



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria



Prozessoptimierung der Produktionsanlage für elektronische Komponenten

DIPLOMARBEIT

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs (Dipl.-Ing.)

unter der Leitung von

Ao.Univ.-Prof. Dr. techn. M. Vincze
Dr. techn. D. Duck

eingereicht an der

TU Wien

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik

von

Ali Manafi Miralilo
<Mtr. 1227908>
<Muthgasse 66>
<1190 Wien>

Wien, Jänner 2020

Vorwort

Bereits mit 14 Jahren, habe ich mich dafür entschieden, im industriellen Bereich zu arbeiten, da ich diese Branche schon immer geliebt habe.

Ich möchte mich zuallererst bei der Technischen Universität Wien bedanken, da sie es mir möglich hat, diese - für mich neue - Welt des industriellen Bereichs genauer kennenzulernen.

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Markus Vincze für die Betreuung dieser Arbeit bedanken.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Ing. Werner Hammer, der mich bei dieser Arbeit von Anfang an intensiv unterstützt hat.

Außerdem möchte ich mich auch ganz besonders bei meiner Lebensgefährtin Shahla bedanken, dass sie mich auf diesem Weg verständnisvoll begleitet und unterstützt hat.

Wien, Jänner 2020

Abstract

Nowadays, companies are under constantly increasing pressure from all sides to improve their success by taking suitable measures. This increasing competition against the rivals is also noticeable in technology and in the development of optimization solutions. Now the challenge is to implement the goals for optimization, such as reducing costs, increasing quality and reducing throughput times, in the best possible way. In this diploma thesis, a production system for electronic components is optimized and improved using the most efficient possible methods. To implement this project, the two methods „Lean Production“ and „Six-Sigma“ are selected, which are the best suited for improving of production plant. The optimization can then be carried out using the so-called „PDCA cycle“. This production plant was built in 2008 and has a number of weaknesses due to the long service life, which are identified, analyzed and fixed using the mentioned optimization methods. The necessary optimizations were developed as parts of a larger project, and a part of this overall project was selected for this thesis. During this ongoing project, I came up with further ideas for improvements on other production points in the company. If the company also approves, I can also implement them.

Kurzzusammenfassung

Heutzutage stehen Unternehmen von allen Seiten unter ständig wachsendem Konkurrenzdruck und versuchen trotzdem ihren Erfolg durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Dieser steigende Wettbewerb gegen die Konkurrenz macht sich auch in der Technologie und bei der Entwicklung von Optimierungslösungen bemerkbar. Die Herausforderung besteht nun darin, die Ziele zur Optimierung, also die Kostensenkung, die Qualitätserhöhung und die Verringerung der Durchlaufzeit, bestmöglich umzusetzen. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird eine Produktionsanlage und ihre elektronischen Komponenten durch möglichst effiziente Methoden optimiert bzw. verbessert. Zur Umsetzung dieses Vorhabens, werden die beiden Methoden „Lean Production“ und „Six-Sigma“ ausgewählt, da sie sich für die zu verbessernde Produktionsanlage am besten eignen. Die Optimierung kann anschließend mit dem sogenannten „PDCA-Zyklus“ durchgeführt werden. Diese Produktionsanlage wurde bereits im Jahr 2008 gebaut und hat durch die lange Nutzungsdauer bereits einige Schwachstellen, die durch die genannten Optimierungsmethoden identifiziert, analysiert und behoben werden sollen. Die notwendigen Optimierungen wurden im Rahmen eines größeren Projekts entwickelt, und ein Teil dieses Gesamtprojekts wurde für die vorliegende Arbeit ausgewählt. Während der laufenden Projektarbeiten, sind mir bei anderen Fertigungsstellen im Betrieb noch weitere Ideen für Verbesserungen eingefallen. Wenn die Firma auch diese genehmigt, kann ich auch diese Projekte umsetzen. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Behebung von Störungen, die Reduzierung unnötiger Prozessschritte sowie der Verschwendung von Zeit und Personalkosten. Denn diese Art von Verlusten bleiben häufig unbeachtet, obwohl sie eine große Belastung für Prozesse mit sich bringen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Kurze Beschreibung der Produktionsanlage	1
1.2	Herausforderungen	2
1.3	Vorgehensweise	4
1.4	Erwartbare Ergebnisse	4
1.5	Aufbau der Arbeit	5
2	Grundlagen	7
2.1	Prozessbegriff	7
2.2	Prozessoptimierung	7
2.2.1	Motivation	8
2.2.2	Vorgehensweise	9
2.2.3	Ansätze der Prozessoptimierung	10
	Revolutionäre Prozessoptimierung	10
	Evolutionäre Prozessoptimierung	11
2.2.4	Übliche Optimierungsansätze in der Produktionsanlage	11
	TCT-Methode	11
	Kaizen-Methode	13
	Lean Production	13
	Six-Sigma-Methode	15
	Vergleichen	15
2.2.5	Ständige Prozessverbesserung	16
2.2.6	Reduzierung von Verschwendungen	16
2.2.7	PDCA-Zyklus	17
	Konzept	17
	Vorgehensweise	18
2.3	Bildverarbeitung	19
2.3.1	Industrielle Bildverarbeitung	20
2.3.2	Hardware	21
	Beleuchtungssystem	21
	Grundbeleuchtungsarten	23
	Digitalkamera mit Bildgebendem Sensorsystem	23
	Computer	24

2.3.3	Software	25
	Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung	25
	OpenCV Geschichte	25
2.3.4	Digitale Bildverarbeitung	26
	Kantenerkennung	29
3	Bestehender Prozess und Optimierungen	32
3.1	Unternehmen	32
3.2	Produktionsanlage für elektronische Komponente	32
3.2.1	Batterieblister Beladeband	33
3.2.2	Kamerastation	34
	Winkelkontrolle der BatteriefüÙe	34
	Qualitätskontrolle	34
3.2.3	Rundtakttisch	34
3.2.4	ABB Roboter	35
	IRB120 als Batteriemaniplulator	36
	IRB120 als Übergabemaniplulator	36
	IRB1600 als Verpackungsmaniplulator	37
3.2.5	Sicherheitstüre	37
3.3	Istmodellierung	37
3.3.1	Wertschöpfungskettendiagramm	38
3.3.2	Flussdiagramm	38
3.4	Ist-Zustandsanalyse	39
3.4.1	Ist-Aufnahme	44
	Auswertung vorhandener Unterlagen	44
	Workshop	44
	Befragungen	45
	Beobachtung	46
3.4.2	Analyse des alten Prozesses	46
	Ist-Analyse unter Verwendung vorhandener Unterlagen	46
	Ist-Analyse unter Verwendung des Workshops	47
	Ist-Analyse unter Verwendung der Befragungen	48
3.5	Identifikation der Schwachstellen	49
3.5.1	Schnittstellen	49
3.5.2	Kamerastation	50
3.5.3	Rundtakttisch	52
3.5.4	Verpackungsstation	52
3.5.5	Sicherheitstüre	53
3.6	Schwachstellenanalyse und Optimierung	54
3.6.1	Schnittstellenoptimierung	54
	Profinet	54

	Unterschied zwischen Profibus und Profinet	55
3.6.2	Optimierung in der Bildverarbeitung	57
3.6.3	Optimierung des Rundtaktisches	62
3.6.4	Optimierung der Sicherheitstüre	62
3.7	Bildverarbeitungssoftware	63
3.7.1	Softwareoberfläche	63
	1: Auswahlfeld für Objekt-Winkelerkennung	63
	2: Tools	63
	3: Kommunikationsfeld	65
	4: Kamerabedienfeld	65
3.7.2	Objekterkennung	65
3.7.3	Winkelmessung eines Objekts	65
	Algorithmus des Verfahrens	67
3.8	Optionale Erweiterung der Optimierung	68
3.8.1	Optimierung durch Bedienprogramm	68
3.8.2	Optimierung in der Verpackungsstation	70
	Optimierung durch Programmänderung auf HMI	71
3.8.3	Optimierung durch Bildverarbeitungsprogramm	72
	Evaluation des Bildverarbeitungssystems	73
3.9	Bewertung der Optimierungen	74
4	Fazit	77
4.1	Ausblick	77

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ansicht der Produktionsanlage. (Firma Kapsch)	5
2.1	Grundstruktur eines betrieblichen Prozesses(Rudolf Wilhelm, 2009 S. 1).	8
2.2	Spannungsdreieck: Qualität - Kosten - Zeit. Kostka und Kostka (2017, S. 14)	9
2.3	„Bedeutung des Begriffs KAIZEN in Japan und der Deutschen Übertragung. (KAIZEN nach KAIZEN-Institut of Europe und Siemens AG, ElektronikwerkKarlsruhe = EWK)“. Susanne Koch (2011, S. 127)	13
2.4	„Heijunka Produktionssteuerung“. Torsten Becker (2005, S. 30) .	15
2.5	Die vier Phasen des PDCA-Zyklus. Kostka und Kostka (2017, S. 37)	19
2.6	Aufbau eines typischen Bildverarbeitungssystems. Burkhard Neumann(2005, S. 5)	21
2.7	Grundbeleuchtungsarten.(Angelika Erhardt. (2008, S.25)	24
2.8	Funktionsweise eines Filters.	27
2.9	Durch Mittelwertfilter abgearbeitetes Bild.	28
2.10	Glättung eines Bilds durch Gauß-Filter mit verschiedener σ . . .	29
2.11	Intensitätsänderung und ihre Ableitung. Burger und Burge(2006, S. 118)	29
2.12	3 Schätzung der ersten Ableitung bei einer diskreten Funktion. Der Anstieg der Geraden durch die beiden Nachbarpunkte $f(u-1)$ und $f(u+1)$ dient als Schätzung für den Anstieg der Tangente in $f(u)$. Die Schätzung genügt in den meisten Fällen als grobe Näherung[17] (Burger und Burge)..	30
3.1	Batterieblister Beladeband.	34
3.2	Kamerastation.	35
3.3	Rundtaktisch. (Firma Kapsch)	35
3.4	ABB Roboter IRB120 als Batteriemaniplulator.	36
3.5	ABB Roboter IRB120 als Übergabemaniplulator.	37
3.6	Eine Sicherheitstür als Beispiel. (Firma Kapsch)	38
3.7	Wertschöpfungskettendiagramm eines Teil des Unternehmens. .	39

3.8	Flussdiagramm des Rundtakttisches.	40
3.9	Flussdiagramm des Batteriemaniplator.	41
3.10	Flussdiagramm des Übergabemaniplator.	42
3.11	Flussdiagramm der Kamera und Verpackungsmanipulator.	43
3.12	Profibus DP-Verbindung-Adresse einstellen (Siemens AG)	47
3.13	Profinet Netzwerk und Beispiele der Adresse (Siemens AG)	55
3.14	Verwendungsvergleich zwischen Profibus und Profinet seit 2005 (Siemens AG)	57
3.15	CP-Karte für STEP7-400 Serie (Siemens AG)	58
3.16	Zeitverlaufdiagramm der Kamera (Keyence)	59
3.17	Ausführungszeit der Kameras	60
3.18	BatteriefüÙe vor der Optimierung.	61
3.19	BatteriefüÙe nach der Optimierung.	61
3.20	SicherheitstüÙrschalter vor und nach der Optimierung (Firma EUCHNER).	62
3.21	SoftwareoberfläÙe.	64
3.22	Darstellung einer Linie. Vgl. Bernd Jähne (2012, S. 552)	66
3.23	Kartesisches und Polar-Koordinatensystem. Vgl. Burger und Burge (2006, S. 161)	67
3.24	Implementierte Bildverarbeitungssoftware.	70

Tabellenverzeichnis

2.1	Unterschiede der beiden Optimierungsansätze (Pohanka 2014, S. 23).	12
3.1	Einige Beispiele der Gerätenamen und Adressen. (Siemens AG)	56
3.2	Verschwendungen und Verluste vor der Optimierung.	76
3.3	Verschwendungen und Verluste nach der Optimierung.	76

1 Einleitung

Nach dem starken Technologiewachstum in den vergangenen Jahren, hat sich auch die Globalisierung soweit entwickelt, dass die neuen wirtschaftlichen Spielregeln, sowohl neue Marktchancen, als auch neue Herausforderungen für die Unternehmen gebracht haben. Vor allem aber, müssen sich die Firmen gegen die weltweite Konkurrenz auf den Märkten durchsetzen. Die Unternehmen können in diesem Wettbewerb nur gewinnen, wenn sie die wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen annehmen. Um der weltweit starken Konkurrenz entgegenzutreten, müssen die Unternehmen ihre traditionellen Verfahren und Methoden ändern und sich an den neuen globalisierten Märkten ausrichten. Aus diesem Grund, können die Unternehmen nicht sicher sein, dass ihre Produkte sich ohne merkbare Veränderungen in den Geschäftsprozessen lange Zeit verkaufen. Um die Veränderungen, wie Preis, Qualität, Lieferzeit usw. zu realisieren, mussten die Unternehmen neue Pläne entwickeln. Eine vernünftige Lösung für diese Veränderungen, kann durch Prozessoptimierung bzw. Prozessverbesserung der Unternehmen konzipiert werden. Mit Hilfe der Prozessoptimierung sollen die Kosten reduziert, sowie die Qualität erhöht und die Produktionszeit verringert werden. Durch die Reduzierung der Produktionszeit kann die Lieferzeit der Produkte bis zu den Kunden verkürzt und damit die Zufriedenheit der Kunden erhöht werden. Andererseits ist der Unternehmenserfolg, auch eng mit der Flexibilität verbunden, wie auf die Wünsche der Kunden eingegangen werden kann[1]. Durch diese Art der Flexibilität, können die Unternehmen auch einen besseren Service für ihre Kunden anbieten. Mit diesem Ziel werden durch Prozessverbesserung heutzutage ungeplante Störungen, Zeitverlust, und Verzögerungen identifiziert, analysiert und anschließend dauerhaft behoben.

1.1 Kurze Beschreibung der Produktionsanlage

Die Produktionsanlage, die optimiert werden soll, besteht aus einem Rundtisch, den Förderbändern, den Robotern und einer Lötstation, die durch die automatisierte Zusammenarbeit, eine elektronische Komponente zusammenbauen müssen. Die Elemente bzw. Teile dieser Komponente, werden an definierten Stellen im Prozess geladen und durch den Rundtisch für die zuständige Station zur Verfügung gestellt. Bei jeder Umdrehung des Tisches fährt der

Prozess um einen Schritt weiter. Nach einer gewissen Anzahl der Umdrehungen des Tisches bzw. nach Abschluss des Zyklus wird das Endprodukt in der Endstation verpackt. Abbildung 1.1 veranschaulicht diese Tatsache besser.

1.2 Herausforderungen

Jede Produktionsanlage besteht aus verschiedenen Maschinen, die normalerweise miteinander verbunden und automatisiert sind. In vielen Fällen sind sie auch komplex und schwer zu verstehen, weil sie vor mehreren Jahren durch andere Firmen und anderes Personal gebaut wurden. Auf Grund der Verschwendung von Zeit, Leistung und Kosten durch Fehler, unnötige Abläufe und Warte- und Stillstandszeiten, sind die einzelnen Prozessschritte große Herausforderungen in den Produktionsanlagen. Dies gilt besonders im Bereich der Fertigungstechnik. Um die Wichtigkeit der Durchlaufzeit besser zu illustrieren, werden im Folgenden einige Punkte, die direkt mit den Prozessschritten und der Durchlaufzeit zu tun haben, skizziert.

- „Eine Störung in den einzelnen Prozessteilen, kann den ganzen Prozess, sogar die ganze Produktionsanlage beeinflussen.
- Die Geschwindigkeit der Produktionsanlage wird durch den langsamsten Schritt bestimmt.
- Eine genaue Taktzeit spielt eine sehr wichtige Rolle und muss stetig unter Beobachtung bleiben.
- Alle Prozessschritte müssen immer genau beachtet werden, weil sich jedes fehlende Signal auf den ganzen Prozess bzw. die Durchlaufzeit auswirken kann.“¹

Die bedeutende Rolle der Taktzeit zeigt sich besonders in den Produktionsanlagen, die mit einem Rundtaktisch ausgestattet sind. In solchen Anlagen sind die Maschinen und der Rundtaktisch abhängig voneinander. In anderen Worten kann diese Tatsache so interpretiert werden, dass eine langsame Maschine den ganzen Prozess verlangsamen oder in Störung bringen kann. Das bedeutet, dass jede Maschine in einem vorher definierten Zeitintervall, seine Aufgabe erledigen und auf den nächsten Zyklus warten muss. Es hat bereits Situationen gegeben, in denen das Bildverarbeitungssystem sich nicht mit dem System synchronisieren konnte und den Prozessablauf störte oder in Asynchronität brachte, was für Produktionsanlagen äußerst ungünstig ist.

¹Vgl. Bernd Ebert (2018, S. 110).

Im Prinzip war das Problem bei der alten noch bestehenden Anlage, dass ein gleichzeitiger Trigger der Kameras, dazu führte, dass bei jedem Takt alle Kameras ausgelöst wurden und damit alte Information, die noch gebraucht wurden, verloren gegangen sind. Außerdem gibt es Arbeitsgänge, bei denen nur eine Kamera getriggert werden muss, um einen Zwischenschritt des Roboters zu realisieren.

Ein anderer Punkt, auf den man heutzutage achten muss, ist die Dezentralisierung. Zentrale Steuerungen, die noch in Unternehmen in Betrieb sind, benötigen mehr Leistungen, wie beispielsweise Personal. Außerdem bieten sie auch keine geeigneten Visualisierungen. Die verwendeten Schnittstellen bei den alten zentralen Produktionsanlagen waren oft serielle Schnittstellen oder Ein-Ausgangskarte, die auf keinen Fall für große Datenübertragung geeignet waren. Aus diesem Grund war es notwendig, diese existierenden Schnittstellen durch Schnittstellen neuerer Generation zu ersetzen, um somit z.B. Bilder übertragen zu können. Wenn es um ein Bildverarbeitungssystem geht, ist es wünschenswert, wenn das Personal der Kontrollabteilung die aufgenommenen Bilder oder Messungen sehen kann, um darauf reagieren zu können. Das Problem wird sichtbar, wenn man es mit industriellen PCs zu tun hat, die für spezielle Aufgaben, wie die Verarbeitung mit hoher Leistung entwickelt worden sind und zwar einen Bildschirm, jedoch weniger Speicherplatz und keine zusätzliche Grafikkarte bieten. Als Beispiel nehmen wir an, dass zuständige Mitarbeiter die aufgenommenen Bilder kontrollieren wollen. Die Bildverarbeitungssysteme haben normalerweise einen kleinen Bildschirm vor Ort oder gar nichts. Um ein Bild anzuschauen muss man vor Ort gehen und das Programm, entweder mit diesem kleinen Bildschirm oder mit dem Laptop bedienen. Das ist nicht optimal, weil inzwischen Fehler auftreten und die Einstellungen dementsprechend geändert werden können.

Am Ende des Prozesses gibt es Schwierigkeiten bei der Befüllung der einzelnen Zellen der Kartons. Die elektronische Komponente muss durch den Roboter abgeholt und in die einzelnen Zellen reingelegt werden, wobei diese manchmal runterfällt oder in der Zelle schief liegt. Dieses Problem nimmt besonders viel Personalleistung in Anspruch, da die gefüllten Kartons immer kontrolliert werden müssen und falls es leere Zellen gibt, diese auch gefüllt werden müssen. Zusätzlich muss jede einzelne Seriennummer der Komponente eingetragen werden. Wie man schnell bemerkt, wird diese Vorgehensweise zu einer Überlastung für den Prozess.

1.3 Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist es, auf der Basis des bestehenden Prozesses, bei der elektronischen Produktionsanlage, die in Abbildung 1.1 zu sehen ist, die Veränderungen, die zur Prozessoptimierung bzw. Prozessverbesserung führen, zu entwickeln. Wie es bereits vorher ausführlich beschrieben wurde, ist die Taktzeit eine der wichtigsten Punkte, auf die man achten muss, weil sie mit dem Ablauf des Prozesses zu tun hat. Um eine bessere Taktzeit zu realisieren und quasi das ganze System besser zu synchronisieren, musste das alte Bildverarbeitungssystem und der alte Elektromotor des Rundtaktisches gewechselt werden. Nur so, konnten die Störungen, die durch den alten Zustand dieses Systems aufgetreten sind, bestmöglich behoben werden. Während des Umbaus dieses Systems, mussten auch die zugehörigen Programme auf beiden Seiten, also SPS und die gewechselten Systeme, verändert oder neu programmiert werden.

Im nächsten Schritt der Prozessverbesserung, geht es um die Schnittstellen. In diesem Fall sollten die seriellen Schnittstellen, die in Betrieb waren, mit einer neuen Generation also Profinet ersetzt werden. Mit Hilfe des Profinets konnte man die Dezentralisierung realisieren und damit große Datenmengen, wie Bilder oder gemessene Informationen einfacher übertragen. Die Dezentralisierung hat den Vorteil, dass man die zur Verfügung gestellten Daten, überall - unter Verwendung der üblichen Server wie FTP-Server - der in diesem Fall auch verwendet worden ist, hinsenden oder empfangen kann. Dazu wird ein Monitoring und-Bedienprogramm, das im Kapitel 3 (Siehe Abschnitt Abschnitt 3.8.1) genauer beschrieben wird, und dabei hilft, das Bildverarbeitungssystem besser zu bedienen, implementiert.

Das Ende jedes Prozesses ist ebenso wichtig, weil die Endprodukte hier verpackt und danach zu den Kunden geliefert werden. Das Problem in dieser Station ist es, dass der Roboter nicht die leeren Zellen automatisch besetzen kann. Deshalb wurde eine neue Bedienseite auf dem HMI² implementiert, damit mit Hilfe der SPS der Roboter die leeren Zellen wieder befüllen kann. Dazu wurde eine Bildverarbeitungssystem empfohlen und eine Dummy-Software implementiert, damit die Software solche Situationen erkennen kann und auch Open-Source ist. Der Grund warum so ein Bildverarbeitungssystem erforderlich wurde, wird in den Abschnitten 3.8 und 3.9 genauer beschrieben.

1.4 Erwartbare Ergebnisse

Durch die Erneuerung des Bildverarbeitungssystems, des Elektromotorsystems vom Rundtaktisch und Veränderungen in den Programmen, kann sowohl die

²Human-Machine-Interface

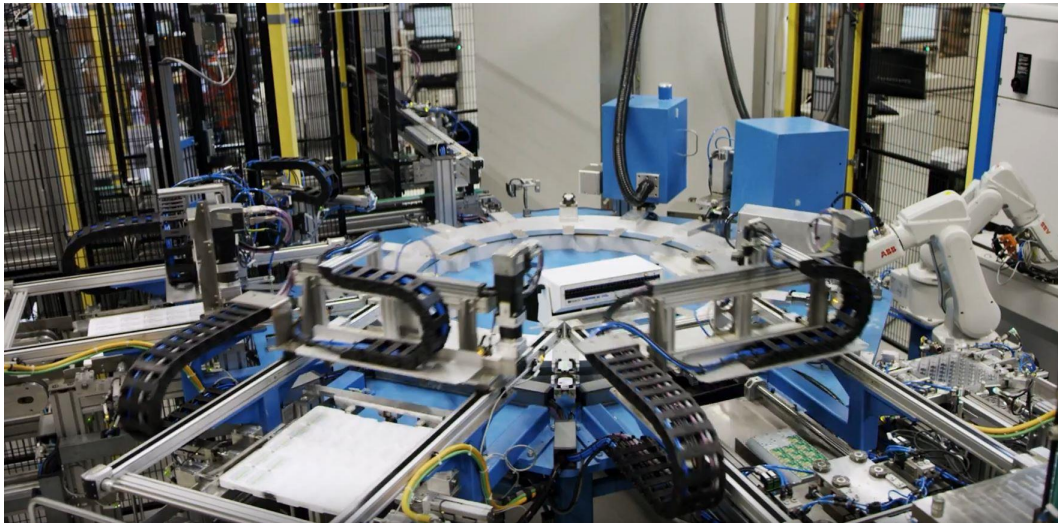


Abbildung 1.1: Ansicht der Produktionsanlage. (Firma Kapsch)

Taktzeit des ganzen Systems, als auch die Qualitätskontrolle und Visualisierung viel besser durchgeführt werden. Besonders mit dem Profinet kann die Echtzeit des Systems besser realisiert werden. Eine bessere Instandhaltung und Visualisierung kann durch neue Schnittstellen also Profinet einfacher und besser realisiert werden. Das Monitoring- und-Bedienprogramm ermöglicht ein fernes Kontrollsystem, dass man immer den Teil des Prozesses, der mit Bildern zu tun hat, besser beobachten und darauf reagieren kann. Denn manchmal ist für einen kleinen Fehler, nur eine Bestätigung nötig. Und wenn man die Bilder im Kontrollraum schnell ansehen kann, kann der Fehler einfach bestätigt werden. So kann der Prozess einfach weiterlaufen, und damit viel Zeit gespart werden. Mit der implementierten Seite auf dem HMI kann das Problem der leeren Zellen gelöst werden. Aber es wird noch nicht ganz automatisch funktionieren, weil noch jemand auf dem HMI die leeren Zellen bekanntgeben muss.

