

# Bachelorarbeit

Zur Erlangung des Grades Bachelor of Science

## **Retrofit unter Einbeziehung von Maßnahmen im Blick auf Industrie 4.0 für eine halbautomatische Teilproduktionsanlage für die Herstellung von Leitungstransportverpackungen**

vorgelegt von

Christoph Helmut Rahlf

Erstprüfer: Prof. Dr. Ing. Bayerlein  
Zweitprüfer: Prof. Dr. Ing. Tiedemann

Ausgabedatum: 04. Mai 2020  
Abgabedatum: 04. August 2020





## Aufgabenstellung

Die Firma August Hildebrandt GmbH, ansässig in Schwerin, ist ein Hersteller für Leitungstransportverpackungen. In der Produktion weist eine holzverarbeitende Anlage hohe technische Ausfallzeiten auf. Die Anlage selbst ist in zehn Bereiche eingeteilt. Diese Bereiche teilen sich auf in Zulegestation, Bandsäge, Nagelstation, Bohrstation, Frästation, Verfahrwagen, Ausschleuser, Ausschieber, Hubtisch und Montage. Sie wird über die Zulegestation manuell bestückt. Dabei legt der Bediener vorgefertigte Bretter unterschiedlicher Länge zweilagig übereinander und fixiert diese durch Nägel miteinander. Anschließend verfährt das Werkstück zur weiteren Bearbeitung automatisch durch die Anlage. In der Montage werden die Endprodukte händisch zusammengefügt. Die Firma RK-Automation hat den Auftrag erhalten, die technischen Ausfallzeiten durch ein Retrofit zu minimieren. Dieses soll im Verlauf der Bachelorarbeit umgesetzt werden. Im Rahmen des Retrofit, sollen die neuen Steuerungskomponenten ausgelegt, die technische Anlagenverfügbarkeit ermittelt und die Software entwickelt werden. Die Anlage wird mit zwei Human Maschine Interfaces (HMI) und einer freiprogrammierbaren Fernbedienung versehen, um einzelne Anlagenteile verfahren zu können. Die technische Anlagenverfügbarkeit des jetzigen Zustandes wird nach VDI 3423 erstellt. Mit den Erfahrungen aus vorherigen Reroft-Projekten der Firma RK-Automation, wird eine Prognose der zu erwartenden technischen Anlagenverfügbarkeit nach dem Retrofit erstellt. Zudem wird im Verlauf der Bachelorarbeit die bestehende Kundenanlage einer Zukunftsbetrachtung unterzogen. In dieser wird der Aufwand einer möglichen Aufrüstung ermittelt, um die Anlage nach dem Vorbild der Industrie 4.0 weiter betreiben zu können.

Folgende Aufgaben umfasst die Arbeit:

1. Ermittlung des Anlagenzustandes
2. Konzeptionierung der Steuerungstechnik
3. Ermittlung eines Sicherheitskonzeptes
4. Entwicklung der Software
5. Zukunftsbetrachtung der Anlage in Bezug auf Industrie 4.0



## Erklärung zur Bachelorarbeit

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und dabei keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder gesamt noch in Teilen einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Lübeck, den 04. August 2020

.....  
*C. Rahlf*  
(Unterschrift)



## Sperrvermerk

Diese Bachelor-Thesis mit dem Titel:

**„Retrofit unter Einbeziehung von Maßnahmen im Blick auf Industrie 4.0 für eine halbautomatische Teilproduktionsanlage für die Herstellung von Leitungstransportverpackungen“**

beinhaltet interne und vertrauliche Informationen über Produkte und deren Herstellung, der Firma August Hildebrandt GmbH. Diese Informationen sind vertraulich zu behandeln.

**Die Veröffentlichung, Vervielfältigung und Wiedergabe des Inhalts dieser Arbeit (außer zu Prüfungs- und Benotungszwecken) ist daher nicht gestattet**

Jede Abweichung von dieser Verpflichtung benötigen einer schriftlichen Zustimmung der Firma August Hildebrandt GmbH.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Themendarstellung . . . . .	1
1.2	Die Firma RK-Automation . . . . .	1
1.3	Die Firma August-Hildebrandt GmbH . . . . .	1
1.4	Die Zielsetzung . . . . .	2
1.5	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Der Flansch und die Anlage 1 im Detail</b>	<b>5</b>
2.1	Der Flansch . . . . .	5
2.2	Anlagenübersicht . . . . .	6
2.2.1	Station A-Zulegestation . . . . .	7
2.2.2	Station B-Badnsäge . . . . .	8
2.2.3	Station C-Nagelstation . . . . .	9
2.2.4	Station D-Bohrstation . . . . .	10
2.2.5	Station E-Frässtation . . . . .	11
2.2.6	Station F-Verfahrwagen . . . . .	12
2.2.7	Station G-Ausschieber . . . . .	13
2.2.8	Station H-Hubtisch . . . . .	14
2.2.9	Station I-Montage . . . . .	15
2.2.10	Der Montagevorgang . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Ermittlung des Anlagenzustandes</b>	<b>17</b>
3.1	Der Steuerungsaufbau . . . . .	17
3.1.1	Die eingesetzte Steuerungstechnik . . . . .	17
3.1.2	Die IO-Baugruppen . . . . .	19
3.1.3	Die Antriebe . . . . .	21
3.1.4	Ansteuerung der Feldebene . . . . .	22
3.1.5	Die Sensoren der Feldebene . . . . .	23
3.1.6	Das HMI der Anlage . . . . .	25
3.1.7	Werkzeugverstellung . . . . .	26
3.2	Anlagenverfügbarkeit nach VDI3423 . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Konzeptionierung der Steuerungstechnik</b>	<b>31</b>
4.1	Schaltschrank und Steuerpulte . . . . .	32

4.2	Auslegung der IO-Baugruppen . . . . .	33
4.2.1	Die IO-Baugruppen im Schaltschrank . . . . .	34
4.2.2	Die IO-Baugruppe im Pult . . . . .	35
4.2.3	Die IO-Baugruppe der Hydraulik . . . . .	36
4.2.4	Die AS-i IO-Baugruppen . . . . .	36
4.3	Ansteuerung der Antriebe . . . . .	36
4.3.1	Auswahl der Frequenzumrichter . . . . .	36
4.3.2	Die Motorstarter . . . . .	38
4.4	Auswahl der CPU . . . . .	39
4.5	Die Bedienpulte . . . . .	40
4.6	DOLD SAFEMASTER W Fernbedienung . . . . .	41
4.7	Sicherheitsgerichteten Peripherien . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Ermittlung eines Sicherheitskonzeptes</b>	<b>43</b>
5.1	Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 12100 und DIN EN ISO 13849-1 . . . . .	43
5.1.1	Schritt 1 - Festlegung der Grenzen . . . . .	44
5.1.2	Schritt 2 - Identifizierung von Gefährdungen und Gefahrensituationen .	46
5.1.3	Schritt 3 - Bewerten des Risikos . . . . .	48
5.2	Risikominderung nach DIN EN ISO 12100 . . . . .	51
5.2.1	Inhärente sichere Konstruktion . . . . .	52
5.2.2	Technische und ergänzende Schutzmaßnahme . . . . .	53
5.3	Validierungsverfahren nach DIN EN ISO 13849-2 . . . . .	68
<b>6</b>	<b>Softwareentwicklung</b>	<b>75</b>
6.1	Die Betriebsarten . . . . .	75
6.2	Die eingesetzte Entwicklungsumgebung . . . . .	76
6.3	Die Mensch-Maschine-Schnittstelle . . . . .	77
6.3.1	Darstellung der Anlagenübersicht . . . . .	78
6.3.2	Die Benutzer . . . . .	79
6.3.3	Die Navigation . . . . .	79
6.3.4	Der Automatikbetrieb . . . . .	80
6.3.5	Der Handbetrieb . . . . .	81
6.4	Der Einrichtbetrieb . . . . .	82
6.4.1	Rezeptur . . . . .	83
6.4.2	Die Meldungen und Diagnose . . . . .	84
6.5	Das Steuerungsprogramm . . . . .	85
6.5.1	Die Strukturierung . . . . .	85
6.6	Die Programmumsetzung . . . . .	87
6.6.1	Automatikbetrieb . . . . .	87
6.6.2	Der Bohrvorgang . . . . .	90



<b>7</b>	<b>Betrachtung der Anlage in Bezug auf Industrie 4.0</b>	<b>93</b>
7.1	Industrie 1.0 . . . . .	93
7.2	Industrie 2.0 . . . . .	93
7.3	Industrie 3.0 . . . . .	94
7.4	Industrie 4.0 . . . . .	94
7.5	Industrielle Internet der Dinge und Dienste . . . . .	95
7.6	CPS und CPPS: Cyber-Physische (Produktions)Systeme . . . . .	97
7.7	Smart Data, Big-Data und Big-Data-Analytics . . . . .	98
7.8	Cloud Computing in der Produktion . . . . .	99
7.9	Vom Retrofit zum vierten industriellen Zeitalter . . . . .	100
7.10	IO-Link als Brückentechnologie der Industrie 4.0 . . . . .	101
7.10.1	Was ist IO-Link? . . . . .	101
7.10.2	IO-Link-Diagnose . . . . .	102
7.10.3	Funktionsweise von IO-Link . . . . .	103
7.11	IO-Link und AS-interface . . . . .	104
7.12	IO-Link in der Anlage 1 . . . . .	104
7.12.1	IO-Link in der Pneumatik . . . . .	104
7.12.2	IO-Link in der Hydraulik . . . . .	108
7.13	Zukunftsbetrachtung der Antriebe . . . . .	111
7.13.1	IO-Link Sensoren für Condition-Monitoring der Antriebe . . . . .	112
7.14	Betrachtung der Zusatzfunktionen für eine Industrie 4.0-Fähigkeit . . . . .	113
7.15	Industrie 4.0 und RFID . . . . .	113
7.16	Schwachpunkt der Industrie 4.0 Betrachtung . . . . .	115
7.16.1	Zulegetisch . . . . .	115
7.16.2	Station I-Montage . . . . .	116
7.16.3	Die Station C- Nagelmaschine . . . . .	118
7.17	Industrie 4.0 Betrachtung der Intralogistik . . . . .	118
7.18	Die SPS im industriellen vierten Zeitalter . . . . .	120
7.19	Die ERP- und MES- Ebene der Augustus Hildebrandt GMBH . . . . .	121
7.20	Die Konsequenz für die Automatisierungspyramide . . . . .	122
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung, Fazit und Ausblick</b>	<b>123</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	123
8.2	Fazit und Ausblick . . . . .	126
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>129</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>133</b>
	<b>Literatur</b>	<b>135</b>
	<b>Anhang</b>	<b>149</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Themendarstellung

