986[Online; Stand 18. August 2014]
- [34] WIKIPEDIA: *CC-Link*. 2014. – URL http://en.wikipedia.org/wiki/CC-Link_Industrial_Networks. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [35] WIKIPEDIA: *Modbus*. 2014. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/Modbus>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]
- [36] WIKIPEDIA: *OpenCV*. 2014. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/OpenCV>. – [Online; Stand 21. Juli 2014]
- [37] WIKIPEDIA: *RJ-Steckverbindung*. 2014. – URL <http://de.wikipedia.org/wiki/RJ-Steckverbindung>. – [Online; Stand 5. Juni 2014]

Abkürzungsverzeichnis

BSD Berkeley Software Distribution

BV Bildverarbeitung

CPU Central Processing Unit

DC Direct Current

GigE Gigabit Ethernet

GUI Graphical User Interface

I/O Input/Output

POE PowerOverEthernet

SPS Speicher programmierbare Steuerung

TCP/IP Transmission Control Protocol/ Internet Protocol

VDMA Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau

Formelverzeichnis

Zeichen	Einheit	Erklärung
$X_{\text{abweichung,max}}$	mm	Max. Koordinatenabw. BV in X-Richtung als +/- Wert
$Y_{\text{abweichung,max}}$	mm	Max. Koordinatenabw. BV in Y-Richtung als +/- Wert
$X, Y_{\text{abweichung,max}}$	mm	Max. Koordinatenabw. BV in X-und Y-Richtg. als +/- Wert
$Y_{\text{AbweichungDreh}}$	mm	Max. Abweichung der Drehachse
X_{Greifer}	mm	Breite des Greiferendes
Y_{Greifer}	mm	Tiefe des Greiferendes
$X_{\text{Aussparung}}$	mm	X-Wert der Aussparung im zu greifenden Werkstück
$Y_{\text{Aussparung}}$	mm	Y-Wert der Aussparung im zu greifenden Werkstück
a	°	Max. Koordinatenabweichung BV der Drehachse
R_V	Ω	Größe des Vorwiederstandes Eingänge Drehachse
U_A	V	Ausgangsspannung der Digitalausgänge der Steuerung

A. Anhang

Der Anhang ist auf DVD verfügbar und beim Erst- und Zweitprüfer einsehbar.

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 20. August 2014

Ort, Datum

Unterschrift