1.5 Aufbau der Arbeit

Nachfolgend werden im Kapitel 2, die Grundlagen der Arbeit beschrieben. Dieses Kapitel besteht aus zwei Teilen: Im ersten werden die Prozessoptimierungsverfahren und ihre möglichen Ansätze beschrieben. Und im zweiten Teil geht es um die Beschreibung der Bildverarbeitung, die im industriellen Bereich

gegenwärtig häufig genutzt wird. In Kapitel 3 wird zu Beginn die Produktionsanlage vorgestellt, die optimiert werden soll. Nach Beschreibung der Anlage, wird der Prozess modelliert und analysiert (siehe die Abschnitte Abschnitt 3.3 und Abschnitt 3.4). Durch die Durchführung der Modellierung und Analyse erhalten wir Ergebnisse, mit denen die Schwachstellen identifiziert werden können (siehe Abschnitt Abschnitt 3.5). Im nächsten Schritt werden diese analysiert und der Prozess bestmöglich optimiert bzw. verbessert (siehe Kapitel Abschnitt 3.6 und Abschnitt 3.8). Im Abschnitt 3.9 werden die durchgeführten Optimierungen bewertet. Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Ergebnissen, die durch diese Arbeit erreicht werden konnten.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden einige Grundlagen, die bei der Diplomarbeit hilfreich sein konnten, beschrieben.

2.1 Prozessbegriff

„Ein Prozess ist eine Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System, durch die Materie, Energie oder Information umgeformt, transportiert oder gespeichert wird. Ein technischer Prozess ist ein Prozess, dessen physikalische Größen mit technischen Mitteln erfasst und beeinflusst werden.“¹. Ein Prozess besteht aus mehreren Schritten, die in einer bestimmten Reihenfolge durchgeführt werden. Durch den Prozess bzw. die einzelnen Schritte (Tätigkeiten) werden definierte und gewünschte Ergebnisse erwartet. Als Ergebnis des Prozesses kann ein bearbeitetes Objekt oder eine Einheit, die aus mehreren Teilen besteht, genannt werden[2]. Die Beziehung zwischen Eingang und Ausgang eines Prozesses ist als Input-Output-Beziehung bekannt. Ein Eingang in dieser Vorgangsweise, die in Abbildung 2.1 veranschaulicht ist, kann die Anfrage eines Kunden oder ein bestimmtes Produkt sein, das am Markt verlangt wird. Beispielsweise kann durch die Anfrage eines Kunden ein Prozess ausgelöst werden. Dies bedeutet einen Eingang (z.B. eines Objekts) in den Prozess, dass das Objekt bearbeitet werden muss und quasi ein Angebot für diesen Kunden erstellt werden muss, damit der Prozess abgeschlossen werden kann. Noch einmal zusammengefasst ist gemeint, dass ein Objekt als Eingang betrachtet wird, alle Vorgänge an diesem Objekt ausgeführt werden und am Ende ein fertig bearbeitetes Objekt zur Verfügung steht[3].

2.2 Prozessoptimierung

Wenn über Prozessoptimierung gesprochen wird, denkt man normalerweise an Reduzierungen, die beispielsweise Durchlaufzeit, Prozesskosten usw. sein können[4]. An dieser Stelle muss betont werden, dass während der Optimierung, die Qualität des Prozesses bzw. der Produkte nicht geopfert werden darf,

¹Rudolf Lauber (1989, S. 2)

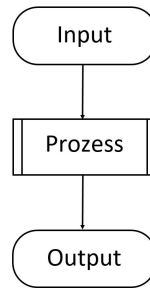


Abbildung 2.1: Grundstruktur eines betrieblichen Prozesses(Rudolf Wilhelm, 2009 S. 1).

weil das genau zu gegenteiligen Ergebnissen führen kann, nämlich, dass die Ergebnisqualität sinkt[5]. Ein weiteres Problem, das bei Prozessoptimierungen auftreten kann, ist die Auswahl des richtigen Optimierungsansatzes, denn es gibt eine hohe Anzahl verschiedenartigster Ansätze. Eigentlich ist es die Aufgabe der Prozessoptimierung den die geeignetsten Ansatz zu identifizieren, ihn durchzuführen und so die beste Lösung umzusetzen[6].

2.2.1 Motivation

Früher haben sich die Unternehmen zwar stark auf die Entwicklung ihres Unternehmens konzentriert, jedoch wurden die Prozessabläufe nicht ausreichend beachtet und dies hatte im Endeffekt unstrukturierte Prozesse zum Ergebnis. Heutzutage hingegen, spielt Prozessoptimierung eine wichtige und bedeutende Rolle in beinahe allen Branchen und Unternehmen. Die große Anzahl der Verkäufer und auch weltweites Netzwerkmarketing haben die Auswahlmöglichkeit für die Kunden massiv erhöht. Dieser Umstand führte zu einem starken Wettbewerb zwischen den Verkäufern. Unter diesem starken Konkurrenzdruck, müssen die Unternehmen ihre Produkte schnell produzieren und auch verkaufen. Darüber hinaus muss aber auch die Qualität der Produkte erhalten bleiben. Um sich an den Markt anzupassen, sind die Unternehmen gezwungen sich etwas zu überlegen, um sich von anderen Verkäufern so abzuheben, damit der Kunde darin einen Vorteil für sich findet. Um dieses Ziel zu erreichen, wird die Prozessoptimierung nicht nur empfohlen, sondern sie ist unbedingt erforderlich. Dazu müssen auch die wirtschaftlichen Regeln des Unternehmens genau beachtet und überlegt werden, ob die Konkurrenz in einem bestimmten Bereich überhaupt sinnvoll ist[7].

Die Beziehung dieser Ziele zueinander ist in Abbildung 2.2 durch ein Dreieck dargestellt. Gelegentlich wird dieses Dreieck auch als magischen Dreieck benannt. Wie in dieser Abbildung dargestellt, kann eine Veränderung jeder



Abbildung 2.2: Spannungsdreieck: Qualität - Kosten - Zeit. Kostka und Kostka (2017, S. 14)

einzelnen dieser Parameter, sich umgehend auf die zwei anderen Faktoren des Dreiecks auswirken. Als Beispiel wird angenommen, dass ein Unternehmen seine Prozesskosten durch Entlassung einiger Mitarbeiter gesenkt. Diese Kostenreduzierung kann sich direkt auf die Qualität des Produkts auswirken, weil andere Mitarbeiter mehr und schneller arbeiten müssen und daher wahrscheinlich ungenauer arbeiten. Hier einen geeigneten Kompromiss zwischen den definierten Zielen des Unternehmens und der Beeinflussung dieser auf einzelne Parameter muss geprüft werden und ist sicher nicht so einfach².

2.2.2 Vorgehensweise

Die Prozessoptimierung kann wie folgt durchgeführt werden³:

- Projekt definieren :

Um ein Optimierungsprojekt zu definieren, werden - meist von Konstruktionsabteilungen - zuallererst die Ziele des Projekts bestimmt und dazu ein Projektleiter als verantwortliche Person festgelegt. Die Person soll während der Durchführung des Projekts alle Maßnahmen treffen und das Projekt organisieren. Nach der Definition des Projektes kann das Projektteam, je nach Erfahrung und Ausbildung, ausgewählt werden. Das Projektteam ist für die Durchführung des Projekts verantwortlich und sie müssen genauestens über die Ziele des Projekts bzw. der Optimierungen informiert werden.

- Prozess verstehen :

Normalerweise sind Dokumente die erste Quelle, einen unbekanntem Prozess zu verstehen und im Normalfall stehen solche Dokumente und

²Vgl. Torsten Becker (2005, S. 12)

³Vgl. Torsten Becker (2005, S. 73).

Unterlagen zur Verfügung. Bei jedem Projekt gibt es Mitarbeiter, die den laufenden Prozess sehr gut verstehen und wertvolle Informationen für das Projektteam bereithalten, damit dies den Ablauf besser verstehen können.

- Prozess verbessern :

In dieser Phase ist es üblich, dass die Leistung und Qualität des Prozesses erhöht wird, sowie Fehler, unnötige Abläufe, parallele Schritte, Verzögerungen und lange Durchlaufzeiten reduziert werden. Auch der Automatisierungsgrad fällt in diese Kategorie und ist ein zentrales Thema in heutigen Industrieunternehmen.

- Messen und überwachen :

Das Ziel dieses Schrittes ist die Überwachung der verbesserten Punkte, die durch den vorherigen Schritt realisiert wurden. Dafür braucht man die Kennzahlen des Prozesses, damit die Ergebnisse und die Gültigkeit der Verbesserungen überprüft werden können.

- Kontinuierlich verbessern :

Nach Durchführung der vorigen Schritte ist es notwendig, dass der Prozess regelmäßig überprüft und die eintretenden Probleme beseitigen werden. Die Ausbildung des zuständigen Personals fällt auch in diese Kategorie.

2.2.3 Ansätze der Prozessoptimierung

In der Regel unterscheidet man zwischen zwei generellen Ansätzen zur Prozessoptimierung, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Revolutionäre Prozessoptimierung

Wie man aus dem Namen bereits erkennen kann, basiert die Revolutionäre Prozessoptimierung auf dem Konzept einer starken Umstrukturierung des Unternehmens bzw. der Anlagen[8]. Der Ansatz stammt ursprünglich aus den USA und wurde durch die Zusammenarbeit von Hammer⁴ und Champy⁵. Laut Hammer und Champy ist Business Reengineering ein fundamentales Überdenken und radikales Redesign von Unternehmen oder wesentlichen Unternehmensprozessen. In anderen Worten, handelt es sich dabei um ein fundamentales Überdenken und radikales Umstrukturieren von Unternehmen oder Prozessen.

⁴[https://de.wikipedia.org/wiki/Michael_Hammer_\(Wirtschaftswissenschaftler\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Michael_Hammer_(Wirtschaftswissenschaftler)) - (Stand: 17. August 2019)

⁵https://de.wikipedia.org/wiki/James_A._Champy - (Stand: 17. August 2019)

Und zwar so, dass der ganze Prozess durch diese Veränderungen beeinflusst wird. Das Risiko dieses Ansatzes ist jedoch, wegen der gesamten Neugestaltung des Prozesses sehr hoch, da er den ganzen Prozess zum Scheitern bringen kann. Die Revolutionäre Prozessoptimierung, die im Englischen als Process reengineering oder PR-Method bekannt ist, wird auch Prozesserneuerung genannt[9].

Evolutionäre Prozessoptimierung

Unter Evolutionärer Prozessoptimierung, versteht man die Veränderung der Prozesse in kleinen Schritten, die kontinuierlich durchgeführt werden[9]. Im Gegensatz zur oben genannten Revolutionären Prozessoptimierung, konzentriert man sich bei dieser Art der Prozessoptimierung auf Prozessverbesserung. Bei diesem Ansatz werden die Probleme, Schwachstellen und Fehler betrachtet, die durch geeignete Verbesserungen behoben werden sollen[10]. Bei Bedarf kann diese Vorgehensweise im alltäglichen Prozessablauf durch die Führungskräfte und ihre Mitarbeiter durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass die Prozessverbesserungen durch die Gemeinheit verfolgt werden. Wegen der hohen Komplexität der Prozesserneuerung wird in vielen Fällen die Prozessverbesserung empfohlen und angewendet.

Einige Unterschiede zwischen den oben genannten Varianten sind in der Tabelle 3.3 zu finden.

2.2.4 Übliche Optimierungsansätze in der Produktionsanlage

In dieser Arbeit bzw. diesem Projekt werden Optimierungsverfahren, die auf dem Prinzip der Prozessverbesserung basieren, angewendet. Die am häufigsten verwendeten Verbesserungsmethoden werden im Folgenden kurz beschrieben:

TCT-Methode

TCT-Methode, die im Englischen als Total Cycles Time bekannt ist, kommt ursprünglich aus den USA. Um diese Methode effektiv umzusetzen, wird die Steigerung der Prozessleistung als Ziel gerichtet. In der Regel wird die Zykluszeit des Prozesses reduziert, damit die Prozess- und Produktionskosten reduziert werden können. Eine Kostenreduzierung führt zu erhöhter Kundenzufriedenheit, aber es muss unbedingt drauf geachtet werden, dass die Qualität des Produkts nicht sinkt[11].

Merkmal	Revolution	Evolution
Methoden	BPR	Kaizen, Six Sigma
Auslöser	Veränderungsbedarf	Anpassungsbedarf
Gegenstand	neuer Prozess	bestehender Prozess
Anstoß/Träger der Veränderung	Top-down (Management)	Hybrider Ansatz (Management und Mitarbeiter)
Umfang der Veränderung	radikale Quantensprünge	Inkrementelle Verbesserungen
Umfang	ganze Prozesse, auch prozessübergreifend	vorrangige Prozessschritte
Häufigkeit der Anwendungen	episodisch als Projekt	kontinuierlich als permanente Aufgabe
Risiko	beträchtlich	moderat

Tabelle 2.1: Unterschiede der beiden Optimierungsansätze (Pohanka 2014, S. 23).

Kaizen-Methode

Die einfachste Definition der Kaizen-Methode kann mit Hilfe des Satzes von Masaaki Imai, der die Methode erfunden hat, beschrieben werden. Er sagte, dass im Unternehmen kein Tag ohne irgendeine Verbesserung vergehen soll. Wenn die Kaizen-Denkweise angewandt wird, so bedeutet das, dass jeder Mitarbeiter an seinem Arbeitsplatz und in seinem Arbeitsbereich, dafür verantwortlich ist, Tätigkeiten, Abläufe, Verfahren oder Produkte laufend zu verbessern bzw. die Qualität zu erhöhen. Abbildung 2.3 zeigt die Übersetzung der Kaizen-Methode ins Deutsche. Daraus ist zu ersehen, dass der Kernpunkt dieses Verfahrens, die kontinuierliche Verbesserung ist[4].

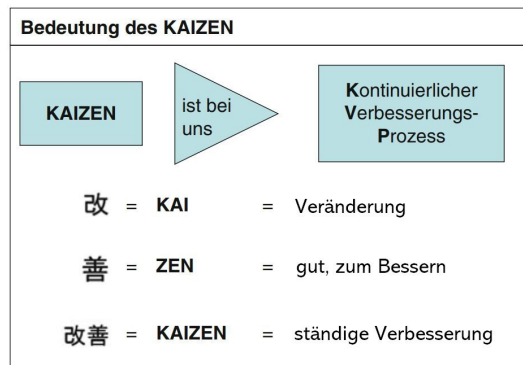


Abbildung 2.3: „Bedeutung des Begriffs KAIZEN in Japan und der Deutschen Übertragung. (KAIZEN nach KAIZEN-Institut of Europe und Siemens AG, ElektronikwerkKarlsruhe = EWK)“. Susanne Koch (2011, S. 127)

Lean Production

Anfang der 1990er-Jahre wurde diese Methode aus Japan übernommen und durch James P. Womack⁶, Daniel T. Jones⁷ und Daniel Roos geprägt. Ein Buch mit dem Titel „Die zweite Revolution in der Autoindustrie“ entstand aus ihrer Zusammenarbeit als Wissenschaftler⁸. Ihre Methode im Produktionsbereich war ganz neu und wurde besonders erfolgreich in der Automobilindustrie angewandt.

⁶https://de.wikipedia.org/wiki/James_P._Womack - (Stand: 27. August 2019)

⁷[https://de.wikipedia.org/wiki/Daniel_T._Jones_\(%C3%96konom\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Daniel_T._Jones_(%C3%96konom)) - (Stand: 27. August 2019)

⁸https://de.wikipedia.org/wiki/Schlanke_Produktion - (Stand: 27. August 2019)

Ins Deutsche kann der Name dieses Verfahrens als „schlanke Produktion“ übersetzt werden. Und wie bereits am Namen zu erkennen ist, basiert diese Methode auf der Reduzierung von beispielsweise Betriebsmitteln, Personal, Materialien, Planung und Organisationen bei allen Unternehmensaktivitäten und den damit einhergehenden Ersparnissen[4]. In anderen Worten kann das Verfahren so interpretiert werden, dass alle Verschwendungen entlang des Wertschöpfungsprozesses vermieden werden müssen. Das bekannte Autoproduktionsunternehmen Toyota, hat dieses Verfahren bestmöglich und sehr effizient angewendet. Und ist eines der erfolgreichsten Unternehmen in diesem Bereich.

Die wesentlichen Elemente von Lean Production sind⁹

- Fließproduktion :
Ein bekanntes Beispiel für die Fließproduktion ist das Toyota-Produktionssystem, dass sich an Kunden orientiert. Es bedeutet, dass in einer gewissen Taktzeit, eine bestimmte Anzahl von Produkten, in einem bestimmtem Zeitraum, etwa pro Tag oder Woche, für die Kunden produziert werden sollen.
- Just-in-time-Produktion :
Wie aus dem Namen bereits hervorgeht, ist damit gemeint, dass ausschließlich jenes Material in ausreichender Stückzahl gelagert wird, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt für die Produktion auch wirklich benötigt wird.
- Produktion nach Bedarf :
Als Ziel kann hier ein möglichst geringer Lagerbestand definiert werden. Das heißt, ein Produkt soll erst produziert werden, wenn es wirklich verlangt wird.
- Multimixproduktion :
In diesem Fall ist die Flexibilität der Produktionslinie ein wichtiger Faktor, denn sie mit verschiedenen Produktionen umgehen muss. Falls Stellen existieren, die umgestellt werden müssen, müssen sie in kürzester Zeit umstellbar sein. Abbildung 2.4 veranschaulicht diese Vorgehensweise in der Produktionsablauf.

⁹Vgl. Torsten Becker (2005, S. 24-30)

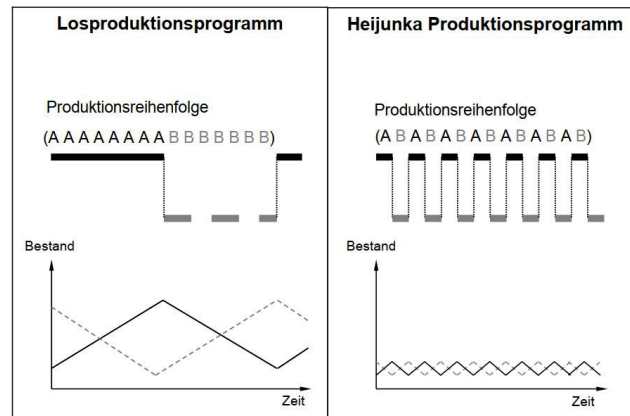


Abbildung 2.4: „Heijunka Produktionssteuerung“. Torsten Becker (2005, S. 30)

- Vermeidung von Verschwendungen : Das Thema ist sehr interessant und kann in viele Bereichen wie Materialien, Personal und Transport realisiert werden. In Abschnitt 2.2.6 wird die Reduzierung von Verschwendungen genauer beschrieben.

Six-Sigma-Methode

Die Methode ist so bekannt, dass fast jeder schon einmal davon gehört oder gelesen hat. Wer sich etwas mehr mit diesem Bereich beschäftigt hat, weiß dann, dass viele Firmen wie Motorola, General Electric usw. diese Methode angewandt und damit Milliardenbeträge eingespart haben. Ursprünglich wurde die Six-Sigma-Methode für Produktionsprozesse entwickelt und ist für die Optimierung der Abläufe und die Qualitätsverbesserung geeignet. Die zwei Ziele, auf die sich Six-Sigma konzentriert, sind Kosteneinsparungen und die Verbesserung der Qualität. Die Methode wurde im Jahr 1986 von Motorola entwickelt, die diesen Begriff aus der Statistik übernommen haben. Beim Six Sigma werden die Prozessverbesserungen mit Hilfe der statistischen Analyse quantifiziert und unterscheiden sich damit von Lean und Kaizen[9].

Vergleichen

Wenn die obigen Methoden verglichen werden, bemerkt man, dass alle evolutionäre Methoden, sich in kleine Schritte aufteilen und auch kontinuierlich durchgeführt werden. Diese Aufteilung hat den Vorteil, dass die Optimierungsaufgaben durch verschiedene Abteilungen und Personen gleichzeitig durchgeführt werden können. Wegen der hohen Komplexität der Prozesserneuerung, wird in vielen Fällen die Prozessverbesserung verwendet.

2.2.5 Ständige Prozessverbesserung

In diesem Abschnitt wird der kontinuierliche Verbesserungsprozess, der heutzutage ein interessantes Thema im Optimierungsbereich ist, beschrieben. Der Ursprung dieses Themas kann bei der Kaizen-Methode gefunden werden. Die Übersetzung des japanischen Wort Kaizen¹⁰ auf Deutsch lautet folgendermaßen: „Kai steht für Veränderungen und zen meint, zum Besseren oder zur Meisterschaft“¹¹. Und diese Bedeutung ist auch der Ursprung des Themas. „Egal, um welchen Ansatz, wie Lean oder Agiles Management, es auch immer geht, es steht immer ...

- ...das Entwickeln von kreativen Lösungen im Team,
- das effektive Arbeiten in effizienten Prozessen,
- die Qualität der Produkte und Dienstleistungen,
- das Schaffen von Transparenz in den Abläufen,
- das Visualisieren von Zielen und Ergebnissen,
- das Beseitigen von Verschwendungen und
- das ständige Verbessern aller Prozesse

im Fokus“¹². In anderen Wörtern kann Kaizen so interpretiert werden, dass alle unsere Prozesse seit dem, sie entwickelt und gebaut sind, weiterentwickelt und verbessert werden können. Ganz gegenseitig, ab dem Tag, dass die Verbesserungen aufgehört werden, sind unsere Systeme bzw. Prozesse nicht mehr effizient[6]. Die ständige Verbesserung kann im Zuge des PDCA-Zyklus(SieheAbschnitt 2.2.7) besser durchgeführt werden.

2.2.6 Reduzierung von Verschwendungen

Während der Durchführung der ständigen Verbesserungen, ist auch die Reduzierung von Verschwendungen ein wichtiges Thema, das im Zuge dieser Vorgehensweise betrachtet werden muss[4]. Die Verschwendungen können so gut wie überall gesucht werden, weil sie auch in Stellen gefunden werden können, an denen man sie nicht vermutet hätte. „Ein Großteil dieser Verluste entsteht durch die vielen kleinen Energiefresser, die für den Verursacher nicht mehr

¹⁰<https://de.wikipedia.org/wiki/Kaizen> - (Stand: 20. Dezember 2019)

¹¹Kostka und Kostka (2017, S. 6).

¹²Kostka und Kostka (2017, S. 6).

sichtbar sind, weil sie zur Gewohnheit geworden sind¹³. Natürlich kommen Verschwendungen auch im Personal- oder Transport-Bereich vor. Im Folgenden sind die häufigsten und größten Verschwendungen aufgelistet. Damit es ständige zu Verbesserungen kommt, sollten sie bestmöglich reduziert werden.

- „Überproduktion bzw. Doppelarbeit
- Wartezeit
- unnötige Transportwege
- ungünstiger Herstellungsprozess
- überhöhte Lagerhaltung
- viele Bewegungen und
- Fehler¹⁴

2.2.7 PDCA-Zyklus

Dieses Verfahren, das auch Demingkreis genannt wird, wurde in den 1950-er Jahren durch Deming¹⁵ entwickelt. Der Ursprung dieses Verfahrens kommt aus den 1930-er Jahren, in denen Shewhart¹⁶ an der Qualitätsverbesserung in einem Werk von Western Electric arbeitete und seine dabei gesammelten Erfahrungen niederschrieb und ein Buch mit dem Titel „Statistische Methoden aus der Sicht der Qualitätskontrolle“ veröffentlichte. Deming hat dieses Buch überarbeitet und die erste Version des „Shewhart-Zyklus“ steht in diesem Buch¹⁷.

Konzept

Wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurde, konzentrieren sich die Verbesserungsmethoden also TCT, Kaizen, Six-Sigma auf die Ermittlung und Behebung von Problemen, Schwachstellen und Fehlern. Um diese Ermittlung besser durchzuführen, wird meistens der PDCA-Zyklus, der auch Demingkreis oder Problemlösungskreislauf genannt wird, verwendet[4]. Den sogenannten Kreis, der die Schritte des PDCA-Zyklus beinhaltet, ist in Abbildung 2.5 zu sehen und fängt mit der Planungsphase an.