Die Firma August Hildebrandt GmbH weist auf ihrem Hauptstandort in Schwerin, eine Anlage mit hoher Ausfallanfälligkeit auf. Die Anlage ist als Teilproduktionsanlage für die Herstellung von Flanschen für Leitungstransportsystemen aus Holz und unter dem Namen Anlage 1 seit 1997 bei der August Hildebrandt GmbH in Betrieb. Die Firma RK-Automation hat den Auftrag erhalten, die Ausfallanfälligkeit durch ein Modernisierungsprojekt (Retrofit) zu minimieren. Im Rahmen dieses Projektes wird die vorhandene Steuerungstechnik aus dem Herstellungsjahr 1997, gegen aktuelle Steuerungstechnik getauscht. Bei der Auslegung der neuen Steuerungstechnik wird zudem auf das Bilden von Ressourcen geachtet, um die Anlage im Nachgang problemlos erweitern zu können.

## 1.2 Die Firma RK-Automation

Die Firma RK-Automation wurde im Jahre 2000 durch den Inhaber und Geschäftsführer Rolf Karnatz als Rolf Karnatz e.K. gegründet. RK-Automation hat sich seit dem als zuverlässiger Partner mit Lösungen aus einer Hand für den Anlagenbau aller Art auf dem Markt etabliert. Die Firma besteht aus 14 Angestellten, welche sich auf vier Abteilungen (Softwareentwicklung, Hardware Konzeptionierung und Schaltschrankbau, Vertriebsabteilung sowie die Geschäftsleitung) verteilen. Als besonderes Leistungsmerkmal der Firma RK-Automation gilt die Automatisierungs-, Antriebs- und Regelungstechnik sowie E-CAD Service.

## 1.3 Die Firma August-Hildebrandt GmbH

Die August Hildebrandt GmbH wurde 1868 als Zimmerei und Sägewerk in Hagenow, Mecklenburg-Vorpommern, gegründet. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde auf Drängen der DDR-Regierung mit der Produktion von Leitungstransportsystemen aus Holz begonnen und später im Rahmen der Verstaatlichung von Betrieben in „Volkseigener Betrieb (VEB) Holzindustrie“ umbenannt. Nach der Wende ging die August Hildebrandt GmbH in Privatbesitz zurück und entwickelte sich zu Europas größtem Komplettanbieter für Leitungstransportsysteme und Equipment, mit neun Standorten in Deutschland mit Hauptsitz in Schwerin, Frankreich, Holland und Nordafrika. Heute werden neben Transportsysteme aus Holz auch Leitungstransportsysteme aus Stahl angeboten.[Hil]

## 1.4 Die Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist, die aus dem letzten Jahrhundert stammende und abgekündigte Steuerungstechnik der Anlage 1 durch technisch aktuelle Steuerungstechnik im Rahmen eines Retrofitprojekts zu tauschen, um eine Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit zu erzielen. Hierfür wird zunächst unter Einbeziehung einer Analyse der Anlagenverfügbarkeit nach VDI3423, der Istzustand der Anlagenhardware zum Beginn des Projektes aufgenommen. Ausgehend von diesem Stand wird eine neue Steuerungshardware, unter Berücksichtigung von Zukunftsreserven, für die Anlage 1 ausgelegt. Auf Basis einer ersten Risikobeurteilung durch den Kunden erfolgt zur Auswahl der sicherheitsgerichteten Hardware eine zweite Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 13849-1 und eine Validierung der eingesetzten Hardware nach DIN EN ISO 13849-2. Darauf aufbauend, wird in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden die neue Steuerungssoftware sowie die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), unter Einbeziehung einer ermöglichten Bedienbarkeit für ältere Anlagenführer, entwickelt. Auf Basis des Retrofits soll aufgezeigt werden, welchen Bedarf es benötige, um die Anlage im vierten industriellen Zeitalter im Hinblick auf CPPS-Systeme, IIoT mit automatischer Produktionsplanung direkt aus einem ERP-System weiter betreiben zu können.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

In dem vorangegangenen Teil des Kapitels 1 Einleitung wurden die Themendarstellung der Arbeit erläutert, die Firma RK-Automation e.K. und die August Hildebrandt GmbH vorgestellt, sowie die Zielsetzung dieser Arbeit dargestellt.

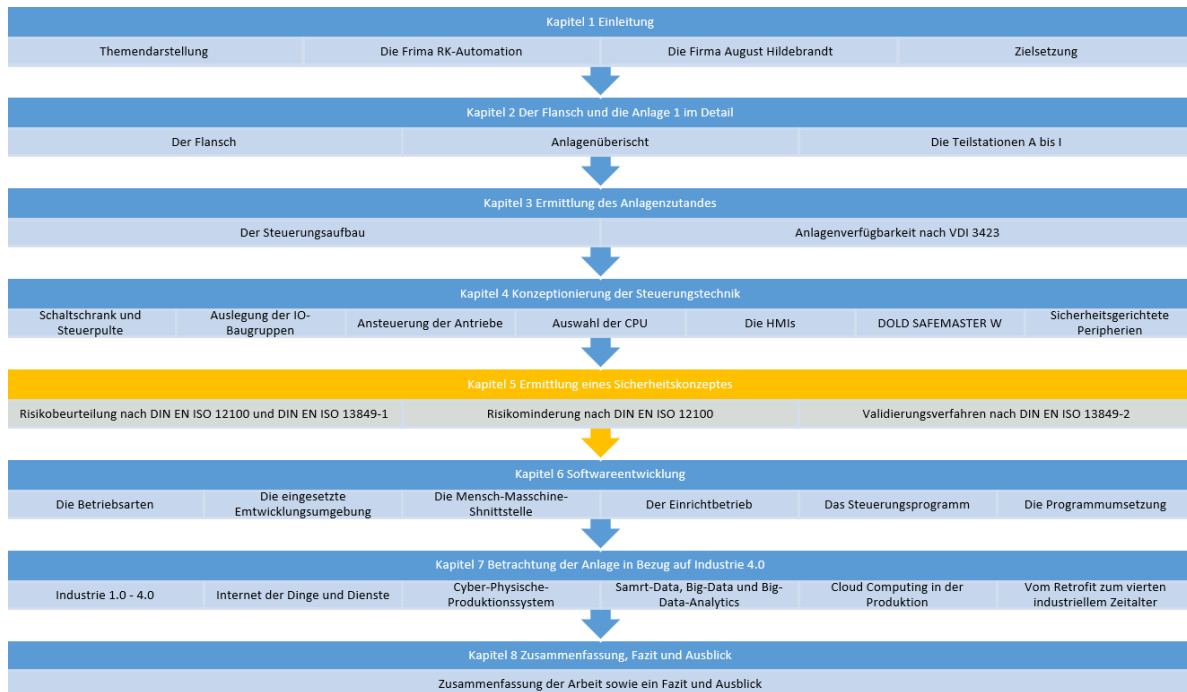


Abbildung 1.1: Kapitelübersicht der Arbeit

Im Kapitel 2 „Der Flansch und die Anlage 1 im Detail“ wird die Anlage und der Flansch detailliert vorgestellt, um die Zusammenhänge der einzelnen Teilstationen der Anlage und die Bearbeitungsschritte des Flansches nachvollziehen zu können. Darüber hinaus werden Begrifflichkeiten der Teilstationen aufgeschlüsselt, welche für das Verständnis der nachfolgenden Kapitel erforderlich sind. Des Weiteren werden in diesem Kapitel die einzelnen, erforderlichen Bearbeitungsschritte besprochen, um einen Flansch zu produzieren und diesen zu einem Leitungstransportsystem zusammenzufügen.

Das Kapitel 3 „Ermittlung des Anlagenzustandes“ befasst sich mit den derzeit verbauten Steuerungskomponenten. Dabei werden die wesentlichen verbauten Komponenten auf ihre derzeitige Verfügbarkeit beim Hersteller untersucht. Weiterhin wird die grundlegende Steuerungsarchitektur der Anlage dargestellt. Im Anschluss wird die technische Verfügbarkeit der Anlage für den Betrachtungszeitraum 2019 berechnet, um auf Basis des Ergebnisses und der Verfügbarkeit der Komponenten die Dringlichkeit des Retrofitprojektes darzulegen. Darauf basierend wird ein Ziel formuliert, welches mit dem Retrofit angestrebt wird.

Für das Kapitel 4 „Konzeptionierung der Steuerungstechnik“ wird auf Basis der gewonnen

Erkenntnisse aus Kapitel 3 eine neue Steuerungstechnik konzipiert. Bei der Auslegung der Steuerungstechnik wird konsequent auf eine Bildung von Reserven für spätere Erweiterungen geachtet. Dabei werden für die Auswahl von Komponenten Anforderungen aus dem Pflichtenheft der Anlage berücksichtigt. Die Auslegung neuer Steuerungsrealisierungen hydraulischer und pneumatischer Zylinder wird dabei an Fachfirmen vergeben.