¹³Kostka und Kostka (2017, S. 70)

¹⁴Kostka und Kostka (2017, S. 71).

¹⁵https://de.wikipedia.org/wiki/William_Edwards_Deming - (Stand: 10. Oktober 2019)

¹⁶https://de.wikipedia.org/wiki/Walter_A._Shewhart - (Stand: 10. Oktober 2019)

¹⁷<https://de.wikipedia.org/wiki/Demingkreis> - (Stand: 10. Oktober 2019)

Vorgehensweise

Der Zyklus, der sehr nützlich in der Prozessverbesserung ist, besteht aus den folgenden Schritten:

- Planen (plan) :
Bei diesem Schritt muss geplant werden, was zu tun ist. Üblicherweise beginnt man mit der Ist-Analyse der bestehenden Prozesse. Diese Ist-Analyse kann unter Verwendung von unterschiedlichen Daten, wie beispielsweise Unterlagen, Beobachtungen, Befragungen usw., die später noch genauer beschrieben werden, durchgeführt werden. Der Ausgangspunkt ist ein zu entwickelnder Verbesserungsplan, der in einem nächsten Schritt umgesetzt werden soll[12].
- Ausführen (do) :
Der im ersten Schritt vorbereitete Verbesserungsplan wird durch die zuständigen Mitarbeiter umgesetzt. Jede Gruppe oder Mitarbeiter ist für bestimmte Aktivität zuständig[4].
- Überprüfen (check) :
In diesem Schritt werden die durchgeführten Arbeiten überprüft, damit die Ergebnisse ausgewertet werden können. Durch diese Auswertung kann man ein besseres Verständnis für den Prozess entwickeln[4].
- Verbessern (act) :
Bei diesem Schritt ist es sinnvoll einen Soll-Ist-Vergleich durchzuführen. Durch diesen Vergleich kann man bestimmen, ob die im Verbesserungsplan gesteckten Ziele, auch erreicht worden sind oder nicht. In dieser Phase wäre es besser, wenn auch die Fachleute teilnehmen. In manchen Fällen ist es nötig, dass den PDCA-Zyklus solange zu wiederholen, bis die erwarteten Ergebnisse auch erreicht werden[4].

Wie man von Abbildung 2.5 ersehen kann, sind die Schritte des PDCA-Zyklus kontinuierlich. In der Literatur wird der PDCA-Zyklus als Qualitätsmanagement in verschiedenen Modellen vorgestellt.



Abbildung 2.5: Die vier Phasen des PDCA-Zyklus. Kostka und Kostka (2017, S. 37)

2.3 Bildverarbeitung

Die wichtigsten Ziele der Prozessoptimierung im Bildverarbeitungsbereich in dieser Arbeit sind:

- Winkelkontrolle der BatteriefüÙe :
Die Batterien müssen auf elektronische Platinen gelötet werden. Weil die Batterien durch den Roboter auf Platinen gesetzt werden, muss der Winkel der BatteriefüÙe jedes Mal kontrolliert werden, da ansonsten die Position auf der Platine falsch wäre und die gelöteten Stellen nicht passen würden.
- Qualität-Lagekontrolle des Objektes :
Das Endprodukt muss immer sehr gut kontrolliert werden, weil die Produkte direkt zum Kunden geliefert werden. Deswegen muss auch auf die Qualität der Plastikgehäuse, besonders auf aufgedruckte Logos oder Fotos, der produzierten Geräten geachtet werden.
- Erkennen der unerwarteten Situationen :
In vielen Unternehmen bzw. Produktionsanlagen gibt es Situationen, die unerwartet eintreten und auch von automatisierten Systemen schwer zu erkennen sind. In manchen Bereichen kann man die sogenannten Bildverarbeitungssysteme einsetzen. Solche Systeme haben eine hohe Leistungsfähigkeit und viele Anwendungsoptionen, sind jedoch sehr teuer und daher in vielen Fällen unrealisierbar. Für eine spezielle Anwendung müssten nämlich mehrere Systeme zusammengebaut werden.

Diese Funktionen werden im industriellen Bereich oft verwendet. Um zu zeigen, wie sie überhaupt funktionieren und wie nützlich sie sein könnten,

wurde ein Bildverarbeitungssystem mit drei Funktionen entwickelt, dass im nächsten Kapitel genau beschrieben wird.

2.3.1 Industrielle Bildverarbeitung

Wenn man einige Jahre in die Vergangenheit blickt, kommt einem die damalige PC-Technologie ganz alt vor, diese wurde preismäßig jedoch gar nicht so günstig angeboten. Wegen der früher hohen Kosten für die Hardware, konnte die digitale Bildverarbeitung nicht so einfach in allen Bereichen realisiert werden. Heutzutage merkt man aber, wie drastisch sich die Halbleitertechnik und damit auch die PC-Technologie von früher bis heute weiterentwickelt hat. Diese Veränderungen im PC-Bereich, ermöglichen einen rasanten Preissturz und günstige Hardwarepreise. Damit kann natürlich die digitale Bildverarbeitung viel einfacher realisiert werden. Außerdem kann mit Hilfe der Hochleistungsrechner im PC-Bereich, die Bildverarbeitung in den meisten Bereichen so realisiert werden, dass der Preis auch relativ günstig bleibt. Natürlich führt das auch zu einer hohen Konkurrenz zwischen den Unternehmen, die solche Systeme entwickeln[13].

Bedingungen Ein industrielles Bildverarbeitungssystem muss komplexe industrielle Aufgaben so ausführen, dass die Zuverlässigkeit nicht verloren geht und auch akzeptable Ergebnisse bei Wiederholungen erbracht werden. Wenn von einer industriellen Bildverarbeitung gesprochen wird, ist meistens eine automatische Analyse und die Interpretation visueller Informationen bzw. Bilder gemeint. Aber es können einige wesentliche Fragen aufkommen und für die Realisierung solcher Systeme, müssen diese Fragen auch beantwortet werden:

- Unter welchen Voraussetzungen und Möglichkeiten können die visuellen Bilder maschinell abgebildet werden?
- Können die Algorithmen implementiert werden, die genau unserer erwarteten Abbildung entsprechen?

Auf jeden Fall werden im Industriebereich oft besondere Fähigkeiten, wie höhere Robustheit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Stabilität und Wiederholbarkeit erwartet. Um diese Fähigkeiten zu realisieren, muss die Hardwareseite zusätzlich zur speziellen Optik, mit Sensoren usw. ausgestattet werden[14].

Entwicklungsplan Das Entwickeln des Bildverarbeitungssystems, das aus drei Phasen besteht, kann wie folgt geplant werden.

- Zusammenbau der Hardware

- Implementierung der Software
- Verbindung mit anderen Industriellen Geräten

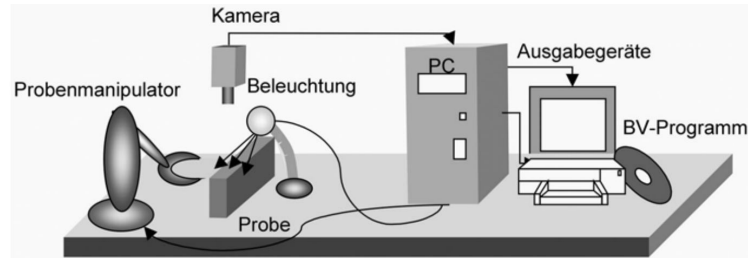


Abbildung 2.6: Aufbau eines typischen Bildverarbeitungssystems. Burkhard Neumann(2005, S. 5)

2.3.2 Hardware

In Abbildung 2.6 ist das Schema eines Bildverarbeitungssystems dargestellt, das zumeist aus folgenden Komponenten aufgebaut wird[14]:

- Beleuchtungssystem und Optik
- Digitalkamera mit bildgebendem Sensorsystem
- Geeignete Schnittstellen
- Grafikkarte bei Bedarf mit hoher Auflösung
- PC mit hoher Leistungsfähigkeit¹⁸

Beleuchtungssystem

Das Lichtsystem spielt eine sehr wichtige Rolle in einem Bildverarbeitungssystem, besonders wenn von digitaler Bildverarbeitung gesprochen wird. Eine geeignete Lichtquelle wird auch zu einer besseren Beleuchtung führen, die natürlich auch gut auswertbare Bildinformationen liefert und die Basis für eine digitale Bildverarbeitung darstellt und so die Bilddaten besser zum Zielrechner gelangen. Aus diesem Grund wurden die Beleuchtungssysteme in den letzten Jahren sehr gut entwickelt[14].

¹⁸Vgl. Burkhard Neumann(2005, S. 1)

In der Regel sind Tageslicht und Glühlampen keine geeignete Wahl als Beleuchtungssystem im Industriebereich. Tageslicht kann sich immer wieder ändern und je nach Jahreszeit stärker oder leichter werden. In manchen Fällen, können neue Kameras mit Sensoren diese Lichtänderungen eliminieren, aber es wird nie garantiert, dass alle Lichtschwankungen eliminiert werden. Ein besonders Problem besteht darin, dass sich z.B. bei einem Objekt je nach Tageszeit Schatten entwickeln. Glühlampen sind günstig, aber als Lichtquelle nicht die richtige Wahl, weil sie im Betrieb Wärme erzeugen. Außerdem haben Glühlampen eine schlechte Lichtverteilung und sie nutzen Wechselstrom, der zu Lichtschwankungen führen kann[15].

Im Folgenden werden einige Lichtquellen, die oft in der Bildverarbeitungssysteme eingesetzt werden, kurz beschrieben¹⁹:

- Leuchtstoffröhren :

Diese Art von Beleuchtungssystemen funktioniert, im Vergleich zu Glühlampen, ganz unterschiedlich. Leuchtstoffröhren können mit Frequenzgleichrichtern betrieben werden, die eine Modulation des Lichts möglich macht und damit die unerwünschten Interferenzen vermieden werden können.

- Leuchtdioden :

Heutzutage hat sich die aktuelle LED-Technik in fast allen Bereichen durchgesetzt. Die vielen Vorteile sorgen für den Vormarsch der LED-Beleuchtung in allen Lebensbereichen. Der größte Vorteil von LEDs ist, dass sie das gesamte Farbspektrum (lichtfarben, warmweiß, neutralweiß und tageslichtweiß) erzeugen können und sie sehr einfach zu kontrollieren sind. Ein anderer Vorteil bei LED-Lampen ist der Wellenlängenbereich, so dass die LED-Lampen einen sehr geringen Wellenlängenbereich abstrahlen. Aufgrund des geringen Produktionspreises der LEDs und dem sehr leichten Gewicht sind sie für fast alle Anwendungen in der Bildverarbeitungssysteme sehr gut geeignet.

- Laser :

Hohe Strahlungsleistungen können durch Laser realisiert werden und damit genauere Messungen, wie Abstandmessung und Scannen durchgeführt werden. Außerdem können Laser in Kombination mit einer Bildverarbeitung als Qualitätskontrolle angewendet werden.

¹⁹Vgl. Angelika Erhardt (2008, S.22)

Grundbeleuchtungsarten

Die Beleuchtungsarten können je nach Anwendung in verschiedenen Positionen installiert und in Betrieb genommen werden. In Abbildung 2.7 werden die vier Grundbeleuchtungsarten beschrieben. Die Unterscheidung zwischen diesen Arten hängt von der Position der Kamera und der Beleuchtung ab.

- **Aufficht :**

Der erster Teil in Abbildung 2.7.a zeigt den Fall, dass Kamera und Lichtquelle sich auf derselben Ebene bzw. gegenüber vom Objekt finden. Das einfallende Licht der Lichtquelle wird durch das Objekt reflektiert und je nach Lichtintensität ein Bild[16].

- **Durchlicht :**

Im diesem Fall, der in Abbildung 2.7.b zu sehen ist, liegen Kamera und Lichtquellen gegenüber, sodass das Objekt zwischen ihnen liegt. Wenn die Form eines Objektes als Merkmal für die Bildverarbeitungssysteme gebraucht wird, kann diese Beleuchtungsart eingesetzt werden[14]. Normalerweise liegt das Objekt auf einer durchsichtigen Platte. Und mit entwickelndem Schatten kann die Form des Objekts durch die Kamera erkannt werden.

- **Hellfeld :**

Wie man in Abbildung 2.7.c sehen kann, sind Kamera und Lichtquelle in diesem Fall auch gegenüber dem Objekt platziert. Wenn ein Objekt vor der Kamera steht und auf diesem Objekt die Bereiche sind, die überwacht werden sollen, wird das einfallende Licht durch diese Bereiche nicht reflektiert und damit werden sie dunkel bleiben. Die dunkleren Bereiche sind gegenüber dem hellen Bereich ganz einfach erkennbar[15].

- **Dunkelfeld :**

Die Funktionalität dieser Art der Beleuchtung ist ganz ähnlich wie im vorhergehenden Punkt beschrieben, aber mit dem Unterschied, dass die helleren Bereiche gegenüber dem dunklen Bereich erkennbar sein sollen[15]. Abbildung 2.7 zeigt diese Art von Beleuchtungen.

Digitalkamera mit Bildgebendem Sensorsystem

Normalerweise werden fast alle digitalen Kameras im sichtbaren Wellenlängenbereich betrieben. Sie werden am meisten mit einem CCD- oder CMOS-Sensor

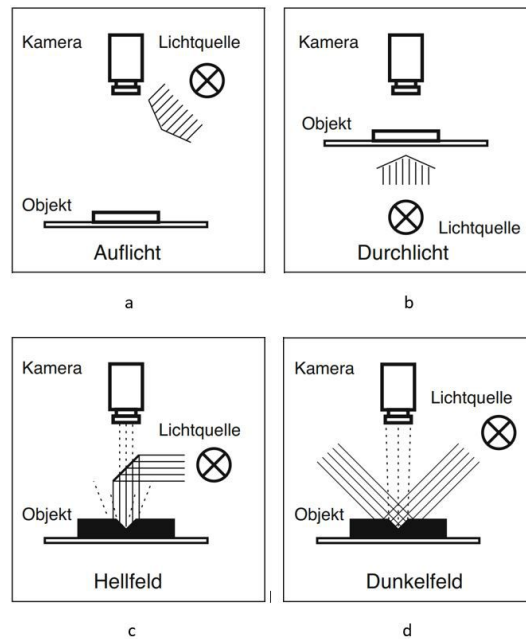


Abbildung 2.7: Grundbeleuchtungsarten.(Angelika Erhardt. (2008, S.25)

als Bildaufnehmer ausgestattet. CCD-Sensoren, die im Englischen als Charge-Coupled-Device bezeichnet werden, werden häufig im sichtbaren Wellenlängenbereich verwendet. Je nach Wellenlänge oder Spektralbereich können andere spektrale Eigenschaften verwendet und damit andere Informationen gewonnen werden. In den letzten Jahren wurden preisgünstigere digitale Kameras entwickelt und zum Einsatz gebracht, die einfach über verschiedene Schnittstellen betrieben werden können. Einfache Schnittstellen, die überall verwendet werden können, sind USB 2 und USB 3, die auch in diesem System verwendet werden. Digitalkameras haben im Vergleich zu alten klassischen Kameras, also Analogkameras, mehrere Vorteile. Dazu können beispielsweise die störungsfreie Datenübertragung und die Parametereinstellungen der Kamera, die über den PC eingestellt werden können, gezählt werden[14].

Computer

Bei industriellen Bildverarbeitungssystemen können die Datenmengen, die dann meist in Echtzeit verarbeitet werden müssen, sehr schnell anwachsen. Deshalb werden an den Rechner einer industriellen Bildverarbeitung hohe Anforderungen, wie hohe Speicherkapazität und schnellen Prozessorleistung, gestellt. Häufig werden industrielle PCs für diese Aufgaben eingesetzt[16].

2.3.3 Software

Heutzutage bieten viele Softwareentwickler verschiedenartigste Software an, damit die Bildverarbeitung auch implementiert werden kann. Als Beispiele kann man hier Matlab, C, C++, Python und Java aufzählen. Matlab ist ein mathematisches und spezielles Programm für Anwendungen in fast allen Bereichen, aber kein geeignetes Programm im industriellen Bereich, da hier die Durchlaufzeit sehr wichtig ist und Matlab solche Aufgaben nicht so schnell lösen kann. Ganz im Gegenteil zu Matlab sind C und C++ schnell genug für solche Aufgaben. Außerdem ist Open CV eine spezielle Bibliothek, die besonderes für die Bildverarbeitung genutzt werden kann und in verschiedenen Programmen aufgerufen und genutzt werden kann.

Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung

„Die Anwendung der digitalen Bildverarbeitung ist älter als die Erfindung von Computern. Durch einer Verkabelung zwischen Europa und Nordamerika wurde diese Anwendung so realisiert, dass die digitalisierten Bilder zuerst codiert und nach Empfang decodiert werden mussten“²⁰. Im Prinzip bestehen die digitalisierten Bilder aus einer Matrix von Zahlen, die durch die Umwandlung von kontinuierlichen Werten in diskrete Werte entstehen. Nach der Digitalisierung eines aufgenommenen Bildes, können geometrische Merkmale, z.B. Punkte, Kanten, oder Linien bestimmt werden. Man wird beim ersten Gedanken annehmen, dass diese Funktion ganz einfach zu realisieren ist, weil dieser Vorgang beim Menschen durch die Kombination Auge - Gehirn nicht einmal mehr als eine Sekunde dauert. Aber wird dieser Vorgang durch einen PC und einem dazugehörigen Programm ausgeführt, können Probleme auftreten[13].

OpenCV Geschichte

„OpenCV ist eine freie Programmbibliothek mit Algorithmen für die Bildverarbeitung und maschinelles Sehen. Sie ist für die Programmiersprachen C/ C++, Python und Java geschrieben und steht als freie Software unter den Bedingungen der BSD-Lizenz zur Verfügung. Das „CV“ im Namen steht für Englisch „Computer Vision“. Die Entwicklung der Bibliothek wurde von Intel initiiert und wurde bis 2013 von Willow Garage gepflegt. Nach deren Auflösung wurde sie von Itseez fortgeführt, welches mittlerweile von Intel übernommen wurde“²¹. Die Bibliothek umfasst unter anderem Algorithmen für Gesichtserkennung, 3D-Funktionalität, verschiedene sehr schnelle Filter (z. B. Sobel, Canny, Gauß)

²⁰Vgl. Jürgen Klas (1996, S. 13)

²¹<https://de.wikipedia.org/wiki/OpenCV> - (Stand: 12. Juli 2019)

und Funktionen für die Kamerakalibrierung. In diesem Projekt wurden meistens Gauß, Canny, und Surf Operatoren verwendet. Die Bildverarbeitungssoftware, die in Abbildung 3.21 gezeigt wird, wurde durch OpenCV C++ implementiert. Die im Englischen (Open Source Computer Vision Library) Bibliothek ist eine in C/C++ geschriebene Bibliothek, die ursprünglich von Intel entwickelt wurde. Im nächsten Kapitel wird die Bildverarbeitungssoftware genauer diskutiert.

2.3.4 Digitale Bildverarbeitung

Im ersten Augenblick denkt man bei den Bildern an Fotografien, die mit einer Kamera aufgenommen werden. Aber für die Bildverarbeitung im akademischen oder industriellen Bereich, müssen zuerst die aufgenommenen Bilder digitalisiert werden, weil das aufgenommene optische Bild kontinuierlich ist. Als Eingangsmaterial einer digitalen Bildverarbeitung kann ein mathematisches Modell eines Bildes verwendet werden. Das mathematische Modell wird normalerweise in die zweidimensionale Form einer Matrix gegeben. Der wichtigste Vorteil besteht darin, dass solche mathematischen Formen von Bildern je nach Anwendung modelliert werden können. Bevor wir das nächste Kapitel beginnen, sollen jene Funktionen, die am häufigsten in der Bildverarbeitung genutzt werden, näher erläutert werden[13].

Lineare Filter Lineare Filter sind wie andere lineare Operatoren in der Bildverarbeitung realisierbar und spielen in diesem Bereich eine besondere Rolle. Sie funktionieren auf der Basis des Mittelwerts: Die Summe der Pixelwerte in der Umgebung des gewählten Pixels wird gewichtet und der berechnete Mittelwert wird in den Zielpixel des Ergebnisbilds ersetzt. In der Regel werden lineare Filter mit Hilfe des mathematischen Operators, der als Faltung bekannt ist, berechnet. Die folgende Formel zeigt den mathematischen Ausdruck des Faltungsoperators

$$h(x,y) = g(x,y) * f(x,y) = \int_{v=-\infty}^{\infty} \int_{u=-\infty}^{\infty} g(x+u,y+v)f(u,v) du dv \quad (2.1)$$

womit $g(x,y)$ die Eingabefunktion mit einem Filter $f(x,y)$ und dadurch resultierende Ausgabefunktion $h(x,y)$ der Faltung sind[15].

Das Mittelwertfilter Wie man bereits aus dem Namen erkennen kann, handelt es sich hier um eine Berechnung des Mittelwerts. Aus diesem Grund kann diese Form der Glättung als einfachste Methode bei den Filterklassen vorgestellt werden. In der Bildverarbeitung bzw. Glättung der Bilder, wird oft die diskrete Form verwendet, die in folgender Beziehung dargestellt werden kann,

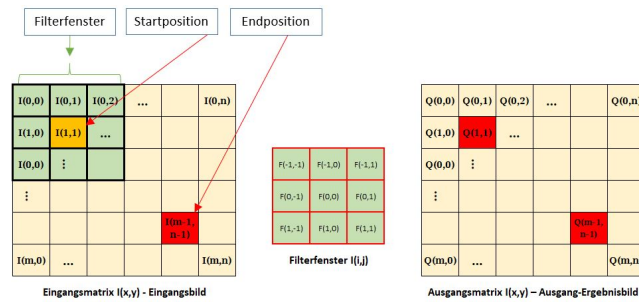


Abbildung 2.8: Funktionsweise eines Filters.

$$I^*(x,y) = I(x,y) * f(x,y) = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n I(x+i,y+j)f(i,j) \quad (2.2)$$

womit $f(x,y)$ als Filterfenster der Größe $(2n+1) \times (2n+1)$ entspricht. Ein Beispiel für ein 3×3 Filter kann folgendermaßen definiert werden,

$$I^*(x,y) = I(x,y) * f(x,y) = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 I(x+i,y+j)f(i,j) \quad (2.3)$$

dass $I(x,y)$ das Eingangsbild, $I^*(x,y)$ das Ausgangsbild und $f(x,y)$ das Filterfenster sind und die Funktionsweise solcher Filter wird in Abbildung 2.8 veranschaulicht[15]. Das Filterfenster eines Mittelwertfilter wird in dieser Form

$$f(x,y) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

definiert. Größere Filterfenster können bessere Glättungsergebnisse erbringen. Abbildung 2.9 veranschaulicht die Verwendung eines Mittelwertfilters, der durch Filterfenster realisiert wird. Ein Nachteil des Mittelwertfilters ist die Mittelwertberechnung der Pixel auf dem Randbereich des Bildes. Weil im Randbereich der vorherige und nachherige Index für die Matrix unberechenbar ist. Um das Problem zu lösen, gibt es mehrere Methoden. Als einfachste Lösung kann die Vermeidung des Randbereiches, je nach Größe des Filterfensters verwendet werden. Das bedeutet, für ein 3×3 Filterfenster werden die erste Zeile und Spalte bzw. letzte Zeile und Spalte eliminiert[13].

Das Gauß-Filter Die andere Form des linearen Filters, die als Gaus-Filter bekannt ist und oft verwendet wird, ist in der Form

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}} \quad (2.5)$$



Abbildung 2.9: Durch Mittelwertfilter abgearbeitetes Bild.

definiert, womit σ die Standardabweichung der Gauß-Funktion entspricht. „In der Tat ist $G(x,y)$ eine Maske des isotropen Gauß-Filters. Und durch Veränderung der σ , die ein Filter-Parameter ist, wird bestimmt, wie stark die Werte der Eingabefunktion und damit die Stärke der Glättung beeinflusst werden. Eine größere σ bedeutet, dass weite Punkte vom Filterkern auch stärker beeinflusst bzw. geglättet werden.“²²

Das Gauß-Filter kann durch Veränderung der Gewichtung des Filterfensters realisiert werden. Die Gewichtung der Pixel von Filterfenster hängt von der Gauß-Funktion bzw. σ ab. Die Pixel des Filterfensters, die vom Mittelpunkt ferner sind, haben geringere Gewichtung. Das einfachste Filterfenster des Gauß-Filters wird in dieser Form

$$f(x,y) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

gegeben. Die Berechnung des Filterfensters ist wie beim Mittelwertfilter. Das Gauß-Filter stellt eine bessere Glättung vor. Abbildung 2.10 zeigt die Verwendung des Gauß-Filters mit verschiedene σ [15].

Kantendefinition Die Kante eines Bilds kann durch lokale Veränderungen der Intensität oder Farbe definiert werden. Das heißt, um eine Kante zu erkennen, muss die Intensität des betrachteten Pixels untersucht werden. Mathematisch kann die Kantenerkennung durch die erste Ableitung erklärt werden. Wie in Abbildung 2.11 gezeigt wird, kann mit ersten Ableitung in einer Dimension, die Grenze der Intensitäten bestimmt werden. In dem Falle, dass die Intensität sich nicht ändert, ist die Steigung Null und damit wird die erste Ableitung auch null sein. Während sich zwischen diesen Punkten die Intensität stark ändert und die erste Ableitung einen Wert verschieden von Null hat, macht

²²Vgl. Joachim Ohser (2016, S. 55) - <https://www.fbmn.h-da.de/~ohser/uploads/Lehre/BVII1.pdf>

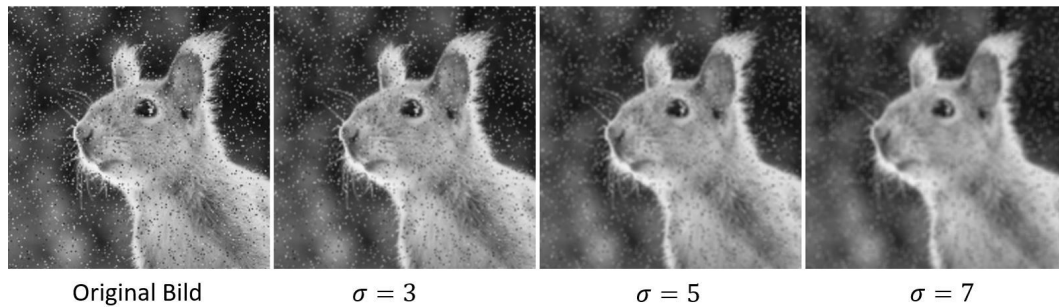
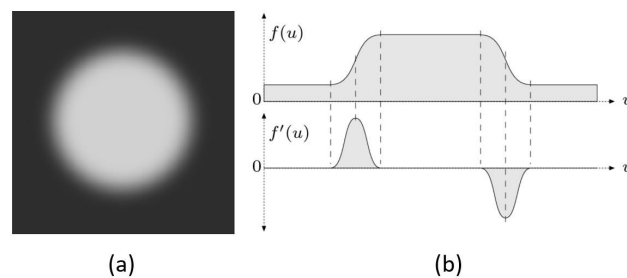
Abbildung 2.10: Glättung eines Bilds durch Gauß-Filter mit verschiedener σ .

Abbildung 2.11: Intensitätsänderung und ihre Ableitung. Burger und Burge(2006, S. 118)

das einen Unterschied zwischen Punkten mit verschiedene Intensitäten aus. Die erste Ableitung in Abbildung 2.11.b betrachteter Funktion $f(u)$ kann wie nachfolgend berechnet werden[17].

$$f'(u) = \frac{df}{du}(u) \quad (2.7)$$

Kantenerkennung

Wie vorher bereits besprochen, ist die Objekterkennung eine der wichtigsten Teile in der Bildverarbeitung, weil ohne Objekterkennung keine weiteren Bearbeitungen auf dem Bild möglich wären. Das bedeutet, dass durch die Verarbeitung der Bilder, die Objekte vor dem Hintergrund erkannt werden müssen. Mit Hilfe der Kantenerkennung, kann die Grenze zwischen Objekt und Hintergrund oder andere Objekte bestimmt werden[18]. Um ein Objekt in einem Bild zu erkennen oder vom Hintergrund zu trennen, müssen zuerst die Kanten erkannt werden, was durch die oben beschriebenen digitalen Filter realisiert werden kann. Verschiedene Operatoren, wie Sobel, Laplace und Canny

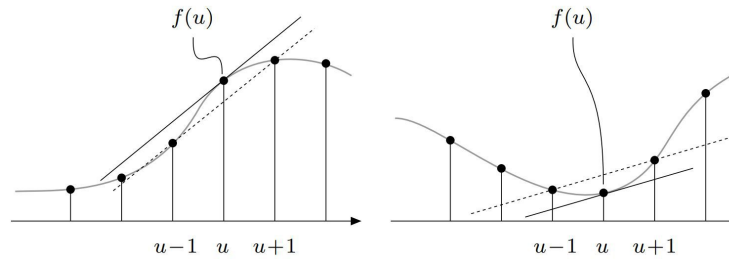


Abbildung 2.12: 3 Schätzung der ersten Ableitung bei einer diskreten Funktion. Der Anstieg der Geraden durch die beiden Nachbarpunkte $f(u-1)$ und $f(u+1)$ dient als Schätzung für den Anstieg der Tangente in $f(u)$. Die Schätzung genügt in den meisten Fällen als grobe Näherung[17] (Burger und Burge).

können für die Kantenerkennung angewendet werden. In dieser Arbeit wurde der Canny operator häufig verwendet. Es existieren zahlreiche Methoden zur Kantenerkennung der Bilder. Im Folgenden wird die Gradientenmethode als Basis kurz beschrieben.

Gradientenmethode Wie in Abbildung 2.11 veranschaulicht ist, kann jeder Kante mit einem Extremwert erkannt werden. Den Extremwert im Mathematisch kann als erste Ableitung vorgestellt werden. Eine Kantenerkennung mit dem Gradientenverfahren bedeutet, die Punkte gesucht werden sollen, dass sie den größten Änderungen haben. Die Vorgehensweise kann durch partielle Ableitung erster Ordnung in alle Richtungen durchgeführt werden[18]. Um dieses Verfahren besser zu verstehen, wird Abbildung 2.11.b in diskreter Form in Abbildung 2.12 untersucht. Im Allgemeinen kann die Ableitung in dieser Form nicht berechnet werden und muss geschätzt werden. Das bedeutet, dass die vorigen und nachherigen Punkt für die Schätzung der Ableitung im diskreten Fall genommen werden. Abbildung 2.12 veranschaulicht die Tatsache besser. Durch die Punkte $u - 1$ und $u + 1$ kann die Schätzung bzw. diskrete Ableitung in der Form

$$\frac{df}{du}(u) \approx \frac{f(u+1) - f(u-1)}{2} = 0.5 \cdot (f(u+1) - f(u-1)) \quad (2.8)$$

definiert werden[17].

Die partielle Ableitungen einer Bildfunktion $I(x,y)$ kann in dieser Form

$$\frac{\partial I}{\partial x}(x,y) \text{ und } \frac{\partial I}{\partial y}(x,y) \quad (2.9)$$

bezeichnet werden.

Ein Gradientenvektor kann in folgender Form beschrieben werden. Dieser Vektor wird in der Literatur Gradient genannt.

$$\nabla I(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial x}(x,y) \\ \frac{\partial I}{\partial y}(x,y) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Schlussendlich kann der Betrag des Gradienten in der Form

$$|\nabla I| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (2.11)$$

definiert werden. Eine Eigenschaft dieses Betrags ist Unabhängigkeit von der Bildrotationen und Orientierungen[17].

3 Bestehender Prozess und Optimierungen

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die Firma Nomotec gegeben, da diese Diplomarbeit im Rahmen eines Projekts bei dieser Firma erstellt wurde. Dann wird die Aufgabe, nämlich den alten Prozess zu optimieren, beschrieben. Abschließend wird ausführlich auf die durchgeführten Prozessverbesserungen eingegangen.

3.1 Unternehmen

Die Firma Nomotec arbeitet in der Fertigungs- und Montagetechnik und ist darauf spezialisiert, Kontrollsoftware für Fertigungsleittechnik zu konfigurieren und in Betrieb zu nehmen, sowie Anwenderprogramme auf verschiedenen Plattformen nach Vorgaben zu entwickeln.

3.2 Produktionsanlage für elektronische Komponente

Die Anlage, in der elektronischen Komponenten produziert werden und auf die die Optimierung angewandt wurde, besteht aus folgenden Teilen:

- Batterieblister Beladeband
- Kamerastation
- Rundtakttisch
- Lötstation
- ABB Roboter IRB120 als Batteriemaniplator
- ABB Roboter IRB120 als Übergabemaniplator
- ABB Roboter IRB1600 als Verpackungsmanipulator

- Sicherheitstüre

Um den ganzen Prozess besser zu verstehen, wird zuerst der gesamte Prozess kurz erläutert. Bei dieser Anlage werden verschiedene Teile rund um den Rundtakttisch in verschiedenen Stationen geladen. Die erste Speisung des Prozesses bzw. des Rundtakttisches ist die elektronische Platine, die in einer anderen Anlage produziert wurde. Der nächste Schritt des Prozesses ist Ablegung der Batterie auf der elektronischen Platine. Die Teile (in diesem Fall die Batterie) werden auf die Platine gelegt und später in der Lötstation gelötet. Um sicher zu stellen, dass die Lötqualität der Batteriefüße die geforderten Kriterien erfüllt, müssen die Batteriefüße in richtiger Lage auf der Platine legen. Nach der Winkelkontrolle der Batteriefüße werden sie durch den Roboter auf der Platine gefahren und dort hingelegt. Durch Drehung des Rundtakttisches werden die Teile auf dem Rundtakttisch in eine neue Station gebracht, damit neue Operationen durchgeführt werden können. Es wird angenommen, dass die Batterie durch den Roboter gegriffen und auf die Platine hingelegt wird. Nun wird die Platine mit der Batterie durch den Rundtakttisch für andere Roboter zur Verfügung gestellt. In diesem Schritt wird die Aufgabe des Übergabroboters so begonnen, dass die Platine zur Lötstation geliefert und gelötet wird. Nach der Lötqualitätskontrolle wird die gelötete Platine wieder für den Roboter zur Verfügung gestellt. Jetzt muss die gelötete Platine durch den Übergabroboter ins Plastikgehäuse gesetzt werden. Das obere Teil des Plastikgehäuses wird durch einen SCARA-Roboter auf den unteren Teil gesetzt und verpresst. Im nächsten Schritt des Prozesses, muss die Qualität der Lage der produzierten Komponente durch eine Kamera kontrolliert werden. Um dies zu realisieren, muss sich der Rundtakttisch einen Zyklus drehen, damit das Produkt in der definierten Position abgeholt wird. Die fertig produzierten elektronischen Komponenten werden durch zwei Förderbänder zur Verpackungsstation gefahren und durch den ABB Roboter IRB1600 in den Kartons befüllt.

3.2.1 Batterieblister Beladeband

Insgesamt werden 10 Stück volle Batterieblister-Stapel auf dem unteren Zuführband aufgeladen. Die Aufgabe dieses Bandes besteht darin, dass die Batterieblister-Stapel automatisch vereinzelt und indexiert werden. Im nächsten Schritt wird der erste Stapel durch die Hubeinheit in die Entnahmeposition für den Roboter gebracht. Um die Hubhöhe für die oberste Lage zu berücksichtigen, wird sie durch eine Reflexionslichtschranke betrachtet. Ist sie zuständig, wird die Position der obersten Lage vom Stapel fixiert. Der leere Stapel wird durch den Roboter, der auch für die Entnahme der Batterien zuständig ist, gehoben und in die Entnahmeposition für leere Stapel gebracht.

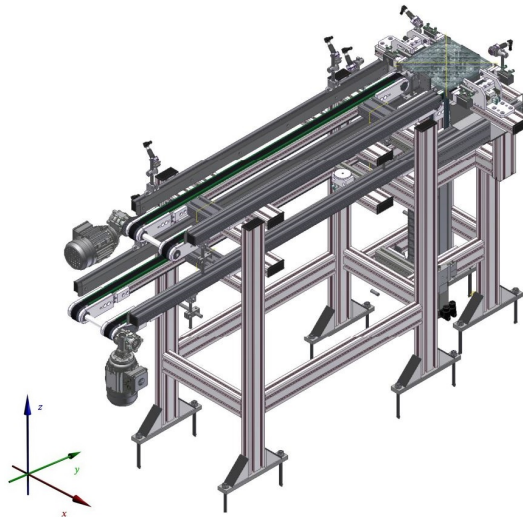


Abbildung 3.1: Batterieblister Beladeband.

3.2.2 Kamerastation

Heutzutage werden fast alle Produkte der Unternehmen vor Kameras überprüft, weil die Zahl der produzierten Produkte so hoch ist, dass sie durch Mitarbeiter nicht einfach oder in vielen Fällen gar nicht kontrolliert werden können. Aus diesem Grund sind fast alle automatisierten Anlagen mit Kameras ausgestattet.

Winkelkontrolle der BatteriefüÙe

Nach der Entnahme der Batterien durch den Roboter, wird jede der Batterien in die Kamerastation gebracht und dort auf Ihre Winkellage geprüft. Um eine korrekte Positionierung der FüÙe der Batterien auf der elektronischen Platine zu sichern, ist diese Phase vom Ablauf her notwendig.

Qualitätskontrolle

Eine andere Kamera, die nach der Entnahme von der Lötstation die Qualität des Teiles überprüft, wird hier betrachtet, da die Qualität der produzierten Teile für die Prozessoptimierung sehr wichtig ist.

3.2.3 Rundtakttisch

Vollautomatische Drehtische spielen eine besondere Rolle in den Produktionsanlagen, in denen mehrere Prozessabläufe parallel durchgeführt werden müssen.

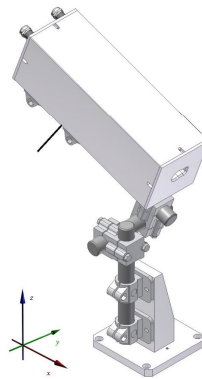


Abbildung 3.2: Kamerastation.

Sie eignen sich für Produktionsanlagen, in denen eine genaue Positionierung erforderlich ist. In der Regel wird diese genaue Positionierung, Station für Station verlangt. Die Teile werden also in den Stationen aufgeladen oder entnommen, erst dann darf sich der Drehtisch weiterdrehen. Die Drehzeit des Drehtisches hat den stärksten Einfluss auf die Taktzeit der Anlage. So lohnt sich diese Vorgehensweise für die Fertigungsanlagen durch geeigneten Platzbedarf und kurze Prozesszeiten. Ein Beispielbild vom Rundtakttisch ist in Abbildung 3.3 zu sehen.



Abbildung 3.3: Rundtakttisch. (Firma Kapsch)

3.2.4 ABB Roboter

Seitdem, Roboter in alle Bereiche in Betrieb aufgenommen wurden, haben sich die Spielgesetze im industriellen Bereich auch geändert. Die Unternehmen versuchen von Tag zu Tag ihre Leistungen zu verbessern und mit Hilfe der

Roboter kann man diesen Anforderungen besser nachkommen, weil sie schnell, genau und ständig arbeiten können. Wie bei anderen Produktionsprojekten, sind auch in diesem Projekt bzw. Prozess auch Roboter mit verschiedenen Tools und Aufgaben im Betrieb. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

IRB120 als Batteriemanipulator

Der ABB Roboter, der mit Vakuumwerkzeug ausgestattet ist, entnimmt die Batterie aus dem Batterieblister und setzt diese nach der Winkelkontrolle in das Nest(Träger) auf der elektronischen Platine ein. Wie oben beim Abschnitt Batterieblister Beladeband erläutert wurde, hat der Roboter hier noch eine andere Aufgabe. Und zwar folgende: Wenn ein Stapel leer ist, soll der leere Stapel aus dem Prozess genommen werden.

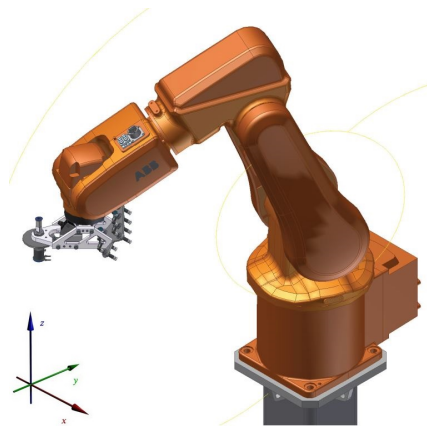


Abbildung 3.4: ABB Roboter IRB120 als Batteriemanipulator.

IRB120 als Übergabemanipulator

Der ABB Roboter als Übergabemanipulator ist zur Entnahme und Abgabe für zwei Stationen zuständig. Im ersten Schritt des Taktes, wird die elektronische Platine von der Drehtischseite entnommen und in das leere Nest der Lötstation eingesetzt. Danach wird das gelötete Teil durch den Roboter wieder in die Drehtischseite gelegt. Es bedeutet eine Datentransformation zwischen diesem Prozess bzw. dem Roboter und der Lötstation. Dies hat zur Folge, dass auf die Verwendung von Schnittstellen bzw. die Komplexität des Prozesses geachtet werden muss. Es muss die Frage beantwortet werden, welche Schnittstelle für diese Situation am geeignetsten wäre und es sollte dann auch die bestmögliche Schnittstelle verwendet werden.



Abbildung 3.5: ABB Roboter IRB120 als Übergabemanipulator.

IRB1600 als Verpackungsmanipulator

Dieser Roboter hat eine ähnliche Aufgabe, wie die vorherigen Roboter. Die produzierten Geräte, die auf zwei Förderbändern bis zur Endstation gebracht werden, sollen durch den Roboter abgeholt und in Kartonbox gefüllt werden.

3.2.5 Sicherheitstüre

Heutzutage sind die Sicherheitstüren von besonderer Bedeutung im industriellen Bereich, weil sie mit der Gesundheit der Mitarbeiter zu tun haben. Ein Prozess kann als sicherer Prozess gelten, wenn beim Öffnen einer der Sicherheitstüren oder einer allgemeinen Störung des Prozesses, der Prozessablauf sofort gestoppt wird. Außerdem werden auch bei einer solchen Störung, die Energiequellen wie Druckluft oder Drucköl, dass sie gefährlich für den Menschen sein können, unterbrochen. Aus diesem Grund, muss man besonders auf die Optimierung der Sicherheitstüre achten, damit die Sicherheit der Mitarbeiter und anderer Personen sichergestellt wird. In anderen Worten, die Sicherheit der Menschen hat immer den Vorrang.

3.3 Istmodellierung

Jeder Prozess beinhaltet verschiedene Tätigkeiten, Aufgaben und Abläufe, die miteinander verbunden und voneinander abhängig sind. Um den ganzen Prozess einfacher zu erfassen, zu ermitteln und zu analysieren, werden die betrachteten Prozesse modelliert. Mit Hilfe der Prozessmodellierung können die Prozesse und ihre Abläufe in vereinfachter Form dargestellt werden. Prozessmodelle können für verschiedene Ziele angewendet werden. „Einige Ziele der Prozessmodellierung sind Transparenz, Fehlervermeidung, Kosten, Dokumentation,

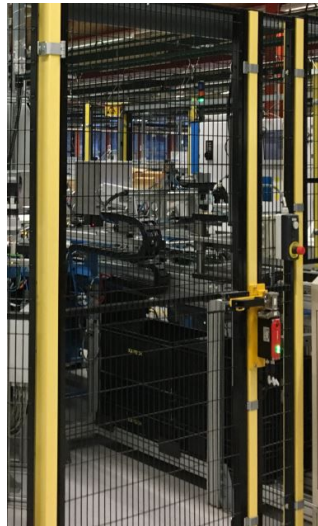


Abbildung 3.6: Eine Sicherheitstür als Beispiel. (Firma Kapsch)

Prozessoptimierung und Simulationen.“¹ Die Prozessoptimierung und die Simulation ist für diese Arbeit relevant. Um dieser Ziele zu erreichen, wird zunächst der bestehende Prozess modelliert, damit die Durchführung des Prozesses einfacher verstanden wird. Um einen Prozess zu modellieren, existieren zahlreiche Ansätze und Methoden. Zwei der bekanntesten Methoden, die als Diagramme dargestellt werden können, werden im Folgenden ganz kurz beschrieben[4].

3.3.1 Wertschöpfungskettendiagramm

Dieses Diagramm beinhaltet alle Prozesse eines Unternehmens. Es bedeutet eine allgemeine Darstellung des Unternehmens aber ungenauere Informationen über die einzelnen Prozesse[4]. Abbildung 3.7 zeigt ein kleines Beispiel des Wertschöpfungskettendiagramms. Dieses Beispiel gilt für einen Teil dieses Unternehmens.

3.3.2 Flussdiagramm

Im Gegenteil zum Wertschöpfungskettendiagramm wird beim Flussdiagramm der betrachtete Prozess so modelliert, dass die Durchführung des einzelnen Prozesses anschaulicher wird. Es bedeutet eine Prozessabbildung, die durch ein Flussdiagramm gezeichnet werden kann[4]. Zur besseren Anschaulichkeit und Vereinfachung wird der bestehende alte Prozess durch ein übliches Fluss-

¹Susanne Koch, (2011, S.47)

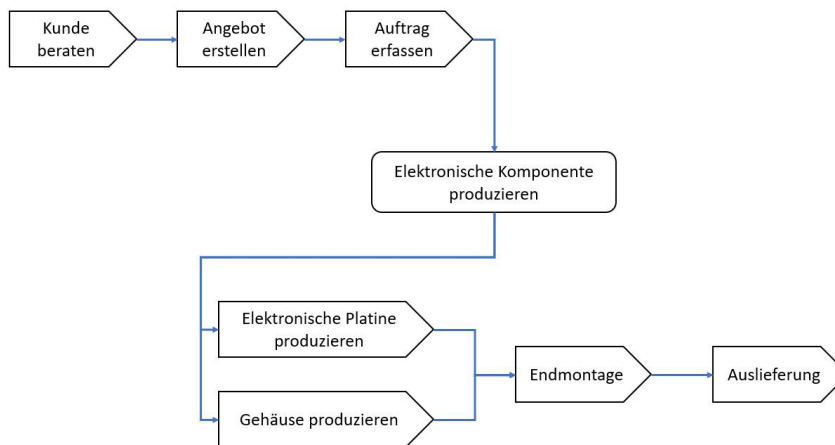


Abbildung 3.7: Wertschöpfungskettendiagramm eines Teil des Unternehmens.

diagramm modelliert. Folgende Bilder zeigen die Modellierung und Prozessdurchführung des Prozesses, der analysiert, verbessert bzw. optimiert werden soll.

3.4 Ist-Zustandsanalyse

Ein wichtiger Teil der Prozessmodellierung ist die Ist-Analyse des bestehenden Prozesses, die durch Fachexperten und mit Hilfe verschiedener Quellen, wie vorhandenen Unterlagen, Befragungen, Beobachtungen und Workshops realisiert werden kann[19]. Wie im vorigen Kapitel über Prozessoptimierung bereits angesprochen wurde, ist der Ausgangspunkt jeder Optimierungsaufgabe der Sollzustand, der vom optimierten Prozess erwartet wird. Um einen Sollzustand zu realisieren, muss zuerst der Istzustand betrachtet und analysiert werden, der als Ausgangsbasis betrachtet wird. Aus diesem Grund spielt die Prozessanalyse eine bedeutende Rolle in der Prozessoptimierung bzw. der Prozessverbesserung und in der Literatur wird meist eine Prozessanalyse vor der Optimierung empfohlen. In vielen Fällen und besonders bei der Prozessverbesserung wird der Ist-Zustand des zu betrachtenden Prozesses aufgenommen und dokumentiert. Mit Hilfe der aufgenommenen Daten und dieser Dokumentationen kann der Ist-Zustand des Prozesses besser verstanden und analysiert werden. Erst dieses bessere Verständnis führt dazu, dass geeignete Verbesserungsvorschläge und -ansätze für den Prozess entwickelt werden können[5].