Neben der Steuerungstechnik zur Steuerung der Prozesse erhält die Anlage auch sicherheitsgerichtete Schaltungskomponenten. Diese werden im Rahmen der „Ermittlung eines Sicherheitskonzeptes“ in Kapitel 5 durch eine Sicherheitsbetrachtung nach DIN EN ISO 12100 und DIN EN ISO 13849-1, in der mögliche Gefahren für den Bediener bei der Ausübung seiner Tätigkeiten erkannt und bewertet werden, ausgelegt. Anschließend werden die ausgelegten sicherheitsgerichteten Schaltungskomponenten nach DIN EN ISO 13849-2 validiert.

Mit Kapitel 6 „Softwareentwicklung“ wird die Software der Anlage nach den Vorgaben des Pflichtenheftes und im ständigen Austausch mit dem Kunden entwickelt. Bei der Entwicklung der Mensch-Maschinen-Schnittstelle liegt der Fokus auf einer möglichst eindeutigen Benutzerführung, die durch blinkende Elemente und Anweisungen über das Meldefenster des HMIs in ihrer Entscheidungsfindung aktiv unterstützt werden soll.

In Kapitel 7 „Betrachtung der Anlage in Bezug auf Industrie 4.0“ werden zu Beginn die grundlegenden Begrifflichkeiten der Industrie 4.0 erläutert, welche für das Verständnis des Kapitels erforderlich sind. Auf Basis der gewonnenen Technologien des Retrofits wird ein möglicher Minimalaufwand für einen Betrieb der Anlage im vierten industriellen Zeitalter ermittelt. Dabei wird neben der Anlage die Intralogistik für die Anlage sowie die Firmenstruktur des Kunden August Hildebrandt GmbH betrachtet.

Mit Kapitel 8 „Zusammenfassung, Fazit und Ausblick“ wird zunächst eine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte der Arbeit formuliert. Im Anschluss erfolgt ein Fazit zu der vorliegenden Bachelorarbeit und im Ausblick wird das weitere Vorgehen in diesem Projekt erläutert, sowie die zukünftige Zusammenarbeit mit der Firma August Hildebrandt GmbH aufgezeigt.

## 2 Der Flansch und die Anlage 1 im Detail

### 2.1 Der Flansch

Mit der Anlage, welche den Namen Anlage 1 trägt, werden bei August Hildebrandt Flansche für Leitungstransportsysteme hergestellt. Die Flansche besitzen einen Durchmesser von minimal 1600mm und maximal 3400mm. Abbildung 2.1 zeigt zwei mögliche Varianten des Flansches:



Abbildung 2.1: Übersicht Flanschplatten

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1. Pinole       | 4. Code-Karte |
| 2. Mitnehmer    | 5. Schrägloch |
| 3. Trommelbolze | 6. Achsplatte |

Mit Hilfe der Pinole kann das Leitungstransportsystem angehoben oder verladen werden. Die Mitnehmerlöcher sind für die Kabelwerke entscheiden. Mit Hilfe dieser kann ein Leitungstransportsystem in einem Kabelspulgeräte angetrieben werden, wodurch es beispielsweise mit einem Unterseekabel bespult werden kann. Die Anzahl der Mitnehmerbohrungen kann zwischen 1 bis 4 Bohrungen variiert werden. Die Trommelbolzen bestehen aus Gewindestangen, die von Flanschplatte zu Flanschplatte verlaufen. Mit Hilfe diese, werden die Flansche aneinandergezogen, wodurch das Leitungstransportsystem seine Stabilität erhält. Je nach Anforderung, die

an ein Transportsystem gestellt werden, kann die Anzahl der Trommelbolzen von 3 bis 20 variiert werden. Mit Hilfe des Schrägloches kann der Anfang einer Leitung am Flansch befestigt werden, wodurch sich ein Transportsystem leichter bespulen lässt. Das Schrägloch gibt es in verschiedenen Ausrichtungen wie deutsch, belgisch und deutsch/belgisch im Wechsel. Durch die Verwendung einer Achsplatte kann die Pinole verstärkt werden, wodurch sie höhere Lasten tragen kann. Des Weiteren können mithilfe der Achsplatte zusätzliche Systeme installiert werden, die es erlauben, das Leitungstransportsystem mit unterschiedlichen Hebeeinrichtungen zu bedienen.

## 2.2 Anlagenübersicht

Die Anlage 1 teilt sich in 10 Teilstationen, A-Zulegestation, B-Bandsäge, C-Nagelstation, D-Bohrstation, E-Frässtation, F-Verfahrwagen, G-Ausschleusung, H-Ausschieber, I-Hubtisch und K-Montage auf. Die Station C-Nagelstation ist jedoch mit einer externen Steuerung versehen, die aufgrund von Freigaben der vor- und nachgelagerten Stationen den Nagelprozess steuert. Diese hat vor einigen Jahren ein Retrofit erhalten und bleibt von diesem Projekt unberührt.

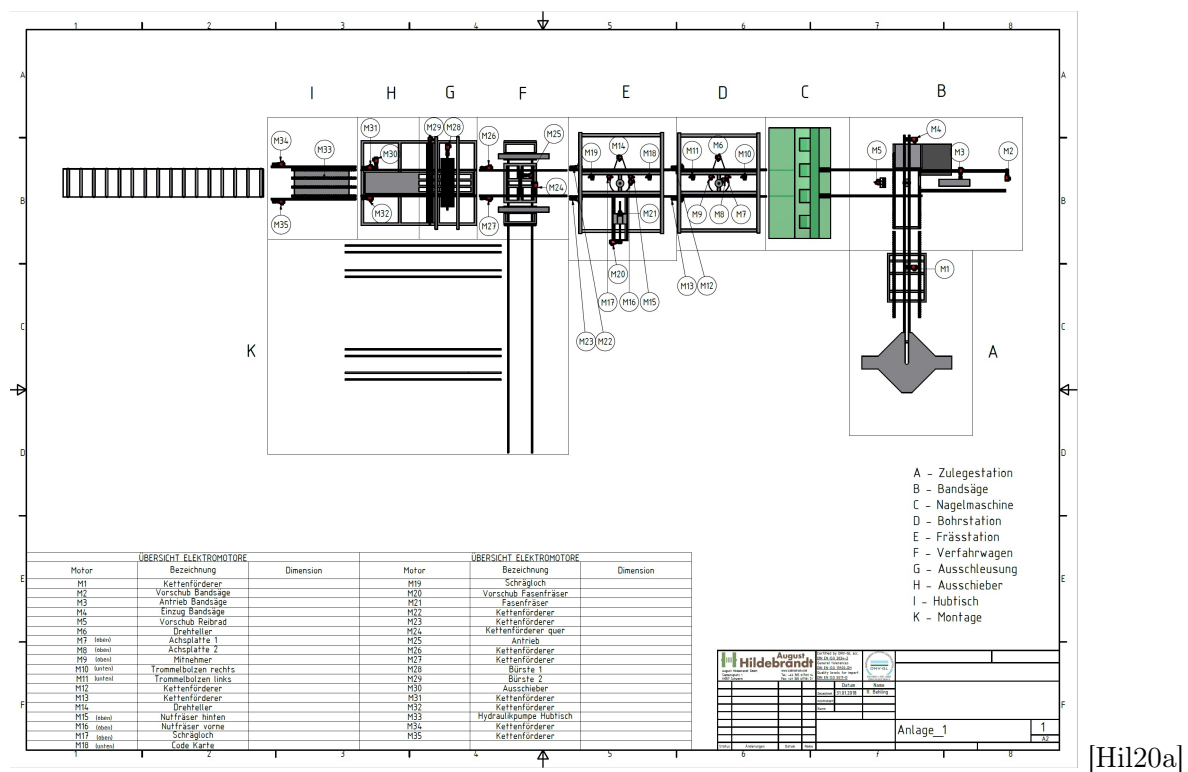


Abbildung 2.2: Anlagenübersicht

Im Rahmen des Retrofits wurden die Station G-Ausschleusung und H-Ausschieber zur Station G-Ausschieber zusammengefasst. Die Station I-Hubtisch und K-Montage wurden in H-Hubtisch und I-Montage umgenannt. Somit besitzt die Anlage nur noch neun Teilstationen.



### 2.2.1 Station A-Zulegestation

Für den Betrieb, wird die Anlage 1 über den Zulegetisch der Zulegestation mit einem Flanschrohling händisch bestückt. Der Flanschrohling wird zuvor auf dem Zulegetisch händisch aus zwei, um 90 Grad versetzten Bretterlagen zusammengefügt und mit einer Nagelpistole provisorisch zusammengeheftet.