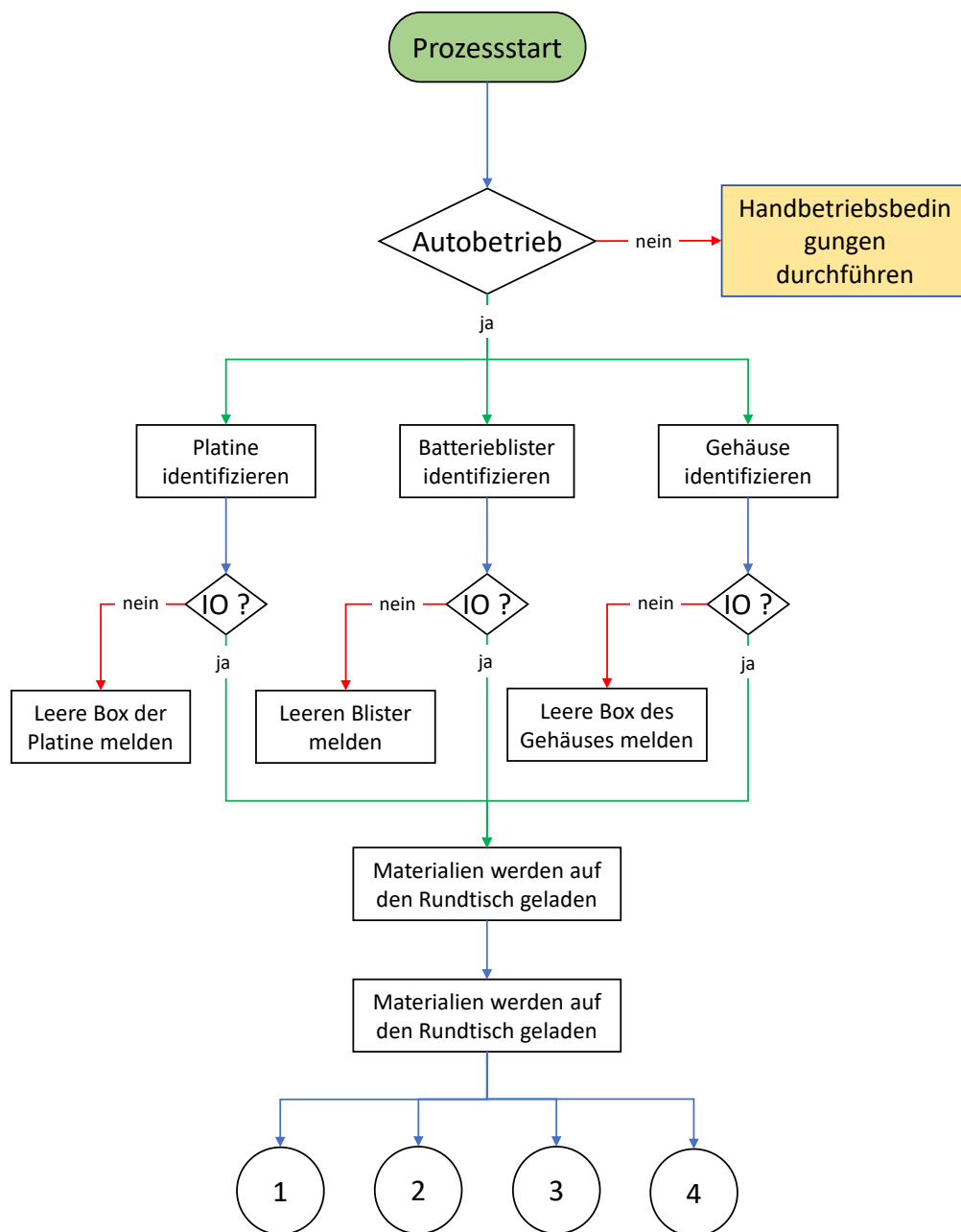


Abbildung 3.8: Flussdiagramm des Rundtaktisches.

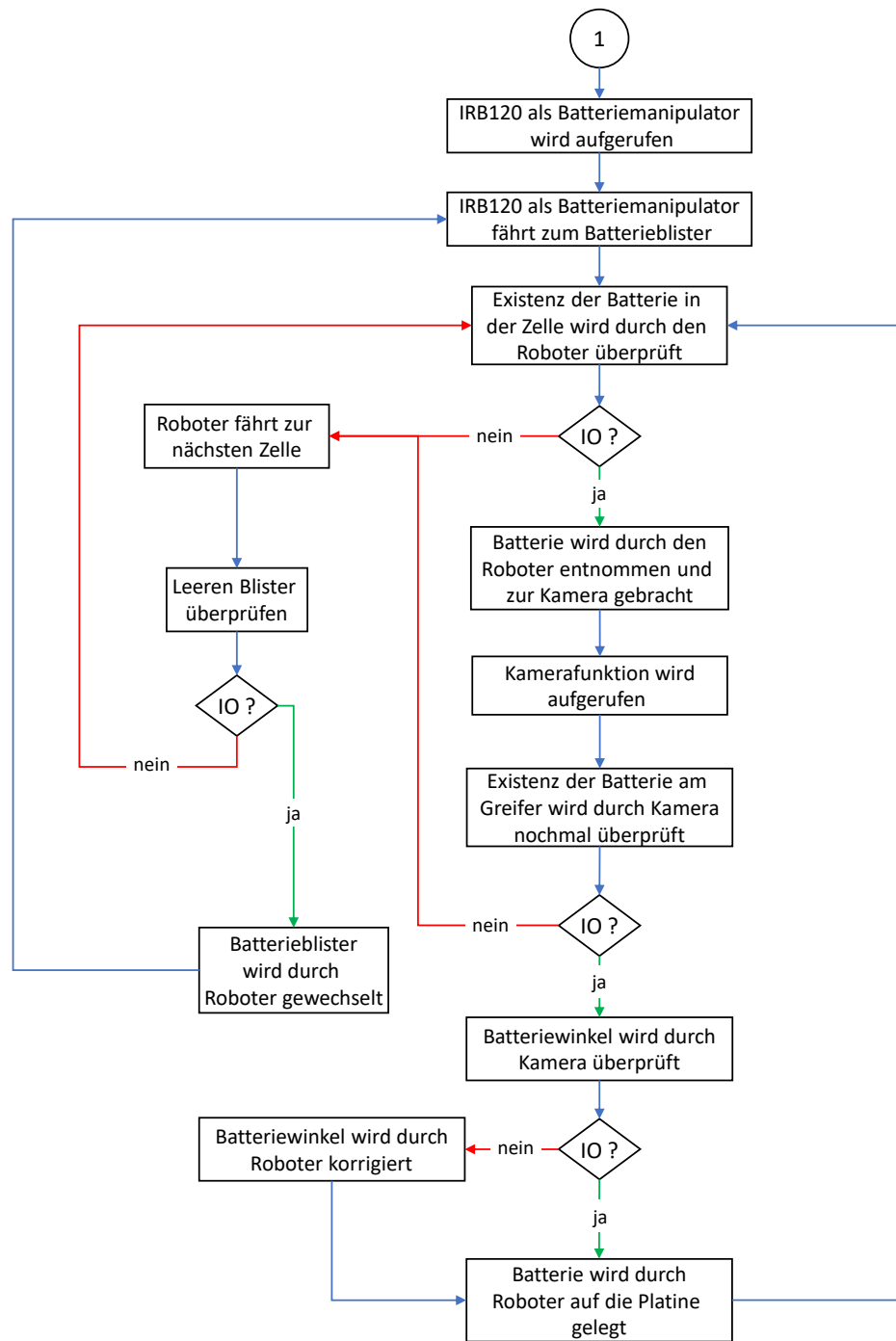


Abbildung 3.9: Flussdiagramm des Batteriemaniplator.

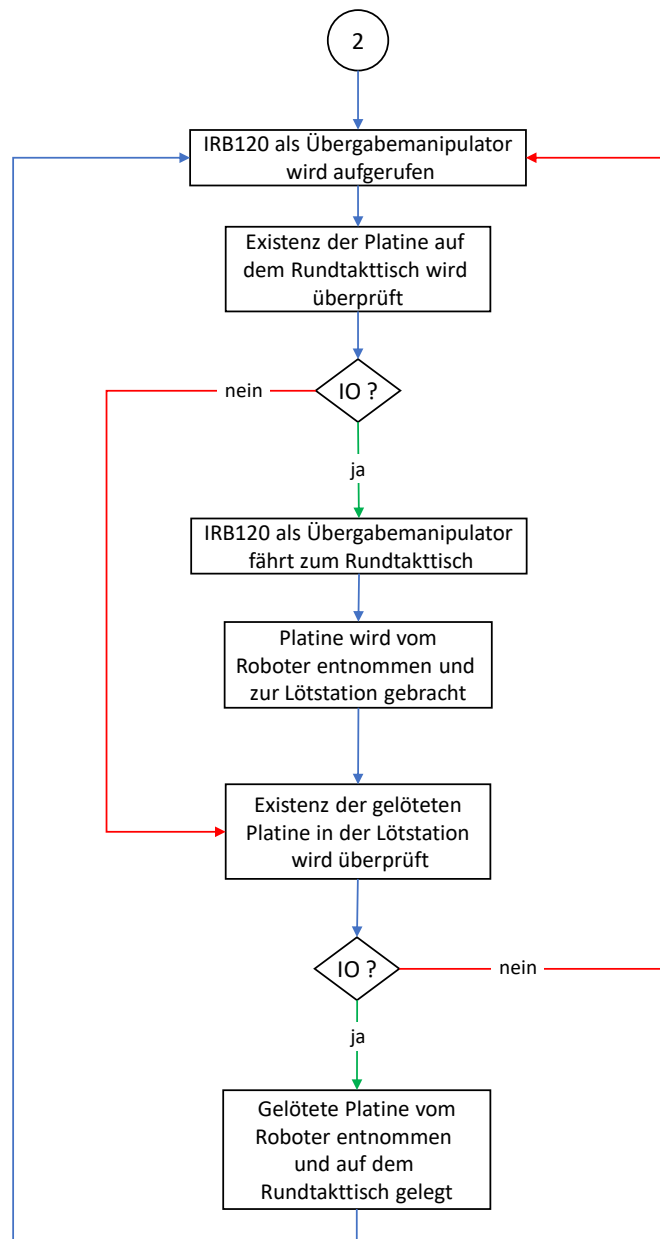
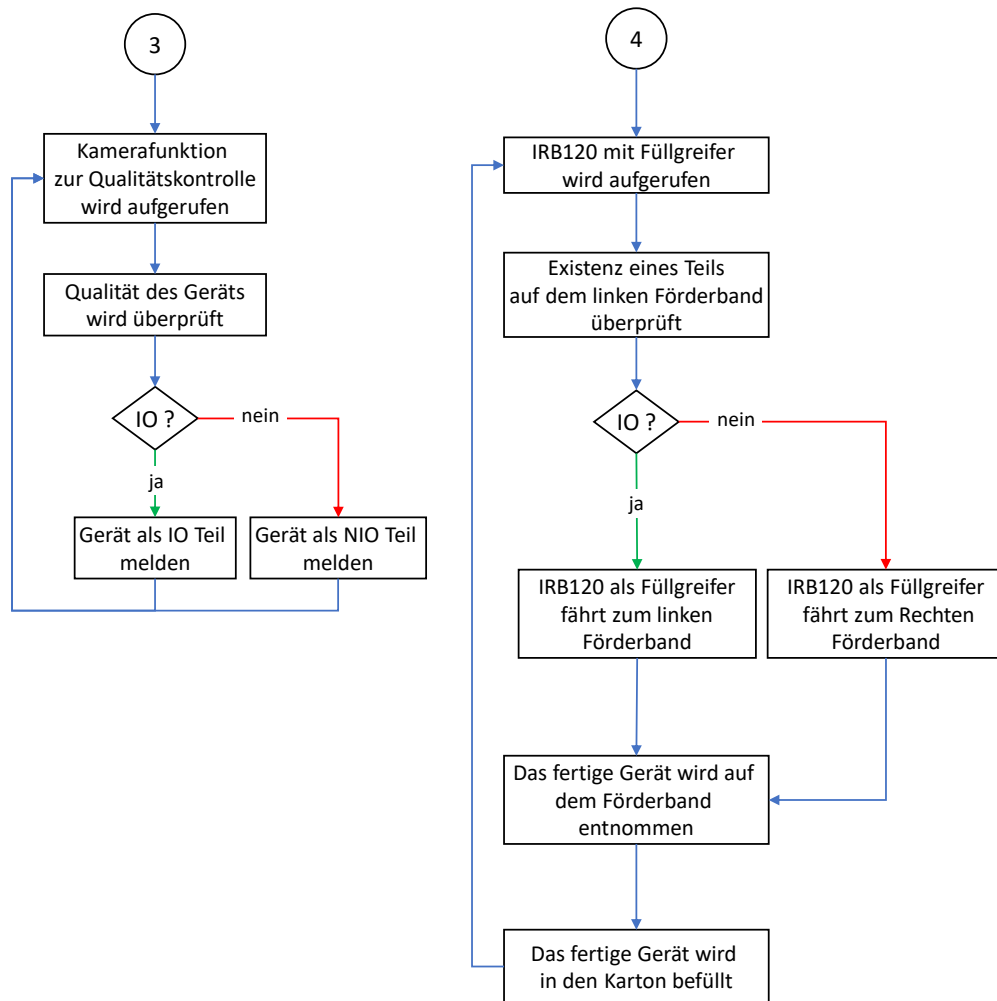


Abbildung 3.10: Flussdiagramm des Übergabemanipulator.



Flussdiagramm der Kamera

Flussdiagramm der Ausfüllstation

Abbildung 3.11: Flussdiagramm der Kamera und Verpackungsmanipulator.

3.4.1 Ist-Aufnahme

Die Ist-Aufnahme eines Prozesses kann in unterschiedlicher Art und Weise durchgeführt werden. Vor allem sind die bestehenden Prozessunterlagen genau zu beachten. Darüber hinaus können weitere Informationen durch Beobachtungen oder Befragungen eingeholt werden. Nachfolgend werden die genannten Methoden kurz beschrieben, wie sie in das vorliegende Projekt eingeflossen bzw. in dieser Diplomarbeit umgesetzt wurden.

Auswertung vorhandener Unterlagen

Die aktuell vorliegenden Informationen und Dokumentationen des bestehenden Prozesses, die elektronisch oder auf Papier existieren, sollen als Basis für die Beschreibung des Ist-Zustandes verwendet werden. Die Informationen können Prozessbeschreibungen oder Beschreibungen der einzelnen Geräte, die im Prozess genutzt werden, sein. Die vorhandenen Unterlagen können wertvolle Informationen über die aktuellen Anlagestrukturen, die Prozessabläufe, die zu erledigenden Aufgaben und existierenden Schnittstellen bringen. Am Beginn des Projektes wurden alle relevanten Unterlagen und Dokumentationen, die meist elektronisch vorlagen, gesammelt, um eine geeignete Abarbeitung zu ermöglichen. Ein großer Nachteil der vorhandenen Unterlagen bestand darin, dass ihre Aktualität nicht gewährleistet war, weil in den vergangenen Jahren laufend Veränderungen durchgeführt wurden. Hier soll v.a. auf aufscheinende Widersprüche in den Unterlagen geachtet werden. Es wurde auch eine Sortierung der Unterlagen empfohlen, damit sie sich besser für eine Analyse nutzen lassen. Diese Phase in diesem Projekt wurde im Abschnitt 3.3 einfachheitshalber kurz beschrieben. Eine detailliertere Darstellung konnte, aufgrund des Firmengeheimnisses, nicht zur Verfügung gestellt werden[5].

Workshop

Die Grundidee dieser Methode besteht darin, dass alle zuständigen Mitarbeiter und Experten sich treffen und über den zu betrachtenden Prozess diskutieren. Es kann eine Sitzung oder eine Veranstaltung (beispielsweise ein Workshop) sein, der durch die Fachleute organisiert wird. Den Workshop kann man, in anderen Worten ausgedrückt, als eine Denkwerkstatt interpretieren. Die beteiligten Personen teilen ihre Denkweise gemeinsam mit den anderen und stellen die erforderlichen Informationen zur Verfügung. Falls es um sehr große Unternehmen geht, wird der Workshop in mehrere Gruppen unterteilt, die für verschiedene Prozesse verantwortlich sind. Solche Workshops brauchen Moderatoren, um die Sitzung oder Veranstaltung durchzuführen und vorher definierte Ziele zu erreichen[4].

Befragungen

Das Gebiet der Befragung, das im Englischen als Interview bekannt ist, ist eine der geeignetsten Methoden, um die erforderlichen Informationen für bestimmte Themen zu erhalten. Im vorliegenden Fall ist eine bestimmte Anlage bzw. ein bestimmter Prozess das Thema. Der Grund warum diese Methode angewandt wird, besteht darin, dass die befragten Personen direkt oder indirekt mit dem Prozess zu tun haben und sich manche sogar jeden Tag mit dem Prozess beschäftigen. Das bedeutet, dass man von solchen Personen klare Informationen über den Prozess bekommt. Um solche reinen Informationen über einen Prozess zu gewinnen, muss man sich eben sehr genau (und mehr als man normalerweise annimmt) damit beschäftigen. Die durch die Befragung erhaltenen Informationen, können beispielweise typische Fehler, ungesicherten Gebiete rund um die Anlagen oder Fehler bei der Datensicherung sein. Die Befragungen können unterschiedlich durchgeführt werden: Während persönliche und telefonische Befragungen mündlich sind, gibt es auch elektronische Befragungen am Computer oder per Internet. Jede dieser Befragungsmethoden hat ihre Vor- und Nachteile, die im Folgenden beschrieben werden[5].

Mündliche Befragungen Bei dieser Art der Befragung muss der Interviewer, entweder die zuständigen Personen persönlich treffen und seine Fragen über das zu betrachtende Projekt bzw. den Prozess stellen oder dasselbe telefonisch durchführen. Der Hauptvorteil der Methode besteht darin, dass der Interviewer auf die relevanten Fragen auch detaillierter eingehen kann. Auf der anderen Seite, kann er während des Gesprächs auf neue Ideen kommen und gleich neue Fragen stellen. Das hilft ihm dabei zusätzliche Informationen zu sammeln. Als Nachteile können, die erforderlichen langen Gesprächszeiten mit vielen verschiedenen Personen, die auf unterschiedlichen Arbeitsplätzen aufgesucht werden müssen, genannt werden. Dieser Nachteil kann durch die Anwendung anderer Methoden, wie beispielsweise dem Workshop, vermieden werden[5].

Schriftliche Befragungen Im Gegenteil zu den mündlichen Befragungen, trifft man hier die zuständigen Personen nicht persönlich. Bei dieser Methode handelt es sich um die Vorbereitung von Fragebogen, die entweder traditionell auf Papier ausgedruckt oder elektronisch als Formularblätter per Computer oder Internet versendet werden können. Die erste Möglichkeit ist in fast allen Firmen veraltet. Um einen guten Fragebogen zu entwickeln, muss man selber gute Erkenntnisse über den Prozess haben. Natürlich wird am Ende des Fragebogens auch noch die Möglichkeit gegeben, eigene Anmerkungen (z.B.: Ideen, Verbesserungsvorschläge, Kritik o. ä.) anzubringen[5]. Manche Unternehmen haben sogar ein spezielles Programm dafür implementiert, damit

alle Mitarbeiter ihre Ideen jederzeit zu Experten senden können.

Beobachtung

Die Beobachtung ist eine weitere Methode, Informationen über den zu analysierenden Prozess zu gewinnen. Die Methode ist besonders geeignet, wenn man wenige bis gar keine Kenntnisse über den Prozess hat. Am sinnvollsten wäre es, wenn gleich die Fachleute und Experten den Prozess beobachten, weil sie den besten Überblick über Prozessabläufe haben und sie die nützlichsten Informationen extrahieren können.

3.4.2 Analyse des alten Prozesses

Durch die oben beschriebenen Methoden wurde die Ist-Analyse des alten Prozesses durchgeführt, wie nachfolgend ausgeführt wird.

Ist-Analyse unter Verwendung vorhandener Unterlagen

Es wurde weiter oben bereits erwähnt, dass vorhandene Unterlagen als erste Quelle der Analyse genutzt werden sollen. Auf jeden Fall müssen diese Unterlagen genau auf Ihre Nutzbarkeit hin überprüft werden. Besonders hilfreich, wäre es, wenn die Unterlagen genauere Referenzen von bekannten Firmen enthalten. Erst dann kann man entscheiden, ob man brauchbare Informationen herausziehen kann.

Schnittstellen Die Schnittstellen, die für die Verbesserung des Prozesses bei fast allen Geräten eingesetzt wurden, waren:

- Profibus : Der Name dieser Schnittstelle wurde aus dem englischen Begriff Process Field Bus abgeleitet. Der Profibus ist Standard in der Feldbus-Kommunikation in der Automatisierungstechnik². Der Profibus ist eine der stabilsten und sichersten Schnittstellen, die heute an mehreren Stellen in Unternehmen genutzt wird oder auch noch in Betrieb genommen wird. Mehr als 50 Millionen Geräte wurden bis Ende des Jahres 2017 mit dieser Schnittstelle vernetzt. Der Profibus basiert auf dem Prinzip der traditionellen seriellen Schnittstelle, die durch einen seriellen Konnektor mit 9 Pins angeschlossen werden kann. Jedes Gerät, das am Profibus angeschlossen ist, muss eine eigene Adresse haben. Die Adressen der Geräte, werden durch sogenannten Dip-Schalter (Englisch : Dip - Switch) festgestellt. Das bedeutet, dass die Profibus-Adressen nur hardwaremäßig

²<https://de.wikipedia.org/wiki/Profibus> - (Stand: 12. November 2019)

eingestellt werden können. Das Prinzip der seriellen Schnittstellen ist fast jedem bekannt. Abbildung 3.12 veranschaulicht die Verbindung von Profibus und DP-Adressen-Einstellung. Da die sogenannte Master und Slaves über ein Signalleitungspaar verbunden sind, werden die Daten auf der Signalleitung nur zwischen Master und einem Slave übertragen und andere Slaves müssen bis Ende der Datenübertragung warten. Die Ursache wird eine niedrige Geschwindigkeit der Datenübertragung sein.

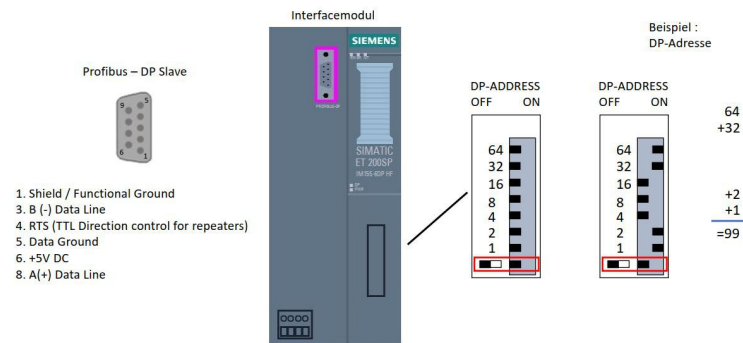


Abbildung 3.12: Profibus DP-Verbindungs-Adresse einstellen (Siemens AG)

- Serielle Schnittstellen :

RS-232, ist ein Standard für die seriellen Schnittstellen. Seit dem Jahr 1960, indem die serielle Schnittstelle standardisiert wurde, wurden die physikalischen Verbindungen zwischen elektronischen Geräten verbessert³. Sie ist fähig, eine Menge von Bits einzeln und in einer Reihenfolge zu übertragen. Das bedeutet, dass die Daten nacheinander übertragen werden und jedes Bit bis zur Übertragung auf ein vorheriges Bit warten muss. Die nacheinander gesendeten Daten können zur Verlangsamung dieser Schnittstelle führen und wird zu ihren Nachteilen gezählt. Der Vorteil dieser Schnittstelle ist die Robustheit. Heutzutage werden ganz wenige und spezielle Geräte mit der seriellen Schnittstelle produziert.

Ist-Analyse unter Verwendung des Workshops

Die Ist-Analyse im Rahmen eines Workshops durchzuführen, kann als eine der umfassendsten Methoden bezeichnet werden. Im Workshop sitzen nämlich alle zuständigen Gruppen verschiedener Abteilungen gemeinsam zusammen und tauschen Ihre Meinungen aus. Es ist aber nicht immer so, dass nur die Experten die Situation richtig analysieren und die dazu gehörige Lösungen entwickeln

³<https://de.wikipedia.org/wiki/RS-232> - (Stand: 14. November 2019)

können. Manchmal können Mitarbeiter, die immer in einem stillen Bereich beschäftigt sind, den zu betrachtenden Prozess besser verstehen und bessere Lösungsansätze finden. Mit Hilfe dieser Ideen können die Experten bessere Analyse durchführen und damit dementsprechend bessere Ansätze entwickeln. Aus diesem Grund, kann ein Workshop der beste Ort für die Ideensammlung verschiedener Gruppen sein.

Kamerastation Das Kamerasystem, das bei der alten Anlage installiert und in Betrieb war, wurde durch eine Ein-Ausgangskarte mit SPS verbunden. Solche Datenübertragungen, die ohne Schnittstellen übertragen werden, sind in der Tat Bitweise und sollen für die Weiterverwendung in Byte oder Wort umgewandelt werden. Beispielhaft kann man annehmen, dass bei einem Programm ein Datenbyte verwendet wird und 8 Bits können zu einem Datenbyte zusammengefasst werden. Beim Programmieren stehen solche Datenumwandlungen im Weg, denn die Bits müssen für die weitere Verwendung erst in Byte oder Word umgewandelt werden. Daher wird nach Möglich versucht, diese Umwandlung zu vermeiden.