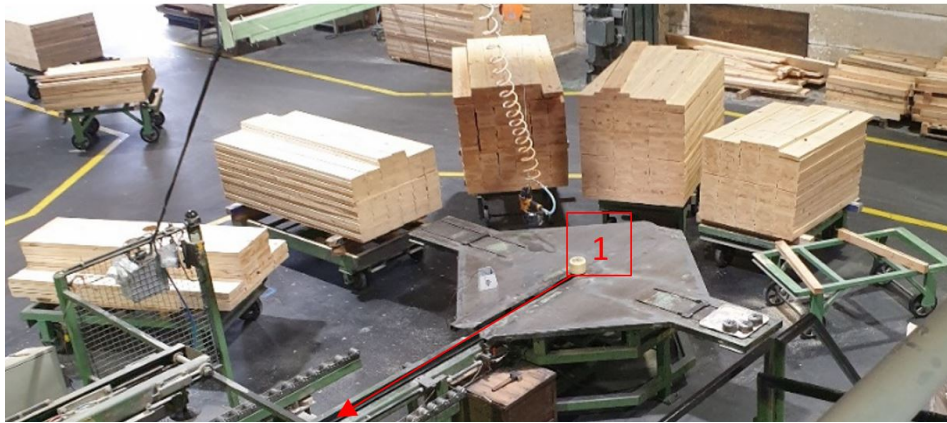


Abbildung 2.3: Zulegetisch der Station A-Zulegestation

Über eine Startwahltaste wird der fertige Flanschrohling bestätigt, und die Anlage beginnt mit Hilfe der unteren Pinole(1) der Zulegestation den Rohling hineinzuziehen. In der Zulegestation angekommen wird der Flansch über einen Hubtisch(2) auf das Niveau der nachgelagerten Bandsäge(3) angehoben.



Abbildung 2.4: Hubtisch Zulegestation und Einzug Bandsäge

### 2.2.2 Station B-Badnsäge

Ist der Hubtisch auf dem Höhenniveau der Bandsäge angekommen, zieht die obere Pinole(1) den Flanschrohling in die Station B-Bandsäge hinein.



Abbildung 2.5: Obere Pinole B-Bandsäge

In der Bandsäge wird der Flanschrohling über den Drehteller(2) ausgehoben und mit dem Reibrad(3) kreisförmig durch die Bandsäge(4) verfahren.

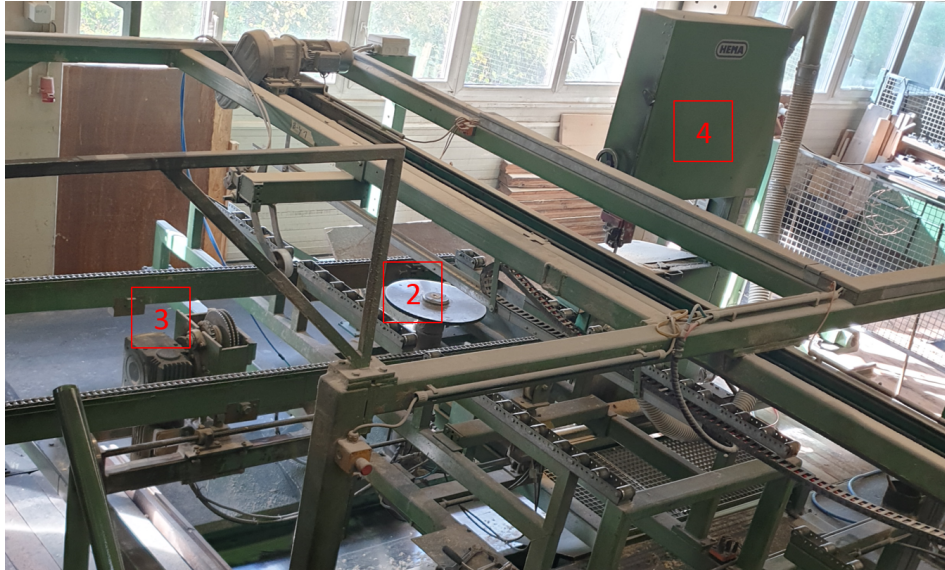


Abbildung 2.6: Station B-Bandsäge



### 2.2.3 Station C-Nagelstation

Hat der Flanschrohling seine typische runde Form erhalten, wird dieser über den Kettenförderer(1) von der Bandsäge in die Nagelmaschine(2) transportiert.



Abbildung 2.7: Station C-Nagelmaschine

In der Nagelmaschine werden beide Bretterschichten des Flanschrohlings aneinander befestigt. Hierfür wird der Flanschrohling ähnlich wie bei der Station B-Bandsäge, über ein Reibrad kreisförmig durch die Nagelmaschine verfahren.

### 2.2.4 Station D-Bohrstation

Nach der erfolgreichen Absolvierung des Nagelprozesses wird der Rohling mit Hilfe der Kettenförderer von der Nagelstation und Bohrstation in die Bohrstation transport. Hier angekommen wird der Flanschrohling mit den Bohrungen von Mitnehmer(1),



Abbildung 2.8: Mitnehmerbohrer der Station D-Bohrstation

Trommelbolzen(2), sowie Achsplatten(3) versehen. Dafür wird der Flanschrohling auf einem Drehteller(4) abgelegt, welcher den Flansch nach Gradmaß für die Bohrungen positioniert.

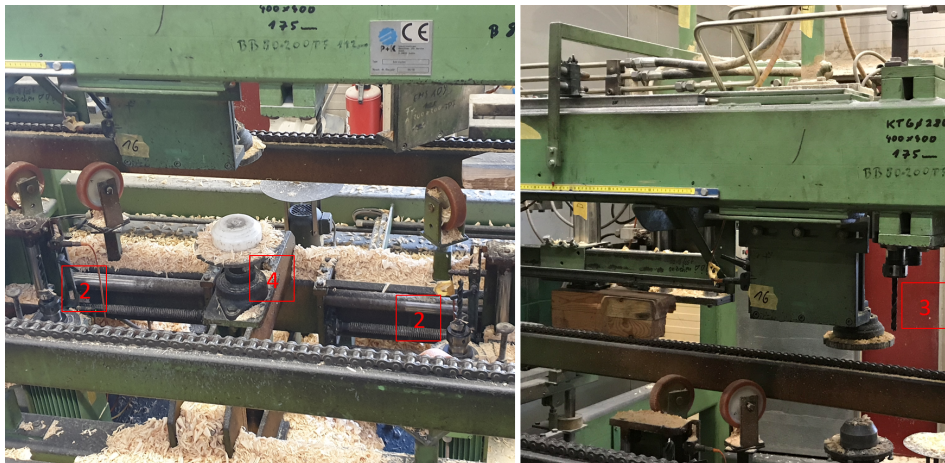


Abbildung 2.9: Trommelbolzen-, Drehteller und Achsplattenbohrer der Station D-Bohrstation

Die Bohrer für den Trommelbolzen und die Achsplatte, sind an ihren Ort mechanisch gebunden. Lediglich der Mitnehmerbohrer wird während des Bohrvorgangs über einen Spindelmotor in seiner Position verändert.

### 2.2.5 Station E-Frässtation

Hat die Bohrstation ihren Bearbeitungsprozess abgeschlossen, so wird der halbfertige Flansch in die Frässtation übergeben, wo der letzte Bearbeitungsprozess des Flanschrohlings durchgeführt wird.

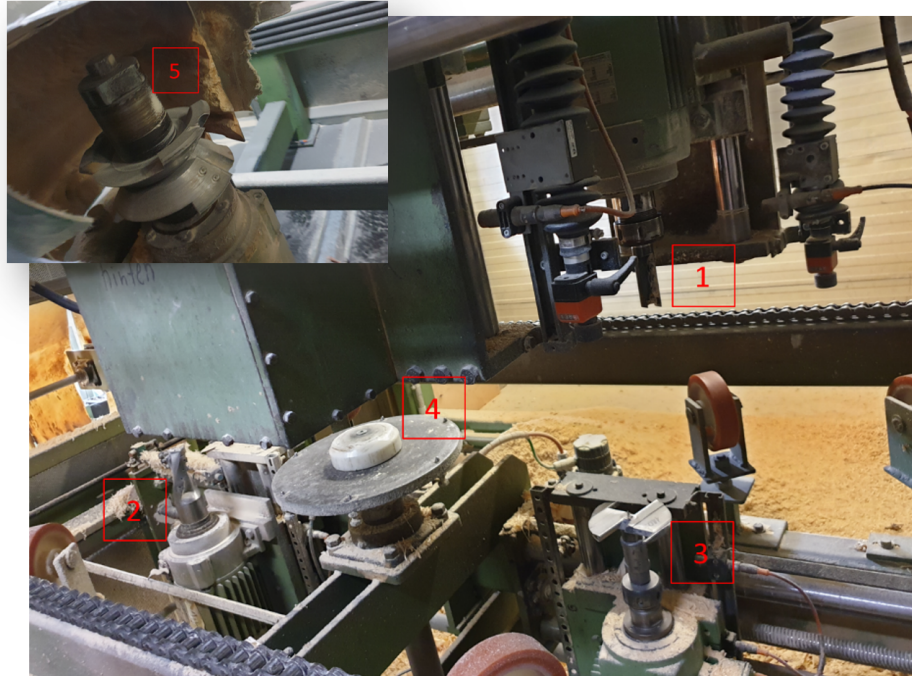


Abbildung 2.10: Übersicht der Werkzeuge in der E-Frässtation

In der Frässtation wird der Flansch mit einer Nut durch eine Nutfräse(1) versehen. Mit einem oben- und untenliegenden Schräglochfräser(2) wird der Flansch mit einem Schrägloch (auch Kabeldurchführung genannt) versehen. Zusätzlich wird auf Kundenwunsch der Flansch mit einer Code-Karten-Bohrung(3) versehen, in welcher der Kunde Identifikationskarten oder RFID-Chips einlassen kann. Wie bei der Frässtation wird der Flansch auch in der Frässtation über den Drehteller(4) nach Gradmaß verfahren.

Des Weiteren wird mit einer Fasenfräse(5), die runde Form des Flansches vollendet und die Kanten der Rundung abgerundet. Der Abrundungsgrad der Flansche orientiert sich an der optionalen Eisenbeschlagung in einem Folgearbeitsschritt. Die Schräglochfräseinheiten und der Fasenfräser sind in dieser Station die einzigen, die ihre Position dynamisch verändern können.



### 2.2.6 Station F-Verfahrwagen

Wenn der Flansch in der Frässtation fertig bearbeitet ist, wird dieser über den Kettenförderer zum Verfahrwagen transportiert.