Rundtaktisch Genauso wie das Kamerasystem, wurde auch der alte Rundtaktisch über digitale Ein- und Ausgänge mit SPS verbunden. Über den Nachteil einer solchen Kommunikation, wurde in vorigen Absatz schon berichtet. Beim Rundtaktisch ist die Echtzeit der Steuerung besonders wichtig, weil der Tisch mit anderen Geräten des Systems bzw. Prozessen zu tun hat. Normalerweise ist der Takt des Prozesses abhängig vom Rundtaktisch und damit kann er den ganzen Prozess beeinflussen.

Sicherheitstüre Die Sicherheitstüren, die bei der alten Anlage in Betrieb waren, funktionierten hardwaremäßig. Bei solchen Sicherheitstürverschlüssen gibt es einen mechanischen Bestätiger, der in das Schaltelement gesteckt werden muss, damit sichergestellt wird, dass die Sicherheitstür geschlossen ist. Die alten Sicherheitstüren hatten nur einen Kanal für die Sicherung.

Ist-Analyse unter Verwendung der Befragungen

Befragungen sind eine der wichtigsten Methode zur Ist-Analyse. Wie vorher beschrieben wurde, können die Ist-Zustände bzw. die Ist-Analyse, die beim Workshop oder andere Methoden nicht erhoben werden können, bei der Befragung direkt abgefragt werden. In diesem Projekt konnten einige Ist-Zustände, die verbessert werden sollten, gefunden werden.

- Der Roboter hat im Handbetrieb keine Druckluft :

In so einem Fall, existiert in der Anlage keine Druckluft am Greifer des Roboters, wenn die Sicherheitstür offen ist. Mit einer Zustimmungstaste, die für sichere Bedienung des Roboters im Handbetrieb vorgesehen ist, kann der Roboter im Handbetrieb weiterfahren, aber seinen Greifer funktionieren wegen Druckluftausfall nicht.

- In gefährlichen Bereichen sind die Zylinder ganz stark :
Bei dem alten Zustand dieser Anlage sind Zylinder ganz stark ein und ausgefahren. Bei jeder Anlage gibt es Bereiche, in der die Teile durch Mitarbeiter aufgefüllt werden müssen. Bei dieser Anlage gibt es drei Stationen, bei denen die Teile händisch gefüllt werden müssen. Eine der gefährlichsten Bereiche in den Unternehmen sind die pneumatischen Zylinder. Wir haben immer wieder gehört oder gesehen, dass viele Mitarbeiter ihren Finger in solchen Situationen verloren haben oder sich an anderen Stellen des Körpers verletzt haben.
- In der Verpackungsstation fallen die produzierten Geräte runter oder auf die Kartonbox

3.5 Identifikation der Schwachstellen

Wie es im vorigen Kapitel besprochen wurde, müssen die Schwachstellen im Prozess zur Prozessoptimierung bzw. Prozessverbesserung genau betrachtet und so analysiert werden, damit geeignete Maßnahmen zur Verbesserung und Behebung der Schwachstellen durchgeführt werden können. Als Schwachstellen in diesem Projekt können folgende Punkte genannt werden:

3.5.1 Schnittstellen

Als Schwachstellen bei den Schnittstellen kann man folgende Punkte aufzählen:

- Verhinderung der Dezentralisierung:
Wie man beim Abschnitt der Ist-Analyse bemerken kann, wurden beim Altzustand der Anlage verschiedene Schnittstellen, wie Profibus, RS-232 und direkte Ein- und Ausgänge verwendet. Bei industriellen Unternehmen können solche unterschiedlichen Schnittstellen, die auch von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen Funktionen hergestellt werden, die Dezentralisierung des Prozesses bzw. Unternehmens verhindern. Darüberhinaus kann diese die Komplexität der Produktionsanlage erhöhen. Heutzutage sind dezentrale Anlagen sehr wichtig für die Unternehmen

und deswegen kann dieser Punkt, also die Nutzung verschiedener Schnittstellen, als Schwachstelle des Prozesses erkannt werden.

- Mangelnde Geschwindigkeit der Schnittstellen:
Bis auf den vorhergehenden Punkt, sind alte Schnittstellen nicht schnell genug und manchmal führt das zu Störungen. Ein ganz besonderer Fall, den man beachten muss, ist die Taktzeit des Systems, die immer weiter verkürzt und effizienter organisiert werden muss. Hier kann die Langsamkeit mancher Schnittstellen bei der alten Anlage als Schwachstelle bekannt gegeben werden.
- Ungeeignete Datenübertragung:
Es kommt häufig vor, dass die alten Schnittstellen es nicht schaffen, große Datenmengen zu übertragen. Das kam auch bei unserem Projekt bei der Anlage vor, da auch Bilder übertragen werden mussten.

3.5.2 Kamerastation

Bei der Kamerastation konnten ein paar Schwachstellen aufgefunden werden, die direkt auf dem bestehenden Prozess auswirken, sich auch auf Taktzeit des Prozesses auswirkten. Solche Schwachstellen sollten in jedem Prozess besonders beachtet werden, da ein Fehler bei der Taktzeit zu einer Störung des ganzen Prozesses führen kann. Die Wichtigkeit der Taktzeit bei der Produktionsanlage besteht darin, dass sie als das Herzschlag des Prozesses bezeichnet werden kann. Die Taktzeit wirkt sich auf jeden Teil des Prozesses aus, denn alle anderen Geräte müssen sich mit der Taktzeit synchronisieren. Die identifizierten Schwachstellen in der Kamerastation sind:

- Abweichung der Genauigkeit in der ersten Kamerastation :
Bei der ersten Kamerastation werden die Lage bzw. der Winkel der BatteriefüÙe kontrolliert. Es wird darauf geachtet, dass sie die richtige Lage für die Belegung auf der elektronischen Platine haben. Nun kann man sich die Fragen stellen, ob die Genauigkeit der Winkelmessung für diesen Ablauf geeignet ist und die erforderlichen Kriterien für die Abweichung eingehalten werden können. Wie viele Fehler dürfen pro Produktionseinheit, z.B.: nach wie vielen produzierten Geräten, dürfen passieren?

Darauf ist besonders zu achten, denn die Batterielage auf der Platine ist für die Lötstation sehr wichtig. Eine kleine Abweichung bei der Ablage der Batterie auf der Platine, kann das ganze Gerät als NIO⁴ setzen und

⁴NIO : Nicht in Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

das Gerät muss aus dem Prozess genommen werden. Außerdem kann eine falsche Ablegung der Batterie auf der Platine zu einer Störung der Lötstation führen und damit einen größeren Zeitverlust für den ganzen Prozess bewirken. Im Workshop haben die Fachleute sich über dieses Problem genauer unterhalten und konstatiert, dass es sich dabei um eine massive Schwachstelle handelt, die dringend behoben werden sollte.

- Die beiden Kameras werden gleichzeitig ausgelöst :

Das installierte Bildverarbeitungssystem auf der alten Anlage nutzte zwei Kameras, die beim Triggern beide aktiviert wurden. Das bedeutet, wenn wir eigentlich nur eine Kamera triggern wollen, wird trotzdem auch die andere Kamera getriggert und die Daten weitergeleitet.

- Abweichung der Genauigkeit in der zweiten Kamerastation und keine Qualitätskontrolle :

Bei dieser Kamerastation muss kontrolliert werden, ob die produzierten Geräte gut ins Nest(Träger) gelegt wurden. Im Workshop wurde über die Qualität der produzierten Geräte gesprochen und auch darüber, dass die Qualitätskontrolle durch diese Kamera, wegen ihre mangelnden Fähigkeiten, nicht durchgeführt werden kann. Der Grund, warum sie hier eine Qualitätskontrolle verlangt haben, besteht darin, dass auf den produzierten Geräten, ein Bild bzw. Logo angebracht ist. Zusätzlich besteht die Anforderung, dass die Position des ausgedruckten Bilds oder Logos auf dem Gerät richtig platziert sein muss. Diese Situation ist auch eine der größten Schwachstellen der Anlage, weil sie direkt mit dem Personal und Kunden zu tun hat. Auf der einen Seite, muss das vom Personal kontrolliert werden, wenn keine automatische Qualitätskontrolle existiert. Bei dieser menschlichen Kontrolle, wird dann wahrscheinlich die Fehlerwahrscheinlichkeit ansteigen. Auf der anderen Seite bestehen die Kunden darauf, dass hier ganz wenige Fehler gemacht werden.

- ungeeignete Schnittstelle für größere Datenübertragung :

Heutzutage ist die Datenübertragung ein ganz wichtiges Thema für die Unternehmen. Durch die Dezentralisierung der Anlagen, können die Unternehmen flexibler und schneller überall da arbeiten, wo sie wollen. Auf diesem Grund versuchen die Unternehmen ihre bestehenden Anlagen an dezentrale Netzwerke anzubinden. Die Datenerfassung an jenen Stellen, an denen sie auch gebraucht werden, kann zu einer besseren Verarbeitung der Daten durchgeführt werden. Dadurch kann mehr Zeit gespart werden. Wenn es um eine Bildverarbeitung bzw. Bildererfassung geht, scheint die Datenübertragung noch wichtiger, weil sie in den Kontrollräumen ganz

einfach erfasst und umgehend darauf reagiert werden kann. Als einfaches Beispiel kann hier die Qualitätskontrolle der produzierten Geräte genannt werden. Wenn die Qualität eines Gerätes als NIO⁵ gesetzt wird, kann der Operator sich das Bild direkt am Monitor im Kontrollraum anschauen und entscheiden, ob das Gerät wirklich als NIO gesetzt und aus dem Produktionsprozess rausgenommen werden soll oder ob die Abweichung nicht so groß ist und es weiter gehen kann. Eine andere Möglichkeit diese Daten nutzen kann, ist es statistische Diagramme zu erstellen und damit eine weiter Verbesserung zu realisieren. Um die aufgenommenen Bilder zu übertragen und in einem Bildschirm zu zeigen, soll ein FTP-Server eingerichtet und ein Monitoringprogramm implementiert, dass weiter unten beim Abschnitt für optionale Optimierung (Siehe Abschnitt 3.8.1) genauer erläutert wird.

3.5.3 Rundtakttisch

Beim alten Rundtakttisch kann als erste Schwachstelle die Vollbremsung genannt werden. Es funktionierte so, dass das Bremssystem sofort nach dem Stopp gebremst hat, ohne sich mit dem Elektromotor des Rundtakttischs zu synchronisieren. Dies verursacht im Endeffekt keine effiziente Leistung und naturgemäß einen hohen Energieverbrauch. Ein anderes Problem, dass bei diesem Bremssystem auftreten kann, sind die hohen Instandhaltungskosten. Der Grund dafür ist Vollbremsung, die wegen des Rückdrehmoments des Elektromotors Schäden verursachen kann. Diese verursacht anderer Nachteil und zwar nach der Zeit, wird sich den Rundtakttisch nicht mehr in genauen Stelle positionieren. Eine andere Schwachstelle für den Rundtakttisch kann die Verbindung mit der SPS gezählt werden, dass die Verbindung durch normalen Ein -und-Ausgänge war. Diese führt zu einer Übersichtlichkeit bei der Diagnose des Systems.

3.5.4 Verpackungsstation

Die Verpackungsstation ist die Endstation des Prozesses in der Produktionsphase. Hier werden die produzierten Geräte in Kartons gefüllt. Bei diesem Schritt ist es besonders wichtig, dass die Kartons keine leere Zelle haben, weil sie nach dem Lager direkt zu den Kunden geliefert werden. Die leeren Zellen sind die wichtigste Schwachstelle in dieser Station, die unbedingt - so gut wie möglich - behoben werden sollte. Folgende Schwachstellen können für die Verpackungsstation genannt werden:

- Leere Zellen im Karton :

⁵NIO : Nicht in Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

Die leeren Zellen in den Kartons dürften überhaupt nicht vorkommen, da das Endprodukt gleich anschließend zu den Kunden geliefert wird. Aber es kann nicht ganz garantiert werden, dass der Roboter keine Geräte verliert oder beim Abholen des Gerätes, alles sauber läuft. Aus diesem Grund muss ein zuständiger Mitarbeiter die gefüllten Kartons immer überprüfen und falls die Zellen leer sind, sollen diese händisch nachgefüllt werden. Das Problem ist damit aber noch nicht gelöst, da die produzierten Geräte mit gewissen Seriennummer produziert werden und diese Seriennummer in eine Datenbank eingetragen werden. Man kann sich durchaus vorstellen, dass das alles dem Unternehmen viel Zeit kostet. Darüber hinaus können sich auch beim letzten Schritt menschliche Fehler einschleichen.

- Manche Geräte werden schief in die Zellen reingelegt :

Die Schwachstelle, dass manche Geräte schief in die Zellen reingelegt werden, ist ein großes Thema bei der Endstation. Ein Unternehmen wünscht sich immer ein vollautomatisiertes System, das geringe Fehler macht. An dieser Stelle wird man sich die Frage stellen, ob solche automatisierten Systeme ihre Fehler wenn möglich automatisch lösen könnten. Diese Frage zu beantworten, ist nicht so einfach, weil solche Systeme mit einer Vielzahl von Sensoren und Aktoren ausgestattet sein müssen. Eine solche Ausstattung kann das System sehr komplex machen und auch zu hohen Kosten führen. Die Unternehmen sollten darauf achten, eine hohe Komplexität des Prozesses zu vermeiden. Es gibt heutzutage bereits Kameras, die uns mit ihrer hocheffizienten Technologie helfen können, trotzdem ist das aber nicht so einfach zu realisieren.

3.5.5 Sicherheitstüre

Auch Sicherheitstüren sind in den Unternehmen ein ganz wichtiges Thema. Die großen Unternehmen mit vielzähligen Mitarbeitern müssen auch auf Gesundheit ihrer Mitarbeiter achten, weil Unfälle zu den starken Verletzungen führen können. Viele Unternehmen achten zuerst auf die Gesundheit und die Vermeidung von Unfällen und erst dann beschäftigen sie sich mit Prozessabläufen. Normalerweise werden bei gefährlichen Geräten, wenn man eine Sicherheitstür öffnet, die Druckluft und das Drucköl ausgeschaltet. Die Sicherheitstüren beim alten Zustand der Anlage waren überbrückbar. Das heißt, man konnte mit einem anderen Anschluss bzw. Stecker die Sicherheitstüren überbrücken und sich in Gefahr bringen. Es geht aber nicht nur um sich selber, sondern auch um andere Personen. Deswegen sollte das Problem schnellstens behoben werden.

3.6 Schwachstellenanalyse und Optimierung

Um eine Schwachstelle zu verbessern, sollte man sie im ersten Schritt analysieren und danach dafür nach geeigneten Lösungen suchen.

3.6.1 Schnittstellenoptimierung

Der erste Punkt, wie man einen Prozess optimieren bzw. verbessern kann, ist die Schnittstelle, da sie eine wichtige Aufgabe besitzt und zwar die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen. Bei dem alten Prozess wurde Profibus als Schnittstelle verwendet. Diese Schnittstelle ist im Vergleich zu den neuen Schnittstellen langsamer reagiert auch nicht so flexibel. Die neue Schnittstelle also Profinet, der beim neuen Stand der Anlage in optimierten Bereichen ersetzt wurde, hat einige Vorteile, wie höhere Leistung, Echtzeit und Übertragung großer Datenmengen, damit man manche Punkte verbessern konnte. Als Beispiele können in diesem Fall die Dezentralisierung und Visualisierung genannt werden. Ein wichtiger Punkt ist die Diagnose des Prozesses und damit bessere Fehlerbehebungen, dass diese auch in diesem Fall realisiert wurde.

Um die Unterschiede zwischen Profibus und Profinet besser zu verstehen, werden nachfolgend die großen Unterschiede zwischen beiden beschrieben.

Profinet

Profinet ist grundsätzlich die Weiterentwicklung der Feldbustechnik bei Siemens. Die im Englischen als Process Field Network bekannten Schnittstellen ist der offene Industrial-Ethernet-Standard⁶. Die Standard-RJ-45-Ethernet-Buchse wird als physikalische Buchse für Profinet verwendet. Das Profinet ist eine ziemlich neue Generation von Schnittstellen und basiert auf dem Prinzip des Ethernets. Da der Controller als Master funktioniert und durch zwei Signalleitungspare mit anderen Geräten verbunden ist, kann der Controller mit allen Slaves kommunizieren. Wie beim Abschnitt 3.4.2 besprochen, wird die Geräteadresse beim Profibus durch einen Dip-Schalter eingestellt. Beim Profinet funktioniert das alles ganz anders. Und zwar durch die IP-Adresse, die fast jedem bekannt ist. Die IP-Adresse für Geräte, die am Netz angeschlossen sind, können durch verschiedene Software eingestellt werden. Als Beispiel für solche Software kann PRONETA von der Firma Siemens vorgestellt werden. Die am Netz angeschlossenen Geräte werden durch drei Parameter, die aus dem Gerätenamen, der Mac und der IP-Adresse bestehen, für den Controller erkennbar. Abbildung 3.13 veranschaulicht ein Netzwerk, das mit Profinet angeschlossen ist.

⁶<https://de.wikipedia.org/wiki/Profinet> - (Stand: 12. November 2019)

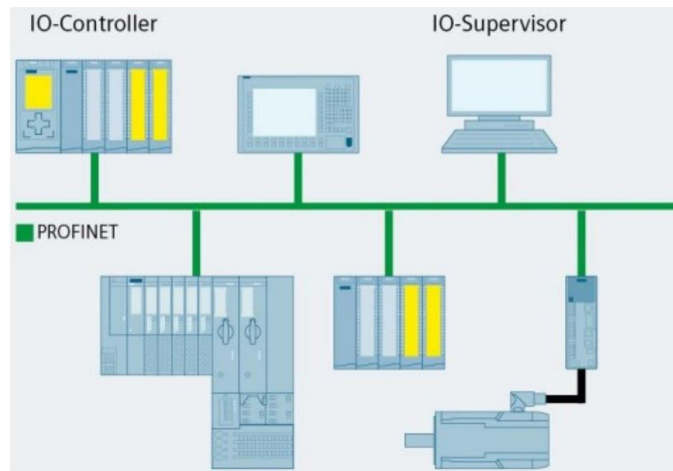


Abbildung 3.13: Profinet Netzwerk und Beispiele der Adresse (Siemens AG)

Wie in der Tabelle 3.1 gezeigt wird, hat jedes Gerät beim Profinet 3 Parameter zu erkennen. Die Mac-Adresse wird bei der Herstellung des Geräts eingestellt und ist konstant. Gerätenamen und IP-Adressen können überall dort, wo das Netzwerk erreichbar ist, eingestellt werden.

Unterschied zwischen Profibus und Profinet

Die wichtigsten Unterschiede zwischen diesen beiden bekanntesten Schnittstellen Profibus und Profinet kann im Folgenden so aufgelistet werden.

- Profinet ist intelligenter als Profibus
- Profinet ist schneller als Profibus
- Profinet ist flexibler als Profibus
- Profinet kann mehr Daten im Vergleich zum Profibus übertragen
- Mit Hilfe des Profinets ist die Dezentralisierung einfacher realisierbar als mit Profibus
- Profibus ist robuster als Profinet




Geräte			
Gerätenamen	SPS	HMI	SWITCH
IP Adresse	192.168.0.1	192.168.0.2	192.168.0.4
MAC Adresse	26-54-0A-T4-34	31-R3-42-F4-14	74-27-0C-T7-65

Tabelle 3.1: Einige Beispiele der Gerätenamen und Adressen. (Siemens AG)

Intelligenz Wie oben beschrieben, sind Master und IO-Geräte durch zwei Signalleitungspaare verbunden. Der Grund, warum das Profinet intelligenter als Profibus ist, besteht darin, dass die sogenannten Telegramme mit Hilfe der Switches intelligent versendet werden können. Beim Profinet werden die Telegramme, wegen der zwei vorhandenen Signalleitungen nicht auf andere Geräte warten, sondern können sie wegen ihrer Intelligenz vor den Switchs auf dem Weg zum Ziel warten.

Geschwindigkeit Eine hohe Leistung und Geschwindigkeit ist immer der Wunsch von Unternehmen und eigentlich eine notwendige Bedingung zum Erfolg der Unternehmen. Wie bei den vorherigen Abschnitten und Paragraphen beschrieben ist, funktioniert Profinet sehr viel schneller als Profibus und diese hohe Geschwindigkeit bringt viele Vorteile mit sich.

Flexibilität Eine anderer Unterschied zwischen Profinet und Profibus ist die Flexibilität. Wegen der Topologie ist das Profinet sehr dafür geeignet sich einfacher mit verschiedenen Netzwerken zu verbinden und das kann bestimmte besondere Fähigkeiten mitbringen.

Dezentralisierung Dieser Punkt ist heutzutage ein sehr interessantes Thema, weil die Datenerfassung für die Unternehmen, die viele Anlagen haben, nicht so einfach ist. Der Profinet mit intelligenten Switchs und Geräten kommt in diesem Fall zur Hilfe.

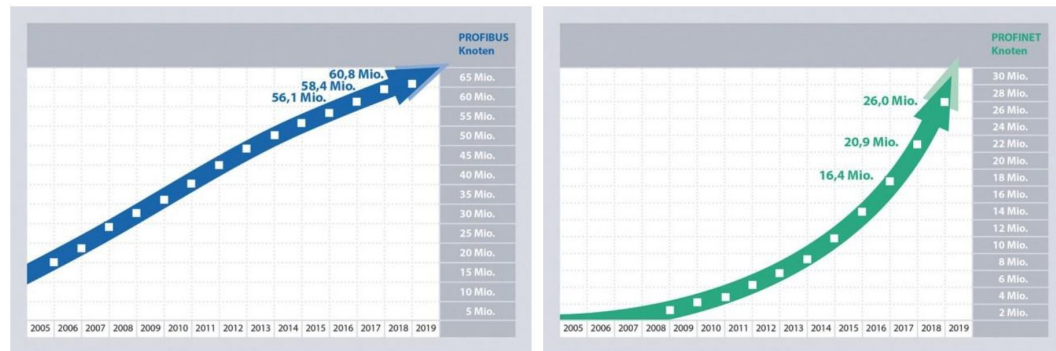


Abbildung 3.14: Vergleich zwischen Profibus und Profinet seit 2005 (Siemens AG)

Robustheit Trotz der vielen Vorzüge des Profinets ist Profibus noch eine robuste und nutzbare Schnittstelle, die noch in vielen Anlagen im Betrieb ist oder auch noch in Betrieb genommen wird. Abbildung 3.14 zeigt einen Vergleich zwischen Profibus und Profinet und deren Knotenverwendung vom Jahr 2005 bis 2019. Es kann bemerkt werden, dass das Profinet sich gut im Industriebereich geeignet.

CP-Karte Es ist offensichtlich, dass die SPS wichtigste Rolle in der Automatisierungstechnik spielt, da sie alle Maschinen und Einheiten kontrollieren muss. Die SPS im alten Zustand konnte nicht am Profinet angeschlossen werden, weil sie kein Ethernet-Anschluss besaß. Auf Grund der Dezentralisierung wurde es entschieden, dass sie mit einer CP-Karte, die 4 Ethernet-Anschlüsse hat, ausgestattet wird. Diese Karte ist in Abbildung 3.15 (rechte Karte) zu sehen und mit Hilfe dieser Karte kann jetzt die SPS im aktuellen Zustand mit der 4-Geräten kommunizieren. Außerdem können externe Switches auch an der CP-Karte angeschlossen werden, damit mehrere Geräte sich mit der SPS verbinden können. Durch diese Erweiterung konnten sich die Einheiten wie das Bildverarbeitungssystem, der Rundtisch und das implementierte Monitoring- und Bediensystem einfach mit SPS über Standard-Schnittstelle verbinden. Darüberhinaus wurde die Dezentralisierung ganzer Anlage verbessert.

3.6.2 Optimierung in der Bildverarbeitung

Es ist offensichtlich, dass die Bildverarbeitung ein sehr wichtiges Thema im industriellen Bereich ist und eine bedeutende Rolle in der Kombination mit automatisierten Systemen spielt. Der Grund dafür ist die hohe Geschwindigkeit



Abbildung 3.15: CP-Karte für STEP7-400 Serie (Siemens AG)

der Produktionsanlage, die besondere Anforderungen an die Kontrolle ihrer Produkte stellt. Deswegen sollte man sie, so gut wie möglich optimieren, dass das Endprodukt die verlangte Kriterien auch erreichen kann.

Genauigkeit der Kamera Die erste Kamera befindet sich vor dem Roboter, um den Winkel der abgeholten Batterie zu messen. Dieser Winkelwert soll zum Roboter weitergeschickt werden, damit er die richtige Position der Batterie feststellen kann. Und falls eine Abweichung existiert, soll der Roboter diese Abweichung korrigieren bzw. beheben. Je genauer der Winkel durch die Kamera gemessen wird, desto genauer ist die Position der abgelegten Batterie. Aus diesem Grund sollte in diesem Fall eine spezielle Kamera verwendet werden, dass das Bildverarbeitungssystem genauere Informationen zum Roboter schicken kann.

Trigger der Kamera Andere Schwachstellen, die optimiert werden sollten, sind die Trigger der Kameras. Das Problem bei den Triggern der Kameras war die gleichzeitige Auslösung der beiden Kameras. Während anderer Aufgaben des Prozesses, soll der IRB120-Roboter die Batterie auf dem Blister abholen und für den nächsten Schritt bereithalten. Bei gleichzeitiger Auslösung der Kameras sollte er auf den Trigger der anderen Kamera warten. Das ist genau die Schwachstelle, die unerwünscht war. Diese Schwachstelle musste für eine optimale Taktzeit unbedingt behoben werden. Deswegen sollte ein neues Kamerasystem mit dieser Fähigkeit ausgestattet sein. Natürlich muss zwischen den Triggern und der Durchführungszeit ein Kompromiss gefunden werden. Diese Aufgabe kann durch SPS und die Kamera gelöst werden. Um einen Überblick über diesen Zustand zu erhalten, wird in diesem Abschnitt der Ablauf zwischen SPS und der Kamera und der Kombination zwischen den beiden kurz beschrieben.

Ablauf zwischen SPS und Kamera In Abbildung 3.16 ist das Zeitverlaufdiagramm der Kameras zu finden. Bei den Triggern der Kameras, muss dieses Diagramm zusammenpassen, ansonsten werden die Daten zum gewählten Gerät nicht oder nicht richtig gesendet. Die verwendete Schnittstelle ist in diesem Fall Profinet. Der Ablauf dieser Kommunikation kann wie nachfolgend aufgelistet werden:

- Die SPS überprüft, ob die Kamera bereit ist. Wenn „READY“ auf Eins gesetzt und „ACK“ auf Null gesetzt ist, bedeutet das für die SPS, dass die Kamera bereit ist, ein neues Foto zu machen. Falls die Taktzeit eine positive Flanke sendet, kann „TRG“ zur Kamera gesetzt und gesendet werden.
- Wenn das Kamerasystem „TRG“ empfängt, fängt der Controller des Kamerasystems an, Fotos zu machen. Während der Fotoaufnahme wird „READY“ also auf Null gesetzt, und „ACK“ auf Eins gesetzt.
- Wenn die Fotoaufnahme fertig ist und das System ein neues machen kann, wird „READY“ wieder auf Eins gesetzt.
- Wenn die SPS das „ACK“ empfängt und das „READY“ wieder auf Eins gesetzt ist, kann sie die definierten Daten und Informationen von der Kamera auslesen und kann „TRG“ auf Null gesetzt werden.

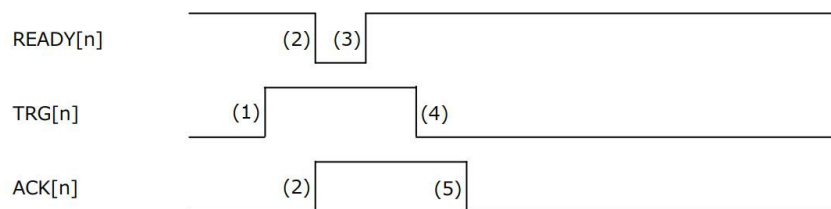


Abbildung 3.16: Zeitverlaufdiagramm der Kamera (Keyence)

Durchführungszeit der Kamera Ein Vergleich zwischen altem und neuem Kamerasystem zeigt, dass die Durchführungszeit der Kameras wesentlich verbessert worden ist. Diese Verbesserung, die in Abbildung 3.17 zu sehen ist, ist auf die schnelleren Kameras bei den Schnittstellen zurückzuführen. Durch die schnellere Durchführungszeit kann die Taktzeit des ganzen Systems verbessert werden. Und was zur Verbesserung der Taktzeit führt, wird als Optimierung bezeichnet.

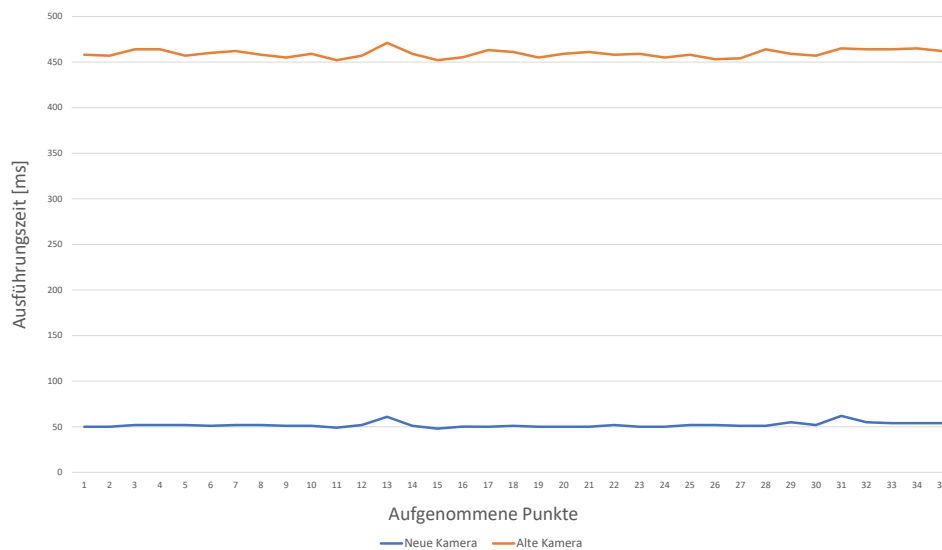


Abbildung 3.17: Ausführungszeit der Kameras

Vergleich der BatteriefüÙe Abbildung 3.18 und Abbildung 3.19 zeigen einige Unterschiede zwischen BatteriefüÙe vor und nach der Optimierung der Kamerastation.

Qualitätskontrolle und Lageerkennung Beim alten Kamerasystem wurde nur der Unterschied zwischen zwei Typen erkannt. Um solche Produktionsanlagen flexibler zu machen, sollte man sich darum kümmern, dass viele verschiedenen Typen von Geräten mit unterschiedlichen Logos und Bezeichnungen produziert werden können. Um dies zu realisieren, wird vom Automatisierungsteam verlangt, dass die Qualität und Lage des Logos und der Bezeichnungen auch kontrolliert werden kann, weil solche Überprüfungen durch Menschen ungeeignet ist. Bei diesem Schritt der Prozessverbesserung wurde eine neue Kamera mit hoher Auflösung und Farberkennung gebaut und in Betrieb genommen. Die hohe Auflösung der Bilder kann sowohl in der Bildverarbeitung, als auch im Kontrollraum hilfreich sein. Wenn den Operator die aufgenommenen Bilder mit hoher Auflösung zur Verfügung hat, kann er über die Bilder besser entscheiden, ob z.B. ein Bild bzw. Gerät als IO⁷ oder NIO⁸ erkannt werden soll.

⁷IO : In Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

⁸NIO : Nicht in Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

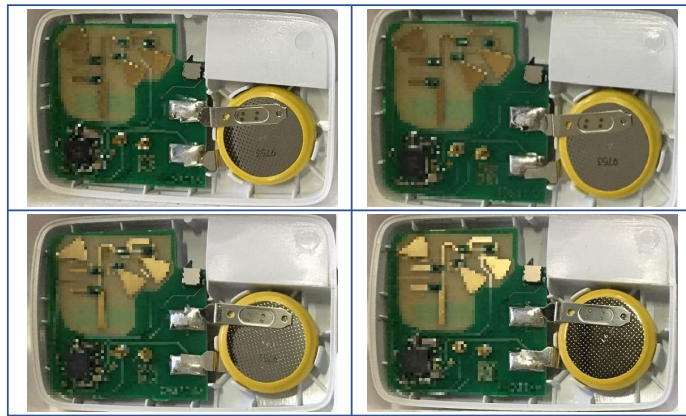


Abbildung 3.18: BatteriefüÙe vor der Optimierung.

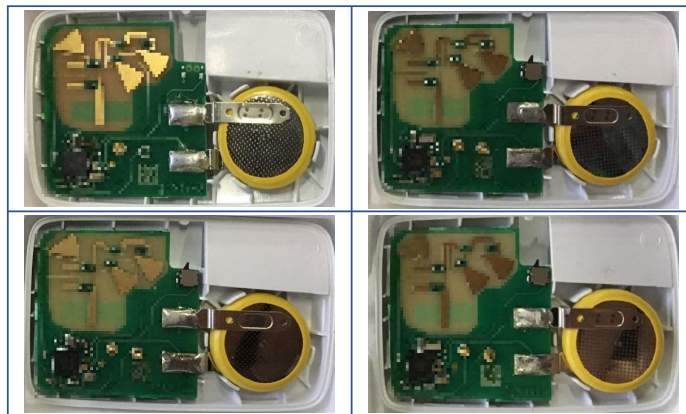


Abbildung 3.19: BatteriefüÙe nach der Optimierung.

3.6.3 Optimierung des Rundtakttisches

Wie vorher besprochen wurde, ist die Echtzeit der Steuerung beim Rundtakttisch ganz wichtig, weil er den ganzen Prozess beeinflussen kann. Durch Verwendung des neuen Elektromotors für den Rundtakttisch, kann man die Echtzeit der Steuerung ganz gut realisieren, weil der neue Elektromotor des Rundtakttisches mit Profinet ausgestattet ist und diese Schnittstelle fähig ist, diese Tatsache zu realisieren. Außerdem kann mit dem neuen Elektromotor und in der SPS implementierten Programmen das ganze System besser beobachtet und diagnostiziert werden. Die einfache Datenübertragung und Erfassung der Fehler in der SPS, macht die Behebung der bestehenden Fehler viel einfacher. Es hat auch den Vorteil, dass mit Hilfe der Fehlerdiagnose der Rundtakttisch durch statistische Daten in Zukunft optimiert werden kann.

3.6.4 Optimierung der Sicherheitstüre

Wie oben bei der Analyse des Ist-Zustandes beschrieben wurde, konnten die Sicherheitstüren der alten Anlage überbrückt werden, was auf gar keinen Fall akzeptabel war. Um das Problem zu lösen, wurde der Sicherheitsschalter, dass den Schlüssel bzw. Stecker elektronisch kodieren kann, empfohlen. Es bedeutet, einen speziell kodierten Stecker für jeden Schalter bzw. jede Sicherheitstür und ist es unmöglich, dass man mit einem anderen Schlüssel oder Stecker die Tür öffnen kann. Der Schalter funktioniert über zwei Kanäle und sicherheitshalber wurde noch eine andere Hardwaresicherheit zwischen Sicherheitstür und Kontroller angeschlossen. Abbildung 3.20 veranschaulicht der Unterschied zwischen beiden Modellen.

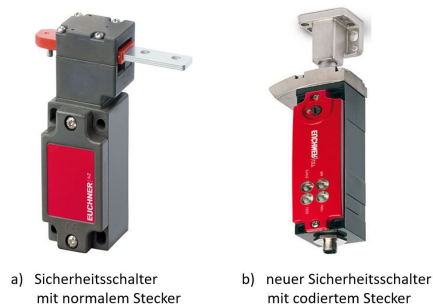


Abbildung 3.20: Sicherheitstürschalter vor und nach der Optimierung (Firma EUCHNER).

3.7 Bildverarbeitungssoftware

Der Hauptgrund, warum so eine Software implementiert werden sollte, ist hohe Flexibilität, die normalerweise in diesem Bereich nicht ausreichend angeboten wird. Die existierenden Bildverarbeitungssysteme sind nicht Open-Source-Software und man kann sie nicht so einfach programmieren. Sie sind oft mit definierten Optionen ausgestattet, die nur für besondere Fähigkeiten realisiert werden. Das bedeutet, dass man sich für die Optionen, die man extra nutzen will, entweder eine teure Version besorgen oder ein anderes System kaufen muss. Dieses ist dann sehr teuer und es kann sein, dass es für das ganze System auch noch ungeeignet sein kann. Außerdem gibt es Stellen, bei denen solche Veränderung auf gar keinen Fall möglich sind. Aus diesem Grund kommt man auf die Idee eine Open-Source-Software zu implementieren, dass man einfach die Tools und Veränderungen je nach Situation realisieren kann. Darüber hinaus wird so eine Software auf jeden Fall günstiger sein, als auf dem Markt existierenden Systeme. Dies kann als ein weiterer Punkt für die Optimierung gezählt werden, der später genauer erläutert wird.

3.7.1 Softwareoberfläche

Die Oberfläche der implementierten Software ist in Abbildung 3.21 dargestellt. Um die ganze Software besser zu beschreiben, ist die Softwareoberfläche in 4 Abschnitte geteilt, die jeweils separat dargestellt werden. Vor dieser Beschreibung wird ein kurzer Überblick gegeben.

1: Auswahlfeld für Objekt-Winkelerkennung

In diesem Feld kann man sich zwischen zwei Möglichkeiten entscheiden, die durch ein Toolfeld bearbeitet und gespeichert werden. Die erste Wahlmöglichkeit ist die Objekterkennung und zweitens kann man den Winkel des Objekts vom ursprünglichen Standort berechnen. Der Ursprung kann entweder von der Software oder bei der Bearbeitung der Tools bestimmt werden.

2: Tools

Dieses Feld beinhaltet die Tools bzw. Werkzeuge, die als Basis zur Verfügung gestellt werden und die mit dem, durch die Kamera aufgenommenen Bild, verglichen werden können. Es gibt auch andere Tools bei den Bilderdetails, mit denen man die Bilder und ihre zu bearbeiteten Funktionen genauer anschauen kann.



Abbildung 3.21: Softwareoberfläche.

3: Kommunikationsfeld

Als eine der vielleicht wichtigsten Fähigkeiten solcher industriellen Systeme, kann die Kommunikation bzw. Schnittstelle des Systems vorgestellt werden, weil die Datenübertragung zwischen industriellen Geräten eine sehr wichtige Rolle in diesem Zusammenhang spielt. Als Schnittstelle in diesem System bzw. Programm wurde TCP/IP angewendet, die sie über die IP-Adresse mit anderen Geräten kommunizieren lässt.

4: Kamerabedienfeld

Falls das Bildverarbeitungssystem in Betrieb ist, wird dieses Feld am wenigsten verwendet. Allerdings kann als Aufgabe des Felds, die Anzeige des Bilds oder ein manuelles Vergleichen zwischen Kamerabild und Werkzeug genannt werden. Wie man in Abbildung 3.21 sehen kann, wird in diesem Feld gezeigt, ob ein Objekt in Ordnung oder nicht in Ordnung ist. Den Winkelunterschied zwischen Ursprung und der richtige Objektlage wird auch in diesem Feld angezeigt.

3.7.2 Objekterkennung

Wenn man an die industrielle Bildverarbeitung denkt, fällt einem als erstes die Objekterkennung ein, weil bei jeder industriellen Aufgabe zuerst das betrachtete Objekt erkannt werden muss, damit überhaupt auf ein Bild reagiert werden kann. Aus diesem Grund wurde in dieser Diplomarbeit bzw. der entwickelten Software versucht, zuallererst eine Objekterkennung zu realisieren, damit weitere Optionen dann einfacher zu programmieren waren.

3.7.3 Winkelmessung eines Objekts

Um den Winkel eines Objekts zu messen, muss man zuerst die Richtung des Objekts erkennen. Die Richtung kann entweder durch einen Anwender definiert werden oder durch ein Programm erkannt werden. Um ein Programm für die Richtungserkennung des Objekts zu implementieren, kann man verschiedene Methoden verwenden. Die bekannteste Methode, die üblicherweise angewendet wird, ist Hough-Transformation, die in dieser Diplomarbeit auch benutzt wurde.

Die Richtung eines Objekts kann bei einem Computerprogramm als eine Linie vorgestellt werden. Jetzt kann man sich die Frage stellen, wie denn diese Linie durch das Programm erkannt werden soll? Um den ganzen Ablauf besser zu verstehen, wird zunächst das Prinzip der Hough-Transformation ganz kurz beschrieben[20]. Von der Mathematik wissen wir, dass eine Linie, die in Abbildung 3.22.a zu sehen ist, durch zwei Parameter in zwei Dimensionen in dieser Form

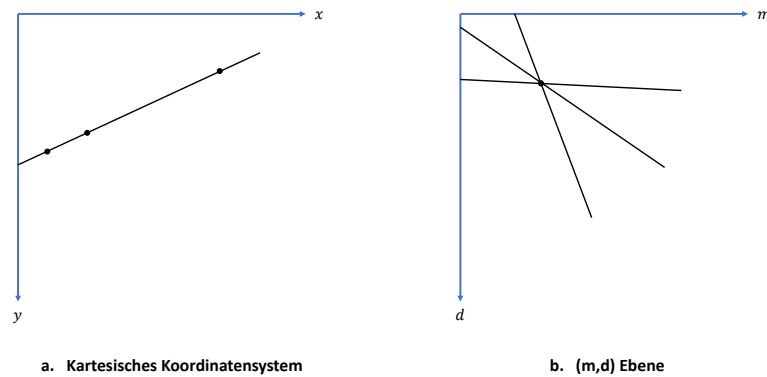


Abbildung 3.22: Darstellung einer Linie. Vgl. Bernd Jähne (2012, S. 552)

$$y = mx + d \quad (3.1)$$

definiert werden kann. Der einzige Unterschied in einem Bild ist der Ursprungspunkt. Wie man aus 3.1 erkennen kann, ist die betrachtete Linie durch die Steigung m und die Höhe der Linie d auf der y -Achse definiert. Wenn die 3.1 um d gelöst wird, erhält man eine neue Gleichung in der folgenden Form:

$$d = -mx + y. \quad (3.2)$$

Aus Abbildung 3.22.b ist offensichtlich, dass für jeden Punkt im kartesischen Koordinatensystem eine Linie auf der (m,d) -Ebene zugewiesen ist. Das bedeutet, dass alle Linien, die auf der (m,d) -Ebene gleiche Schnittpunkte haben, zu Punkten auf gleicher Linie im kartesischen Koordinatensystem gehören. So kann man theoretisch durch mehrere Punkte im kartesischen Koordinatensystem, die auf gleicher Linie stehen, die Grade bzw. Richtung eines Objekts finden. Aber das Problem steht darin, dass die Steigung vertikaler Linien nach Unendlich strebt[17].

In der Mathematik gibt es auch eine andere Möglichkeit, dass man eine Linie zeichnen kann. Das ist die so genannte Hesse'sche Normalform, die in dieser Form

$$x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = r, \quad (3.3)$$

definiert wird, wobei r den Abstand der betrachteten Linie zum Nullpunkt ergibt. Abbildung 3.23 veranschaulicht das kartesische Koordinatensystem und seine Transformation im Polar-Koordinatensystem und man kann sich

überzeugen, dass laut 3.3 jeder Punkt im kartesischen Koordinatensystem eine sinusförmige Welle im Polar-Koordinatensystem besitzt und darüber hinaus, ist ersichtlich, dass die Welle, die ihre Punkte in Abbildung 3.23.a auf einer Linie stehen, sich in einem gemeinsamen Punkt schneiden. Und das ist genau, was man in den Sinnen dieses Verfahrens sucht. Die ganze Situation kann in anderen Worten so interpretiert werden, dass eine Linie, Gerade, Richtung oder ein Objekt in einem Bild zu finden, kann man r und θ für alle betrachteten Punkte des Bildes überprüfen und damit die Punkte, die am Höchsten zu einem Wert passen, erkennen. Das bedeutet, dass die Punkte, die in ihren Längen r und Winkeln θ gleich sind, auf derselbe Linie stehen⁹.

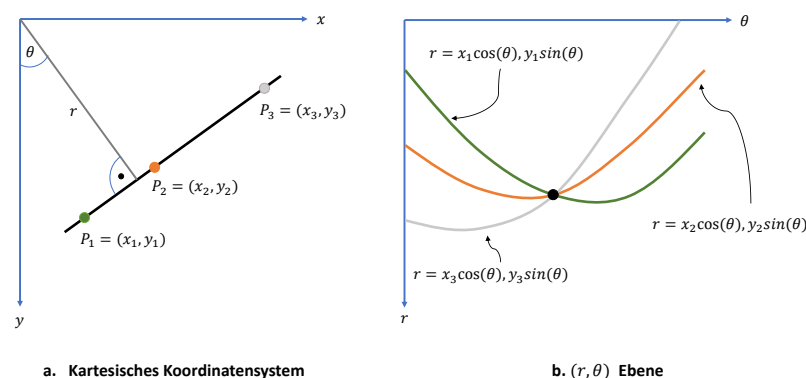


Abbildung 3.23: Kartesisches und Polar-Koordinatensystem. Vgl. Burger und Burge (2006, S. 161)

Algorithmus des Verfahrens

Der Algorithmus des Verfahrens kann durch sogenannte Software wie C, C++ implementiert werden. Während der Implementierung des Algorithmus, muss man beachten, dass die Datenmenge sehr schnell wachsen kann, weil alle Punkte in einem Bild für definierte θ und sogenannte Gerade r überprüft werden müssen. Je weniger Punkte, desto schneller läuft der Algorithmus und hat eine geringere Genauigkeit. Man sollte am besten einen Kompromiss zwischen Schnelligkeit und Genauigkeit finden. Auf jeden Fall kommt es darauf an, wie schnell der angewendete Rechner ist. Außerdem kann man immer eine Funktion definieren, damit bei den Bildern eine gewisse Datenmenge gespeichert wird. Es existieren unterschiedliche Algorithmen in der Literatur, aber die Vorgehensweisen bei den

⁹Vgl. Burger und Burge (2006, S. 159) - Bernd Jähne (2012, S. 553)

Algorithmen sind sehr ähnlich. In dieser Arbeit wurde die Open CV-Bibliothek unter C++ verwendet und der Algorithmus lautet folgendermaßen¹⁰.

Algorithm 1 Algorithmus der Hough-Transformation Vgl. Burger und Burge (2006, S. 161)

Initialisierung:

$Acc[\theta, r]$ (Zweidimensionale Matrix als Akkumulator)

$Img(n, m)$ (Diskretes Bild als Basisfunktion)

$i = 0$

for $x = 0$ to $x = n$ **do**

for $y = 0$ to $x = m$ **do**

if $Img(x, y) = 1$ **then**

 (1:Kante 0:keine Kante)

for $\theta = 0$ to π **do**

$\theta_i = \theta$

$r_i = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta$

end for

$i = i + 1$

end if

end for

end for

3.8 Optionale Erweiterung der Optimierung

In diesem Abschnitt werden die optionalen Optimierungen, die während dieser Arbeit durchgeführt wurden, beschrieben.

3.8.1 Optimierung durch Bedienprogramm

Dieses implementierte Programm hat den Vorteil, dass die Mitarbeiter die aufgenommenen Bilder durch Bildverarbeitungssystem beobachten können und darauf reagieren.

FTP-Server und Monitoringsystem Wie beim Abschnitt der Schnittstellen beschrieben wurde, hat die neue Schnittstelle, also Profinet, den Vorteil, dass man die Dezentralisierung der Anlage realisieren kann. In diesem Schritt werden

¹⁰Vgl. Burger und Burge (2006, S. 160)

ein FTP-Server und Monitoringsystem so implementiert, dass man die Bilder an den Geräten, wo man will, senden und speichern kann. Die Bildererfassung in einem Rechner hat den Vorteil, dass man eine Statistik über fehlerhafte Geräte und auch Teile der Anlage, bei denen die meisten Fehler auftreten, bekommen kann. Mit Hilfe dieser Informationen können die Fehler besser erkannt und behoben werden.

- FTP-Server :

Um die Bilder in anderen Rechnern oder Geräten zu erhalten, ist der FTP-Server eine übliche Methode. Die Methode wird auch bei großen IT-Netzwerke verwendet. In diesem Fall wurde zuerst nur ein Rechner mit FTP-Server ausgestattet und falls es nötig wird, kann es bei anderen Rechnern auch erweitert werden. Der FTP-Server muss in beide Seiten eingestellt werden. Auf der Kameraseite kann entschieden werden, ob alle Bilder oder bestimmte Bilder weitergesendet werden sollen.

- Monitoringsystem :

Die Grundidee, warum so ein Programm implementieren werden sollte, besteht darin, dass bei vielen Anwendungsprogrammen solche Programme nicht existieren. Es ist nicht optimal, wenn man für das Anschauen der Bilder ein Hauptprogramm aufmacht. Der Grund dafür, dass man das Hauptprogramm nicht immer öffnen soll, sind die Änderungen, die unabsichtlich geschehen können. Eine kleine Änderung oder Störung, kann die ganze Anlage stoppen und bei den speziellen Programmen, wie der Bildverarbeitung, kann es lange dauern, bis die Unterbrechung wieder behoben wird.