Für den Verfahrwagen gibt es mehrere Optionen. Je nach Produkt, kann der Flansch über den Ausschieber zum Hubtisch verfahren werden, wo er in unterschiedlicher Stapelgröße die Anlage verlässt. Eine weitere Variante wäre, die Flansche über den Verfahrwagen in die Montagelinie zu leiten.



Abbildung 2.11: Station F-Verfahrwagen

Bei dieser Variante bestückt der Verfahrwagen die Station I-Montage mit Flanschen. Hierzu besitzt der Verfahrwagen auf jeder Seite einen Aufrichter(1). Diese werden in „Aufrichter“ rechts und „Aufrichter links“ unterschieden, welche für die Aufrichtung der Flansche verwendet wird. Die Station I-Montage besitzt zwei Montagelinien, welche wiederum zwei Flanschspuren besitzen, da für die Montage eines Transportsystems zwei Flanschplatten benötigt werden. Sollen nun Flanschplatten in die Montagelinie verfahren werden, so fährt der Verfahrwagen jede Montagelinie zwei mal an. Dabei dabei kommen die Aufrichter links und rechts abwechselnd so zum Einsatz, dass die Nutfräsung der aufgerichteten Flanschplatten einer Montagelinie sich gegenüber liegen. Dies ist nötig, damit in der Montage beide Flansche zu einem fertigen Leitungstransportsystem verarbeitet werden können. Neben den zwei bekannten Varianten gibt es noch eine dritte. Bei dieser werden Flansche über den Verfahrwagen in die Montage gefahren und ein entstehender Überschuss wird über die Stationen G-Ausschieber und H-Hubtisch abgestapelt. Ein Überschuss entsteht immer dann, wenn die Montage keine weiteren Kapazitäten mehr besitzt.

### 2.2.7 Station G-Ausschieber

Die Station G-Ausschieber besitzt zwei Teile. Im vorderen Bereich der Station, befinden sich zwei Bürsten(1). Diese Bürsten besitzen die Aufgabe, die vom Verfahrwagen kommenden Flanschplatten von überschüssiger Holzspäne zu befreien.



Abbildung 2.12: Die Bürsten der Station G-Ausschieber

Nach dem ein Flansch durch die Bürsten von restlicher Holzspäne befreit wurde, kommen die Flansche in den nachgelagerten Ausschieber(2).



Abbildung 2.13: Der Ausschieber der Station G-Ausschieber

Im Ausschieber angekommen wird der Flansch so lange über den Ausschieber verfahren, bis dieser zur Hälfte über den Ausschieber heraus- und dem Hubtisch herüberraagt. Nun fährt die Ausschieberplatte heraus, um den Flansch auf dem Hubtisch abzulegen. Berührt der Flansch den Hubtisch, so fährt die Ausschieberplatte zurück in ihre Ruheposition, wodurch der Flansch sanft abgestreift wird.

Der Ausschieber kommt immer dann zum Einsatz, wenn die fertigen Flanschplatten direkt abgestapelt werden (Variante 1) oder wenn beim Verfahren in die Station I-Montage ein entstehender Überschuss abgestapelt werden soll (Variante 3).

### 2.2.8 Station H-Hubtisch

Der Hubtisch empfängt die fertigen Flanschplatten aus dem Ausschieber.



Abbildung 2.14: Station H-Hubtisch

Mit Hilfe des Hubtisches werden die Flanschplatten in verschiedengroße Stapel portioniert. Die Größe der jeweiligen Flanschstapel werden in der HMI durch den Bediener frei festgelegt.

Ist eine gewünschte Stapelgröße erreicht, fährt der Hubtisch bis auf den Boden herab. Hierdurch werden die Flanschstapel auf dem Kettförderer des Hubtisches abgelegt und über diesen der nachgelagerten Rollenbahn zugeführt. Auf der Rollenbahn verweilen die Flanschstapel, bis diese von einem Gabelstapler abgeholt werden, um sie weiteren Bearbeitungsschritten zuzuführen.



### 2.2.9 Station I-Montage

In der Station I-Montage werden die zuvor produzierten Flansche zu einem Leitungstransportsystem zusammengefügt. Die Endmontage der Transportsysteme erfolgt ähnlich wie bei der Zulegestation (Kapitel: 2.2.1) händisch. Dabei werden die Montagelinien A und B durch jeweils einen Arbeiter bedient.

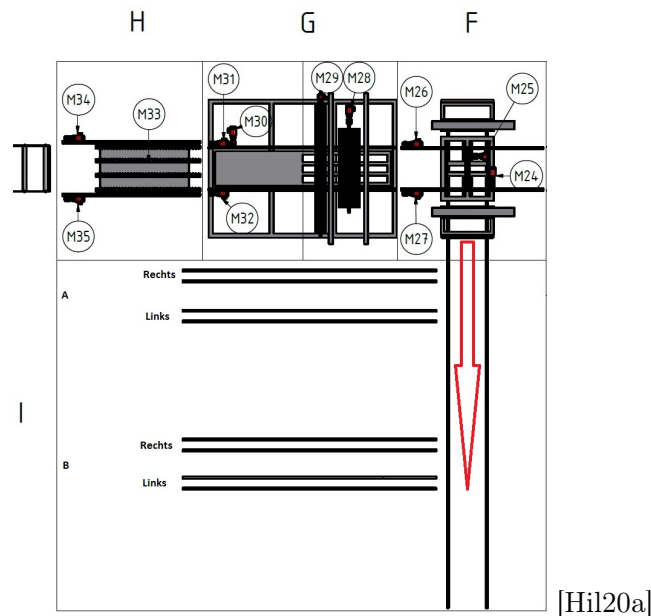


Abbildung 2.15: Ausschnitt Übersicht Station I-Montage

Diese Montagelinie besitzen zwei Spuren welche A-Rechts und A-Links (1A), sowie B-Rechts und B-Links (1B) bezeichnet werden. Diese Linien werden, wie in Kapitel 2.2.6 erwähnt, durch den Verfahrwagen bestückt. Dabei wird jede Linie mit mindestens zwei Flanschen versehen, ehe eine andere Linie angefahren wird. Das Befüllen dieser Linien kann auf verschiedene Arten geschehen. Neben den zwei in Kapitel 2.2.6 erwähnt Varianten, kann zusätzlich an jeder Montagelinie über eine Taste die Bestückung angefordert werden. Hierdurch kann eine bedarfsgerechte Bestückung auch bei unterschiedlich schnellen Montagemitarbeitern erfolgen.



Abbildung 2.16: Sicht auf die Montagelinie von der Fräskabine

### 2.2.10 Der Montagevorgang

Bei der Endmontage werden jeweils zwei Flanschplatten zu einem Leitungstransportsystem zusammengefügt. Hierfür kann ein Bediener die Flanschplatten aus der Montagelinie entnehmen. Die Flanschplatten werden auf einem, im Boden eingelassenen Rollenstand(1) gegenüberstehend ausgerichtet. Mit Hilfe des Rollenstands kann der Bediener über einen Drehtaster den Flansch vor- und zurückdrehen, was die Bestückung vereinfacht.



Abbildung 2.17: Transportsystem im Entstehungsprozess

Sobald die beiden Flansche sich gegenüberstehend ausgerichtet sind, werden sie mit den Trommelbolzen(2) aneinander gezogen. Die Trommelbolzen werden dabei nur so fest zusammengezogen, dass ohne größere Mühe die Bretter(3) für den Mittelsteg in die Nutfräsung eingelegt werden können.



Abbildung 2.18: Vollendetes Leitungstransportsystem

Sind die Nutfräsungen vollständig mit Brettern aufgefüllt, so werden die Trommelbolzen festgezogen, wovon die Stabilität des gesamten Transportsystems abhängt. An dieser Stelle können nun Besonderheiten, beispielsweise eine Achsplatte angebracht werden.

## 3 Ermittlung des Anlagenzustandes

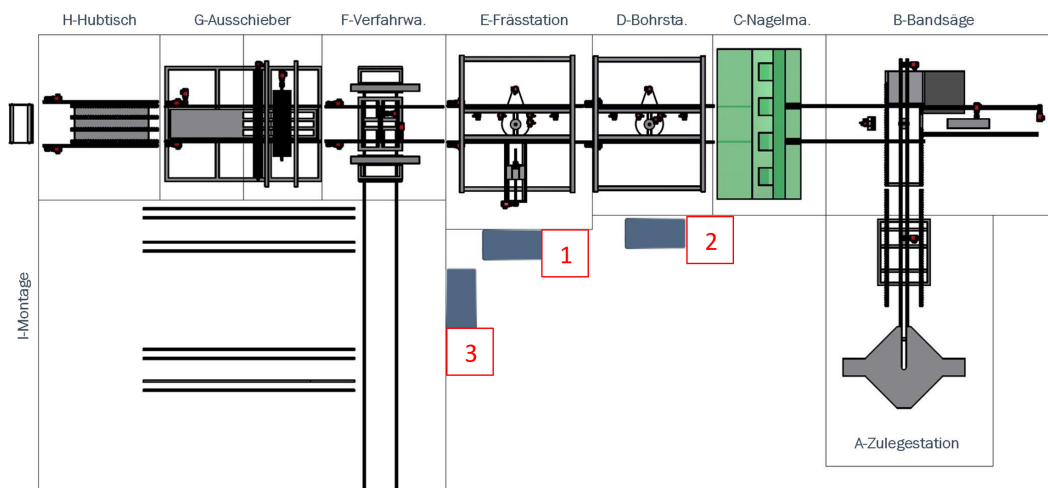
Die Anlage 1 der Firma August Hildebrandt wurde im Jahre 1997 durch die Firma Domino-Anlagenbau GmbH erbaut und in Betrieb genommen. Bis heute ist die Anlage durchschnittlich 5 Tage die Woche, Sonn- und Feiertage, sowie Samstage ausgenommen, im Zweischichtbetrieb bedient worden.

In Kapitel 1.1 ist bekannt, dass die Anlage eine hohe Ausfallanfälligkeit aufweist. Diese hohe Ausfallanfälligkeit soll durch das Retrofit-Projekt auf ein verträgliches Minimum reduziert werden. Hierfür muss zunächst der Ist-Zustand der Anlage erfasst werden, um auf Grundlage der gewonnen Erkenntnisse in Kapitel 4 eine geeignete neue Steuerungstechnik auslegen zu können.

### 3.1 Der Steuerungsaufbau

#### 3.1.1 Die eingesetzte Steuerungstechnik

Das Herzstück der Anlagentechnik bildet derzeit, ein Master-Slave Aufbau, bestehend aus drei S5-95U CPUs.



[Hil20a]

Abbildung 3.1: Verteilung der S5-95U CPUs in der alten Anlagensteuerung

In dem Pult(1) an der Frässtation nach Abbildung 3.1 befindet sich die erste der drei S5-95U CPUs. Diese SPS bildet die Master CPU der Anlage. Zwei weitere S5 95U CPUs befinden sich jeweils im Steuerpult(2) vor der Bohrstation und im Steuerpult (3). Diese beiden S5-95U bilden dabei die Slave-CPU's. Die Prozesse der beiden Slave werden aufgrund von Informationen der

Master CPU, ihren IO-Baugruppen sowie von ihrem Bedienpanel angestoßen und beeinflusst. Die Master CPU beginnt ihre Prozesse aufgrund von Daten, die aus der Rezepturverwaltung, von einem Bediener über das Bedienpanel eingegeben wurden und von ihren IO-Baugruppen stammen. Sie steuert dabei die Hydraulikpumpe und das Verfahren der hydraulischen Werkzeugachsen und dessen Motoransteuerung in der Frässtation. Darüber hinaus versorgt sie die beiden Slave CPUs mit Informationen, welche sie für die Bearbeitung der Prozesse benötigen. Die erste Slave CPU im Steuerpult 2 steuert die D-Bohrstation, B-Bandsäge und A- Zulegestation. Die zweite Slave CPU steuert den Bereich der Stationen F-Verfahrwagen, G-Ausschieber, sowie H-Hubtisch und empfängt die Flanschanforderungen eines Bedieners an der Montagelinie. Die S5-95U CPUs sind seit dem 15.05.2010 von der Firma Siemens abgekündigt.[Sie10a]



ma August Hildebrandt GmbH aufgefangen werden. In Zukunft werden diese IO-Baugruppen neben der S5 95U ein limitierender Faktor der Anlage sein, da diese seit Anfang Oktober 2017 abgekündigt sind. [Sie17a] Der Ausfall eines der S5-95U oder der IO-Baugruppen kann aufgrund der Abkündigung durch den Hersteller, zu einem totalen Anlagenverlust für mindestens mehrere Monate führen. Die Steuerung kann dann nur über ein Retrofit, welches mehrere Monate dauern würde, oder durch gebrauchte Ersatzteile wieder hergestellt werden.

### 3.1.3 Die Antriebe

Zum Beginn des Projektes wurde bei der Bestandsaufnahme der Anlage eine Liste erstellt, in der alle Typenschilder, sowie die Anschaltung der Motoren, aufgenommen wurden. Hierbei wurden 37 Motoren erfasst.

Nutfräse Pultseite	
Motor M16: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V; 8kW; 15A; $\cos(\Phi)=0,85$	KEB 15 F4 DOG-3440
Nutfräse Wandseite	
Motor M15: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V;8kW;14,5A; $\cos(\Phi)=0,89$	KEB 16 F4 C06 -3420
Schräglloch oben	
Motor M17: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V;16kW;30A; $\cos(\Phi)=0,9$	KEB 16 F5 C1E 340A
Schräglloch unten	
Motor M19: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V;16kW;30A; $\cos(\Phi)=0,9$	KEB 16 F5 C1E 340A
Code Karte	
Motor M18: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V;4,5kW;11,5A; $\cos(\Phi)=0,7$	Direktanschaltung
Fasenfräser	
Motor M21: Spindelmotor	Antrieb alt:
400V;16kW;29A; $\cos(\Phi)=0,9$	KEB 16 F4 C1G -3440/22
Vorschub Fasenfräser	
Motor M20: Getriebemotor $i=6,80$	Antrieb alt:
400V;0,55kW;1,52A; $\cos(\Phi)=0,73$	KEB 07 F4 C30-3420
Drehteller	
Motor M14: Servomotr	Antrieb alt:
400V;1,1kW;2,2A	SEW MDX61B0008-5A3-4-OT
Verstellung Schrägllochfräser oben und unten	
Motor M9 & M10:	Antrieb alt:
Asynchronmotor	
2x (400V;0,37kW;1,06A; $\cos(\Phi)=0,77$ )	Wendeschutzschaltung
Kettenförderer	
Motor M22 & M23:	Antrieb alt:
Asynchronmotor	
2x (400V;0,55kW;1,42A; $\cos(\Phi)=0,78$ )	Wendeschutzschaltung

Tabelle 3.1: Übersicht Motoren der Station E-Frässtation

Zur Ermittlung der Antriebsrealisierungen in der jetzigen Anlage dient Tabelle 3.1 stellvertretend für alle Antriebe (als Ausschnitt der Motorenliste), da die Frässtation alle vorkommenden Antriebsansteuerungen beinhaltet. Die Frequenzumrichter der Firma KEB kommunizieren derzeit über Profibus mit der CPU. Die KEB Frequenzumrichter stammen aus dem Entstehungsjahr der Anlage. Aufgrund ihres Alters wurden diese bereits vom Hersteller abgekündigt, wodurch keine Tauschgeräte mehr erhältlich sind.[KG] Der SEW Frequenzumrichter wird derzeit als Closed Loop<sup>1</sup> Lösung zur Positionierung des Drehtellers der Frässtation eingesetzt. Dieser wurde in jüngerer Vergangenheit eingebaut und wird weiterhin vom Hersteller geführt. Der SEW Frequenzumrichter kommuniziert mit der Steuerung über Profibus DP. Die Frequenzumrichter werden in der Anlage für die Positionierung des Verfahrwagens, der Drehteller in der Bohrstation und Frässtation, sowie zum Antreiben der Fräswerkzeuge verwendet. Der Großteil der Motoransteuerung wird über Direkt- oder Wendeschutzschaltungen realisiert. Die Frequenzumrichter sind in einem Hauptschaltschrank der Anlage verbaut. Die Direkt- und

<sup>1</sup>Closed Loop: Motoren besitzen einen Drehgeber und kommunizieren ihre Position an den Frequenzumrichter



Wendeschützschaltungen sind auf die 3 Pulte und dem Hauptschaltschrank verteilt.

### 3.1.4 Ansteuerung der Feldebene

Auf der Feldebene wird in der aktuellen Steuerungsrealisierung ein Aktor-Sensor-Interface-Bus verwendet. Der eingesetzte AS-i-Bus entstammt ebenfalls aus dem Entstehungsjahr der Anlage. Mithilfe der Durchdringungstechnik seiner Zweidraht-Busleitung ist der Aktor-Sensor-Interface-Bus (AS-i Bus) der ideale Zubringer von Sensor- und Aktordaten in der Feldebene. Hierdurch können AS-I Teilnehmer (Slaves) ohne Fachkenntnisse spontan nachgerüstet werden, da die Leitungsform ein Verpolen der Salves verhindert.

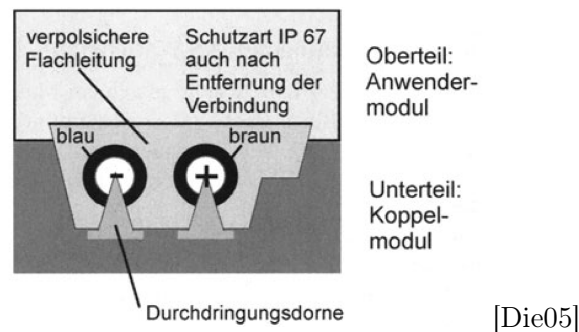


Abbildung 3.4: Querschnitt einer AS-i Busleitung

Die Kommunikation über den Bus erfolgt im nach dem Master-Slave-Prinzip mit zyklischem Polling. Bei dem Polling spricht der Master zyklisch alle Teilnehmer an, um ihnen eine Nachricht zu senden oder eine zu empfangen. Die Busteilnehmer, auch Devices genannt, haben keinen aktiven Buszugriff und können nur senden, wenn sie vom Master angepollt werden. Der AS-i Bus wird über den AS-i Master mit dem überlagerten Profibus DP an die Steuerung angeschlossen.[WZ02] Heute wird AS-i weiterhin entwickelt und befindet sich mit AS-i 5 in seiner jüngsten Version. Mit AS-i 5 lassen sich auch zukunftsweisende Anforderungen realisieren, wie das Nachrüstung von IO-Link-gestützten smarten Sensoren oder Aktoren.[Wie]



Abbildung 3.5: Beispiel eines AS-i Dives (Slaves) in der Anlage 1

Mit Hilfe des AS-i Busses werden alle Positionierungssensoren und Schleichgangssensoren der Anlage mit der Steuerung verschaltet. Darüber hinaus wird die Ansteuerung der Pneumatik- und Hydraulikventile, sowie die sicherheitsgerichteten Zugangstüren, über den AS-i Bus angesteuert und das Betätigen von NOT-Halt Schalter eingelesen.