Das Monitoringsystem, das in Abbildung 3.24 zu sehen ist, ist ein einfaches Beispielprogramm für solche Anwendungen und wurde während dieser Arbeit implementiert. Wie man aus der Oberfläche des Programms sehen kann, ist eine Verbindung durch das industrielle Ethernet (in diesem Fall Profinet) möglich. Die Geräte, die nach der Lötstation als NIO¹¹ gesetzt werden, werden in diesem Monitoringsystem gezeigt, damit der Operator des Prozesses davon informiert wird und geeignete Maßnahmen treffen kann. Während der Optimierung des Prozesses haben wir erfahren, dass manche Geräte, die als NIO-Geräte gesetzt sind, nicht zu große Abweichung haben und als normale Komponenten produziert werden können. In dem Fall, dass die aktuelle Komponente als NIO erkannt ist, muss sie bis zum Ende des Prozesses durchfahren und in diesem Zeitintervall kann der Operator sich entscheiden, ob er dieses Gerät als

¹¹NIO : Nicht in Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

IO setzt oder es so lässt. Wenn der Operator keine Maßnahmen trifft, wird das Gerät am Ende des Prozesses rausgeworfen. Wenn ein Gerät als IO¹² gesetzt wird, wird ein Signal mit der gleichen Seriennummer zur SPS gesendet, damit sie dieses Gerät als normal produziertes Gerät ersetzt.

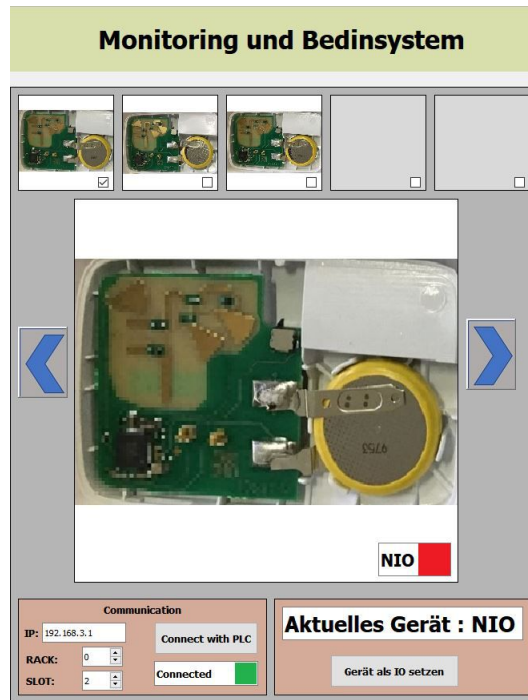


Abbildung 3.24: Implementierte Bildverarbeitungssoftware.

3.8.2 Optimierung in der Verpackungsstation

Im Abschnitt Ist-Analyse wurde diese Station bereits beschrieben und analysiert. Darüber hinaus, kann man zwei Schwachstellen identifizieren. Die erste identifizierte Schwachstelle ist, dass es zu leeren Zellen in der Verpackungsstation kommt. Die unterschiedlichen Gründe, warum das passieren kann, wurden bereits weiter oben beschrieben. Diese Station oder Stelle ist der Ausgangspunkt dieses Prozesses und deswegen ist sie sehr wichtig für den gesamten Prozess. Wie vorher beschrieben wurde, kann die Schwachstelle den ganzen Prozess beeinflussen. Die erste Schwachstelle, also die leeren Zellen, mussten durch Mitarbeiter behoben werden. Das bedeutet, dass die gefüllten Kartons durch

¹²IO : In Ordnung - Eine Abkürzung im industriellen Bereich

Mitarbeiter überprüft werden mussten und falls es leere Zellen gab, diese nochmals händisch befüllt werden mussten. Das Problem besteht nun darin, dass die im Nachhinein befüllten Geräte eine andere Seriennummern haben und diese Information korrigiert werden musste. Die Herausforderung besteht nun darin, wenn man die Schwachstelle automatisch lösen will. D.h., ein automatisiertes System soll die leeren Zellen in den Kartons erkennen, sie selber befüllen und die alte Seriennummer durch die neue ersetzen. Die entstehenden Probleme sind im Folgenden aufgelistet:

Optimierung durch Programmänderung auf HMI

Diese Schwachstelle, also die leeren Zellen in den Kartons, kann durch erweiterte Seiten auf HMI¹³ und Programmänderungen so behoben werden, dass die zuständigen Mitarbeiter nur die leeren Zellen auf der HMI-Seite zum System bekannt geben sollen, damit der Rest automatisch durch den Roboter, SPS und dazugehörige Programme durchgeführt werden können. Als Vorteil dieser Verbesserung kann die automatische Informationsweiterleitung genannt werden. Wenn die leeren Zellen durch den Roboter gefüllt werden, wird die Seriennummer der produzierten Geräte automatisch zur dazugehörigen Datenbank gesendet. Das bedeutet, dass die Mitarbeiter keine Seriennummer scannen und im System eintragen müssen. Mit Realisierung dieser Verbesserung, werden menschliche Fehler vermieden. Nachfolgend werde ich einen kurzen Überblick über den gesamten Ablauf dieser Verbesserung und die dazugehörige Programme geben. Nachfolgend wird die Vorgehensweise dieser Verbesserung kurz beschrieben.

- Die Kartonsichten bzw. Zellen in HMI :

Auf der HMI-Seite werden einige Seiten für die Auswahl der leeren Zellen zugewiesen, sodass man die leeren Zellen auswählen kann. Der HMI ist in diesem Fall mit einem Touchscreen ausgestattet und man kann einfach auf die betrachtete Zelle drücken und sie wird automatisch als leere Zelle gesetzt. Beim nochmaligen Drücken auf dieselbe Zelle, kann man die Zelle wieder als voll markieren. Beim Drücken der Bestätigungstaste wird diese Information zur SPS gesendet.

- Empfang der Daten durch SPS :

Wenn die SPS beschriebene Information, also der Status der Zellen, vom HMI empfangen wird, kann sie entscheiden, wem und wie sie diese Information weitersendet. Natürlich kann die darin enthaltene Information verarbeitet werden. In diesem Fall wird den Status der Zellen zum Roboter,

¹³Human-Machine-Interface

der als Füllroboter arbeitet, gesendet. Die Zellen, die auf dem HMI als leer gemeldet werden, kann in verschiedenen Formen weitergeschickt werden. In diesem Fall, bei dem es ziemlich viele Zellen gibt, werden sie nicht als Bit, sondern wortweise zum Roboter gesendet. Das bedeutet eine Datenumwandlung, die auf beiden Seiten, je nach Bedarf realisiert werden kann. Die wortweise Datenübertragung hat den Vorteil, dass man ganze Daten einfacher beobachten kann. Und es ist besonders wichtig, dass Spezielle Fachleute die Fehler beheben oder kleine Änderungen durchführen.

- Umfang der Daten durch Roboter :

Mit den empfangenen Daten, kann der Roboter losfahren und leere Zellen des Kartons nachfüllen. Wenn seine Aufgabe beim Füllen der leeren Zellen des Kartons fertig ist, soll er ein Signal zum System senden, damit nicht nur die richtigen Zellen, sondern auch die dazugehörige Seriennummer in der Datenbank gespeichert werden kann. Auf der Roboterseite gibt es die Möglichkeit, dass die Zellen eines Kartons als Matrix definiert werden kann. Die Daten, die von SPS zum Roboter geschickt werden, müssen hier wieder umgewandelt und in Matrizen gespeichert werden, damit der Roboter seine Aufgabe weiter ausführen kann. Die Datenumwandlung von Wort zum Bit wird hier durch die sogenannte FOR-LOOP Schleife realisiert und in den Matrixzellen gespeichert. Die Umwandlung zur Matrix und Weiternutzung hat den Vorteil, dass man die Daten, bei denen es um die Angabe der Zellen in den Kartons geht, ganz einfach verwenden, beeinflussen und beobachten kann.

Durch die oben beschriebene Verbesserung des Prozesses kann die Schwachstelle (leere Zellen in Kartons) verbessert und der Ablauf halbautomatisch durchgeführt werden. Diese Verbesserung wurde durch die Änderung der Programme in SPS, HMI und Roboter realisiert und hat den Vorteil, dass die Hardware nicht geändert werden musste.

3.8.3 Optimierung durch Bildverarbeitungsprogramm

Mit Hilfe des neu implementierten Bildverarbeitungssystems kann der Ablauf der Ausfüllstation verbessert werden. Die Schwachstelle bei dieser Station war der Roboter, der beim Füllen der Kartons, Zellen leer lässt und Produkte schief in die Kartons legt. Das heißt, die elektronischen Komponenten manchmal vom Greifer des Roboters runterfallen und die gehörige Zelle bleibt leer. Mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems kann dieses Problem gelöst werden. Denn es wird eine Kamera oberhalb der Kartonliste installiert, um Bilder des Ablaufs

aufnehmen zu können. Im nächsten Schritt wird dieses Bild durch das Bildverarbeitungssystem verarbeitet und kontrolliert, ob in der Kartonkiste, die aktuell in der Station steht, leere Zellen existieren oder eben nicht. Wenn der Roboter diese Information erfasst, dass leere Zellen vorhanden sind, wird er diese nochmals nachfüllen.

Evaluation des Bildverarbeitungssystems

Es wurde im Abschnitt 2.2.1, dass durch das sogenannte Dreieck, die Beziehung zwischen Optimierungszielen betrachtet werden kann. Die Ziele dieses Dreiecks sind niedrige Kosten, hohe Qualität und kurze Durchlaufzeit. Das bedeutet, wenn eine Veränderung alle diese Beziehungen gleichzeitig erfüllen kann, kann man diese Veränderung als Optimierung vorstellen. Im Folgenden wird die Optimierung durch das Bildverarbeitungssystem begründet:

- Kosten :

Wenn man den Preis zwischen den im Markt angebotenen Bildverarbeitungssystemen, mit diesem entwickelten System vergleicht, wird man sofort den Unterschied merken. Ein normales Bildverarbeitungssystem in dieser Klasse wird ungefähr 15.000 Euro kosten, während dieses entwickelte Bildverarbeitungssystem ungefähr 4.000 Euro kostet. Dieser Unterschied kann offensichtlich das erste Kriterium des sogenannten Dreiecks erfüllen. Darüber hinaus, wenn man besondere Tools und Optionen vom Bildverarbeitungssystem verlangen würde, dann würden sich auch die Preise extrem erhöhen. Der große Unterschied steht darin, dass dieses entwickelte Bildverarbeitungssystem Open-Source ist und die Funktionen, je nach Verwendung, jederzeit verändert oder neu implementiert werden können. Außerdem kann man auch die Hardware mit anderen Geräten ausstatten und andere Fähigkeiten erweitern.

- Durchlaufzeit :

Durch Messung der Durchlaufzeit hat das System uns überzeugt, dass man der Durchlaufzeit des Systems vertrauen kann und nach einigen zusätzlichen Verbesserungen, sie sogar noch weiter verbessern könnte. Die letzte Messung der Durchlaufzeit zeigt ca. 200 bis 250 ms. pro Trigger, das für den Beginn schon als ein respektables Ergebnis angesehen werden kann. Außerdem läuft die implementierte Software, noch auf einem normalen Laptop. Wenn man diesen durch einen industriellen PC-Rechner ersetzt, dann können hier auch noch bessere Ergebnisse erwartet werden. Wie man bemerkt, lässt sich auch dieser Punkt überzeugend in das

sogenannte Dreieck einfügen. Denn auch das zweite Kriterium wird mit der verbesserten Durchlaufzeit des Systems erfüllt.

- Qualität :

Das dritte Kriterium konnte leider - im Gegensatz zu den beiden anderen Anforderung - noch nicht erfüllt werden, wie da einerseits noch ein normaler Laptop verwendet wird und auch die verwendete Kamera, eine unzureichende Auflösung aufweist. Der Grund dafür ist, dass diese Entwicklung nur eine Versuchsprojekt war und finanziell auch nicht unterstützt wurde. Natürlich kann man sich mit einem industriellen PC, der eine hohe Leistung hat und Kameras mit höheren Auflösungen bessere Ergebnisse erwarten. D.h., dass unter anderen Voraussetzungen sich auch dieser dritte Punkt hätte erfüllen lassen.

- Kommunikation :

Eine große Herausforderung im industriellen Bereich ist die Verbindung zwischen verschiedenen Systemen, die sich den konventionellen Schnittstellen anpassen müssen. Darüber hinaus, müssen Sie in vielen Fällen als Echtzeitsystem funktionieren, damit sie keine Schwierigkeiten für andere Geräte verursachen. Wie es vorher besprochen wurde, ist eine Störung bei der Ablaufzeit im industriellen Bereich inakzeptabel, weil durch solche Störungen das ganze System fehlerhaft werden kann. In dieser Arbeit wurde versucht, dass das entwickelte System sich über die Ethernet-Schnittstelle mit anderen Systemen verbinden kann. Die Verbindung wurde sowohl durch eine Simulation, als auch mit echter SPS ausgetestet.

3.9 Bewertung der Optimierungen

Durch die, in dieser Arbeit durchgeführte Optimierungen und Verbesserungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Durch Verbesserung der Bildverarbeitungssystem und damit der Taktzeit, ist die Anzahl der auftretenden Fehler gesunken. Wie im vorigen Abschnitt beschrieben wurde, führen Fehler bzw. Störungen zu einer Zeitverschwendung in den Produktionsanlagen, da im Fall einer Störung nicht nur die Anlage still steht, sondern sich auch die Mitarbeiter mit der Anlage beschäftigen müssen, um die bestehenden Störung zu beheben. Aus diesem Grund bringt die Optimierung in diesem Fall viele Vorteile mit sich.

Um die Zeitverschwendung zu reduzieren und Verluste zu berechnen, wird angenommen, dass jede Störung mindestens 2 Minuten für ihre Behebung braucht. In vielen Fällen ist die Zeit, die für die Behebung der Störung gebraucht wird, länger. Und das, wo doch jede Sekunde zählt! - Mit einer Störung verbunden ist natürlich auch, dass keine Produkte produziert werden können. Diese Zeitverschwendung und Verluste werden in der folgenden Tabelle beschrieben.

- Die Verbesserung des Rundtakttsches kann genauso ausgewertet werden, da nun beim optimierten Rundtakttsch, die Fehlerbehebung viel einfacher ist. Denn alle Fehler können im Detail beobachtet und gespeichert werden. Außerdem verbraucht der neue Rundtakttakt weniger Energie als vorher und durch das neue Bremssystem hat er weniger Reibung und Energieverlust, womit auch die Instandhaltungskosten sinken.
- Das Monitoring- und Bediensystem hat den Vorteil, dass man die produzierten Komponenten, die als NIO gesetzt sind, als IO, also normales Gerät produzieren lassen kann. In diesem Fall wird angenommen, dass jedes produzierte Gerät 20 Euro kostet und jeden Tag 3 Geräte durch dieses Programm gerettet werden. Denn ist es offensichtlich eine große Kostenreduzierung für Unternehmen.
- Auch die implementierte Bedienseite auf dem HMI, die entwickelt wurde, damit die leeren Zellen in die Kartons halbautomatisch befüllt werden können, ist eine weitere Verbesserung. Und damit kann auch ein weiterer Faktor, der zu Zeitverschwendung geführt hat, beseitigt werden. Denn diese Vorgehensweise musste vorher ja händisch durchgeführt werden müssen.
- Durch Verbesserung der Sicherheitstüren konnte es sicher gestellt werden, dass die Mitarbeiter sich nicht in Gefahr bringen können.

Die folgenden Tabellen zeigen die Unterschiede vor und nach der Optimierung. Merkbare Reduzierung der Verschwendungen bzw. Verluste ist schon offensichtlich und es bestimmt, dass diese Investition für die Optimierung überzeugende Ergebnisse mitbringt. Besonders durch kleine Investition für implementierte Programme kann viele Kostenreduzierung für Firma mitbringen, da die Hardware für solche Software vorhanden und bezahlt wurde.

In dieser Tabelle sind folgende Werte angenommen. Preis des produzierten Gerätes : 20 € Mitarbeiterkosten pro Stunde : 40 € Taktzeit des Prozesses : 6 Sek.							
Schwachstelle	Beschreibung	Auswirkung				Verlust	
		Art	Zeit	pro Tag	pro Jahr	Art	pro Jahr
Störung wegen Taktzeit	Fehlende Information durch altes Kamerasystem	9 Störungen / Tag	2 Min.	18 Min.	69 Std.	Produktion	€ 828.000,--
						Mitarbeiter	€ 2.760,--
Störung wegen Rundtaktisch	Mechanischer Fehler	10 Störungen / Jahr	10 Min.	0.43 Min.	1.66 Std.	Produktion	€ 20.000,--
						Mitarbeiter	€ 66,--
Fehlende Druckluft am Greifer des Roboters	Hardware -Softwarefehler	5 Einstellungen / Jahr	15 Min.	0.32 Min.	1.25 Std.	Produktion	€ 15.000,--
						Mitarbeiter	€ 50,--
Keine geeignete Visualisierung der Bildern	Hardware -Softwarefehler	6 Geräten / Tag			1380 Stk.	Produktion	€ 27.600,--
Leere Zellen in den Kartons und Seriennummer eintragen	Mechanischer Fehler durch Roboters	102 Kartons / Tag	3 Min.	306	1173 Std.	Mitarbeiter	€ 46.920,--
Sicherheitstür	Hardware -Softwarefehler	Ungenau Information über Verschwendungen und Verluste					
Beladungsstation	Hardwarefehler						
Summe						€ 940.396,--	

Tabelle 3.2: Verschwendungen und Verluste vor der Optimierung.

In dieser Tabelle sind folgende Werte angenommen. Preis des produzierten Gerätes : 20 € Mitarbeiterkosten pro Stunde : 40 € Taktzeit des Prozesses : 6 Sek.							
Schwachstelle	Mögliche Maßnahme	Auswirkung nach Verbesserung				Verlust nach Verbesserung	
		Art	Zeit	pro Tag	pro Jahr	Art	pro Jahr
Störung wegen Taktzeit	Neues Kamerasystem ersetzen	1 Störungen / Tag	2 Min.	2 Min.	7.6 Std.	Produktion	€ 92.000,--
						Mitarbeiter	€ 304,--
Störung wegen Rundtaktisch	Neuer Elektromotor ersetzen	keine Störungen / Jahr	3 Min.	30 Min.	0.5 Std.	Produktion	€ 6.000,--
						Mitarbeiter	€ 20.0,--
Fehlende Druckluft am Greifer des Roboters	Veränderung in Hard-und Software	5 Einstellungen / Jahr	10 Min.	0.2 Min.	0.84 Std.	Produktion	€ 10.000,--
						Mitarbeiter	€ 33,--
Keine geeignete Visualisierung der Bildern	Neue Schnittstelle ersetzen Implementierung einer Software	3 Geräten / Tag			690 Stk.	Produktion	€ 13.800,--
Leere Zellen in den Kartons und Seriennummer eintragen	Neue Bedienseite auf dem HMI definieren	102 Kartons / Tag	1 Min.	102 Min.	391 Std.	Mitarbeiter	€ 15.640,--
Sicherheitstür	Neue Sicherheitselemente	Ungenau Information über Verschwendungen und Verluste					
Beladungsstation	Veränderung in Hard-und Software						
Summe						€ 137.797,--	

Tabelle 3.3: Verschwendungen und Verluste nach der Optimierung.

4 Fazit

In dieser Arbeit wurde eine Produktionsanlage modelliert, analysiert und im Endeffekt optimiert. Die Untersuchung zeigt, dass fast alle Punkte erfolgreich durchgeführt wurden. Bevor die Optimierung des Prozesses durchgeführt wurde, gab es einige Schwachstellen, die behoben werden sollten. Eine dieser Schwachstellen bei den Prozessschritten bzw. Taktzeit, die manchmal den Prozess zur Störung brachte. Nach Durchführung der Optimierung wurde die Schwachstelle behoben und die Prozessschritte synchronisiert. Der Roboter, der als Batteriegreifer arbeitet, kann jetzt seine Aufgabe ohne Wartezeit durchführen und für nächsten Zyklus vorbereitet bleiben. Durch Optimierung der Schnittstelle wurde die Dezentralisierung der Anlage verbessert, damit eine bessere Information und Datenübertragung durchgeführt werden kann. Die Erhaltung dieser Informationen durch das Netz führt zu einer besseren Instandhaltung und zu einer Fehlerbehebungen der Anlage. Wie wir alle wissen, hat die Dezentralisierung viele Vorteile in allen Bereichen besonders im industriellen Bereich. In dieser Arbeit wurde drauf hingewiesen, dass man diese Vorteile gut verwenden kann. Einer dieser Vorteile ist, dass man die Daten überall erreichen und verwenden kann ohne die industriellen Programme zu verändern oder auf diesen Geräten externe Programme zu installieren. In solchen Fällen, wo unnötige Programme oder Daten auf anderen PCs laufen, sind die industriellen Geräte weniger in Gefahr.

4.1 Ausblick

Diese Arbeit war ein kleiner Schritt im Bereich Optimierung und hat einen Überblick über die Verfahren, die in vielen Literaturen stehen, gegeben. Manche Schwachstellen werden sich während der Durchführung des praktischen Teils zeigen, sodass auch dafür geeignete Maßnahmen gefunden werden können. Manchmal wird es auch bei einigen Situationen vorkommen, dass die Entwicklungen und Verbesserungen nicht so gut geplant werden können. In solche Fälle werden spezielle Fähigkeiten gebraucht, die durch jahrelange Erfahrungen gesammelt werden. Was die Studenten an der Universität lernen ist als Basis in solchen Bereichen geeignet und ein Kompromiss zwischen Universität und Industrie wäre eine optionale Lösung für die Studenten, damit auch sie

kurzzeitig solche Erfahrungen machen können.

Literatur

- [1] P. Nyhuis, *Wandlungsfähige Produktionssysteme: heute die Industrie von morgen gestalten*. PZH, Produktionstechn. Zentrum, 2008.
- [2] J. Pfannmöller, *Kreative Volkswirtschaftslehre*. Gabler, Betriebswirt.-Vlg, 6. Aug. 2018.
- [3] R. Wilhelm, *Prozessorganisation*. Gruyter, Walter de GmbH, 16. Dez. 2009, 276 S.
- [4] S. Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM*. Springer Berlin Heidelberg, 2011, ISBN: 9783642011214.
- [5] T. Becker, *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*. 2005.
- [6] S. K. Claudia Kostka, *Kostka, KVP, 7.A.* Carl Hanser Verlag GmbH & Co, ISBN: 9783446446595.
- [7] P. Li, *Prozessoptimierung unter Unsicherheiten*. Gruyter, de Oldenbourg, 7. Aug. 2014, 169 S.
- [8] A. Gadatsch, *Grundkurs Geschäftsprozess-Management (German Edition)*. Vieweg+Teubner Verlag, 2007, ISBN: 9783834803634.
- [9] C. Pohanka, *Six Sigma vs. Kaizen - Eine vergleichende Gegenüberstellung*. Europäischer Hochschulverlag, 2014, ISBN: 3867419272.
- [10] K. D. Bösing, „Ausgewählte Methoden der Prozessverbesserung“, *Wissenschaftliche Beiträge 2006*, 2006.
- [11] P. D. K. D. Bösing, „Ausgewählte Methoden der Prozessverbesserung“, *Technische Fachhochschule Wildau*, 2006.
- [12] A. Syska, *Produktionsmanagement: Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute*. Springer-Verlag, 2007.
- [13] J. Klas, *Digitale Bildverarbeitung: Einführung, Grundlagen, Methoden*. Moreno, 1996, ISBN: 3931139018.
- [14] B. Neumann, *Bildverarbeitung für Einsteiger: Programmbeispiele mit Mathcad (German Edition)*. Springer, 2004, ISBN: 9783540218883.
- [15] A. Erhardt, *Einführung in die Digitale Bildverarbeitung: Grundlagen, Systeme und Anwendungen (German Edition)*. Vieweg+Teubner Verlag, 2008, ISBN: 9783519004783.

- [16] C. Demant, B. Streicher-Abel und P. Waszkewitz, *Industrielle Bildverarbeitung: Wie optische Qualitätskontrolle wirklich funktioniert*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [17] M. J. B. Wilhelm Burger, *Digitale Bildverarbeitung: Eine algorithmische Einführung mit Java*. Springer Science & Business Media, 2006, 2055,2006.
- [18] P. D. B. Jähne, *Digitale Bildverarbeitung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [19] J. S. Kurt Sandkuhl Matthias Wißotzki, *Unternehmensmodellierung: Grundlagen, Methode und Praktiken*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, 2013.
- [20] B. Jähne, *Digitale Bildverarbeitung: und Bildgewinnung (German Edition)*. Springer, 2012, ISBN: 9783642049514.