#### 3.1.5 Die Sensoren der Feldebene

In der Anlage 1 kommen induktive Sensoren sowie kapazitive Sensoren zum Einsatz. Die induktiven Sensoren kommen auf den pneumatischen und hydraulischen Hubachsen zum Einsatz. Hierbei erkennen sie die Endlage der jeweiligen Achsen und melden diese über einen AS-i Slave, Abbildung 3.5, an die Steuerung. Die Initiatoren werden dabei auf unterschiedliche Weise an den Achsen angebracht. Auf den Pneumatikachsen werden die Initiatoren in eine Sitznut auf den Pneumatikzylinder eingelassen.

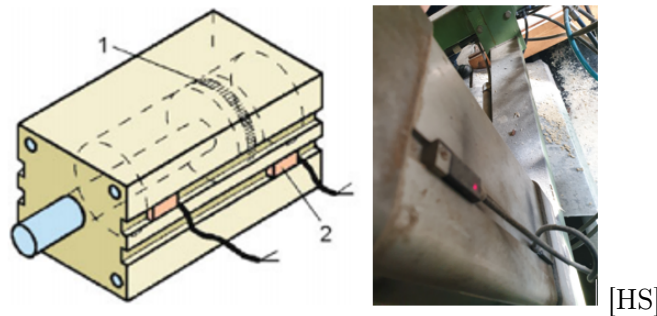


Abbildung 3.6: Technische Realisierung der Positionserkennung eines Pneumatikzylinders

Die Pneumatikzylinder in der Anlage 1 sind technisch nach Abbildung 3.6 realisiert. Pro Zylinder werden zwei induktive Initiatoren eingesetzt welche die Grundstellung und die Arbeitsstellung erkennen. Hierfür ist der Kolben mit einem Magnetring(1) ausgestattet, welcher von den induktiven Sensoren bzw. induktiven Näherungssensoren bei Erreichen seiner Endlagen erkannt wird.[HS] Die Induktiven Sensoren gelten als sehr robust und verschleißfrei, wodurch sie sehr langlebig sind.[Ger] In der Anlage 1 sind alle Initiatoren auf den Pneumatikzylindern sowie die Pneumatikzylinder selbst von der Firma Festo.

Auf den Hydraulikachsen wird die Endlagenerkennung mit in Abbildung 3.7 rot umrandeten induktiven Näherungssensoren realisiert

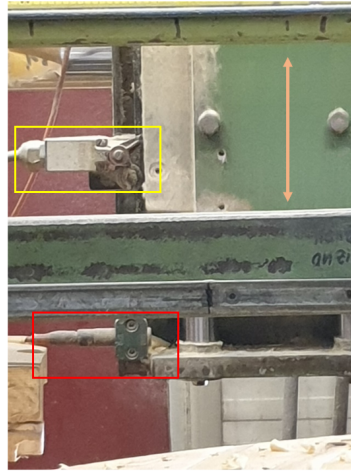


Abbildung 3.7: Technische Realisierung der Positionserkennung einer Hydraulikachse

Dieser Sensor erkennt die untere Position der Hydraulikachse. Von diesen induktiven Sensoren bzw. induktiven Näherungssensoren sind an jeder hydraulischen Achse jeweils einer für die untere und obere Position angebracht.

Die in Abbildung 3.7 gelb umrandeten Positionstaster mit Rollenhebel werden zum aktivieren des Schleichganges verwendet. Mit dem Aktivieren des Schleichganges, wird die verfahrenende Hydraulikachse mit einer auf den Bearbeitungsprozess optimierten Geschwindigkeit weiter verfahren. Beim Ausheben eines Werkzeuges bleibt der Schleichgang so lange aktiviert, bis der Trägerahmen den Rollenhebel nicht weiter betätigt. Eine solche Realisierung von Schleichgängen wird in der Anlage 1 nur für die Positionierung der Schräglochfräsen und dem Mitnehmerbohrer realisiert. Die Betrachtung und Auslegung der Steuerungshardware für die Hydraulik und Pneumatik wird durch externe Fachfirmen übernommen.

Neben den induktiven Näherungssensoren und den Positionstastern mit Rollhebeln, besitzt die Anlage zudem kapazitive Sensoren, welche hier nur in den D-Bohrstationen und der E-Frässtation zum Einsatz kommen. Mit Hilfe dieser wird erkannt, ob ein Flanschrohling in der jeweiligen Station angekommen ist, wodurch die Kettenförderer gestoppt werden.

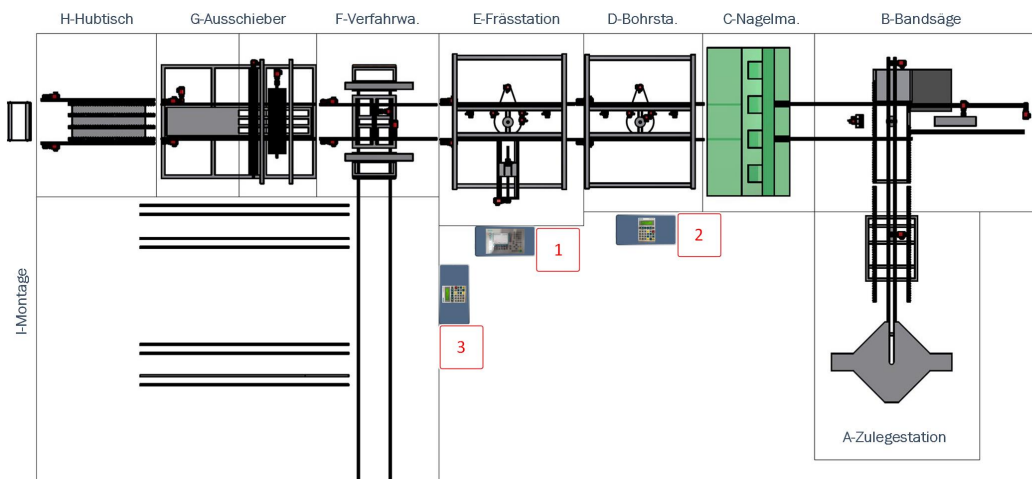
#### 3.1.6 Das HMI der Anlage

Die Anlage 1 umfasst drei Mensch-Maschine-Schnittstellen (HMI).



Abbildung 3.8: Siemens Simatic Operator Panel OP5 und Operator Panel OP27

Die drei verbauten Panels setzen sich aus zwei Siemens Simatic Operator Panel OP5, in Abbildung 3.8 vertreten durch ein Operator Panel OP5, und aus einem Simatic Operator Panel OP27 zusammen.



[Hil20a]

Abbildung 3.9: Operator Panel Verteilung in der Anlage 1

Am Bedienpult 1 in Abbildung 3.9 befindet sich in der aktuellen Anlagenrealisierung das Operator Panel OP27. Dieses Operator Panel ist mit der Master-CPU verbunden und steuert dabei nur die Werkzeuge in der Frässtation. Des Weiteren werden über das OP27 die Rezepturen für die Anlage neu angelegt bzw. geändert. Über die Rezepturen werden die Art und Anzahl der Bohrungen, sowie die Fräsungen der Stationen D-Bohrstation und E-Frässtation vorgegeben. Das erste Simatic Operator Panel OP5 ist im Bedienpult 2, der Abbildung 3.9 eingelassen. Dieses steuert die Werkzeuge der D-Bohrstation sowie die Stationen B-Bandsäge und A-Zulegestation. Das zweite OP5 Operator Panel ist im 3. Bedienpult eingelassen, wo es die Bereich F-Verfahrwagen, G-Ausschieber, und H-Hubtisch steuert. Die Operator Panel

bieten eine reine Schwarz-Weiß-Darstellung mit nur wenig Informationen und bieten kaum eine intuitive Bedienung, wodurch eine sichere Bedienung nur durch geübte Bediener möglich ist. Die Operator Panel OP5 werden von der Firma Siemens nicht mehr unterstützt und wurden bereits am 01.10.2010 abgekündigt. [Sie10b] Ähnlich sieht es bei dem Simatic Operator Panel OP27 aus. Dieses wurde von Siemens am 01.10.2014 abgekündigt.[Sie14] Somit stellen sie einen technischen limitierenden Faktor dar, da für sie keine weiteren Tauschgeräte von Siemens bezogen werden können. Ein Ausfall der Panel würde zu langen Ausfallzeiten der Anlage führen.

### 3.1.7 Werkzeugverstellung

Die Anlage 1 umfasst diverse Zusatzfunktionen, welche im Rahmen des Retrofits nicht berücksichtigt werden. Diese Zusatzfunktionen dienen dazu, die Werkzeuge bei einem Umschwenken der Produktion auf eine andere Flanschgröße auszurichten.



Abbildung 3.10: Handkurbel und Bandmaß zur Verstellung der Werkzeugachsen

Das Verstellen der Werkzeugachsen erfolgt zum größten Teil mit Hilfe von Handkurbeln. Einige Werkzeugachsen besitzen bereits Motoren und werden dynamisch zum Bearbeitungsprozess oder auf Knopfdruck in ihrer Position verändert. Bei Werkzeugen, die mit der Kurbel verstellt werden, wird die Zielposition beim Umschwenken auf ein anderes Produkt mit Zollstöcken oder, wo vorhanden, über die befestigten Bandmaße ermittelt.

Weitere solcher Lösungen finden wir in den folgenden Stationen wieder.

Station	Werkzeug	Art
C-Nagelmaschine	Reibrad	Handkurbel
D-Bohrstation	Trommelbolzen links & rechts	Handkurbel
D-Bohrstation	Mitnehmerbohrer	Motorisch
D-Bohrstation	Achsplatte 1 & 2	Handkurbel
E-Frästation	Schräglloch oben & unten	Motorisch
E-Frästation	Nut Wand- & Pultseite	Handkurbel
E-Frästation	Codekarte	Handkurbel

Tabelle 3.2: Übersicht der zu verstellenden Werkzeugachsen

Die Ausrichtung der Werkzeuge mit erzeugt durchschnittlich eine Rüstzeit von 60 Minuten.

## 3.2 Anlagenverfügbarkeit nach VDI3423

In diesem Kapitel wird die Anlagenverfügbarkeit nach VDI3423 der Anlage 1 vor dem Retrofit untersucht. Hierfür muss zu nächst der Betrachtungszeitraum, für den eine Anlagenverfügbarkeit berechnet werden soll, festgelegt werden. In diesem Fall wird eine Anlagenbetrachtung für das gesamte Jahre 2019 erfolgen. Hierfür ergibt sich folgende Rechnung:

$$365 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} \cdot 24 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} = 8760 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr}} \quad (\text{I})$$

Im nächsten Schritt soll die nicht geplante Zeit berechnet werden. Dafür muss zunächst die produktionsfreie Zeit ermittelt werden, für die keine Produktion mit der Anlage 1 vorgesehen ist. Bei dieser Betrachtung der Anlagenverfügbarkeit betrifft es die Sonn-, Feier- und Samstage. Hier werden zunächst die Feiertagsregelungen des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern herangezogen. Für das Jahr 2019 weist das Land Mecklenburg-Vorpommern, 52 Samstag, 52 Sonntage und 10 Feiertage auf.[Joh] Somit ergibt sich für die nicht geplante Zeit folgende Berechnung:

$$52 \frac{\text{Sonntage}}{\text{Jahr 2019}} + 52 \frac{\text{Samstage}}{\text{Jahr 2019}} + 10 \frac{\text{Feiertage}}{\text{Jahr 2019}} = 114 \frac{\text{produktionsfreie Tage}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{II})$$

$$114 \frac{\text{produktionsfreie Tage}}{\text{Jahr 2019}} \cdot 24 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} = 2736 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{III})$$

Es ergibt sich nach Rechnung III eine produktionsfreie Zeit von 2736 Stunden für das Jahr 2019. Für die Berechnung der nicht geplanten Zeit, muss zu der Zeit der produktionsfreien Tage, nun noch die Zeit der Werktag hinzugerechnet werden, an denen keine planmäßige Produktion erfolgt. Dieses Betrifft die Zeit zwischen der letzten Schicht eines Tages bis zur ersten Schicht eines nachfolgenden Werktages. Aus Kapitel 3 ist bekannt, dass die Anlage 1 für 5 Tage in der Woche mit 2 Schichten eingeplant ist, also:

$$T_{\text{B Tag}} = 2 \frac{\text{Schichten}}{\text{Tag}} \cdot 8 \frac{\text{Arbeitsstunden}}{\text{Schicht}} = 16 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} \quad (\text{IV})$$

Nach Rechnung IV erhält man für die Anlage 1 eine Belegungszeit  $T_{\text{B Tag}}$  von 16 Stunden je Werktag. Daraus resultiert nun für die gesamte nicht geplante Zeit der Anlage folgende Rechnung:

$$24 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} - 16 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} = 8 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} \quad (\text{V})$$

Für einen Werktag ergibt sich nach Rechnung V eine produktionsfreie Zeit von 8 Stunden je Werktag. Mit Rechnung VI erhält man für die produktionsfreie Zeit je Werktag für den Betrachtungszeitraum 2019 eine Zeit von:

$$8 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} \cdot (365 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} - 114 \frac{\text{produktionsfreie Tage}}{\text{Jahr 2019}}) = 2008 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{VI})$$

Diese muss nun in Rechnung VII für den Erhalt der nicht geplanten Zeit mit dem Ergebnis aus Rechnung III summiert werden:

$$2008 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} + 2736 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} = 4744 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{VII})$$

Durch die Rechnung in VII ergibt sich für das Jahr 2019 eine gesamte nicht geplante Zeit von 4744 Stunden.

Ausgehend von diesem Punkt, kann nun leicht mit dem Ergebnis aus IV die Belegungszeit  $T_{B\ 2019}$  für das gesamte Jahr 2019 der Anlage 1 berechnen werden:[VDIa]

$$T_{B\ 2019} = 16 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} \cdot \left( 365 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr}} - 114 \frac{\text{produktionsfreie Tage}}{\text{Jahr 2019}} \right) = 4016 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{VIII})$$

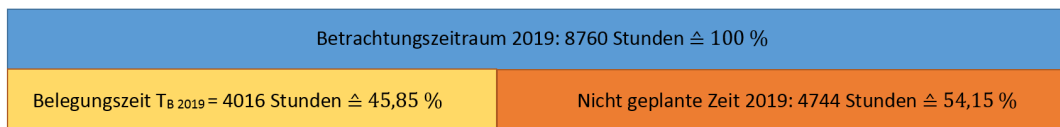


Abbildung 3.11: Belegungszeit im Verhältnis zum Betrachtungszeitraum

Anhand der Abbildung 3.11 ist erkennbar, dass für die Anlage 1 in der aktuellen Anzahl der Tagesschichten für das Jahr 2019 eine Produktionszeit von 4016 Stunden unter Idealbedingungen erreichbar war.[VDIa] Hierbei ist die Wartungszeit  $T_W$  für geplante Wartungen und Reinigungen der Anlage nicht berücksichtigt. Bei der Anlage 1 müssen nach jeder Schicht die Werkzeuge der Frässtation getauscht werden, da diese innerhalb einer Schicht unbrauchbar stumpf werden. Hierfür wird eine Zeit von 1,5 Stunden veranschlagt. Darüber hinaus wird zum Tagesende eine Reinigung der Anlage vollzogen, welche eine Zeit von einer Stunde beansprucht. Hieraus ergibt sich folgende Rechnung:[VDIb]

$$T_{W\ 2019} = 2,5 \frac{\text{Stunden}}{\text{Tag}} \cdot \left( 365 \frac{\text{Tage}}{\text{Jahr 2019}} - 114 \frac{\text{produktionsfreie Tage}}{\text{Jahr 2019}} \right) = 627,5 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{IX})$$

Nach Rechnung IX betrug die Wartungsarbeit der Anlage im Jahr 2019, 627,5 Stunden.

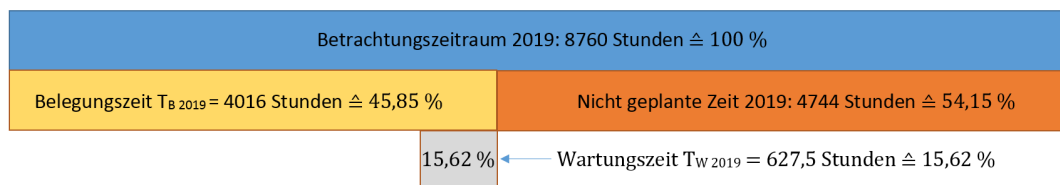


Abbildung 3.12: Wartungszeit im Verhältnis zur Belegungszeit

Die Wartungszeit für das Jahr 2019 beträgt dementsprechend 15,62 % der Belegungszeit. Neben der Wartungszeit ist die Rüstzeit  $T_R$  der Anlage zu berücksichtigen. Bei einem Produktwechsel müssen die Werkzeuge aufwendig in ihrer Position verstellt werden. Diese bedeutet

einen zeitlichen Aufwand von einer Stunde. Im Durchschnitt werden solche Rüstzeiten einmal pro Woche vorgenommen. Somit ergibt sich für die Rüstzeit  $T_{R\ 2019}$  des Jahres 2019 folgende Rechnung:

$$T_{R\ 2019} = 1 \frac{\text{Stunden}}{\text{Woche}} \cdot 251 \frac{\text{Produktionstage}}{\text{Jahr 2019}} \cdot \frac{1}{5} \frac{\text{Woche}}{\text{Produktionstage}} = 50,2 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{X})$$

Die errechnete Rüstzeit ist in der VDI 3423 als eine Teilzeit der organisatorischen Ausfallzeit  $T_O$  definiert. In Rahmen dieser Anlagenbetrachtung werden nur die technischen Aspekte der Anlagenverfügbarkeit betrachtet. Alle weiteren Ausfallzeiten die ihren Grund in der Organisation des Betreibers haben (Fehlen von Energie, Fehlen von Werkstücken, Fehlen von Werkzeugen, mangelnde Schulung) werden nicht berücksichtigt, da die Firma RK-Automation e.K. als Anlagenhersteller diese Faktoren nicht beeinflussen kann.[VDIc] Somit wird für diese Anlagenbetrachtung der Betrag der Rüstzeit  $T_R$  für die gesamte organisatorische Ausfallzeit mit 50,2 Stunden angenommen:

$$T_{O\ 2019} = T_{R\ 2019} = 50,2 \frac{\text{Stunden}}{\text{Jahr 2019}} \quad (\text{XI})$$

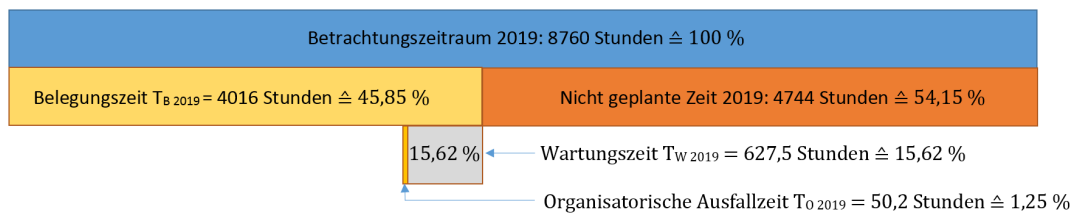


Abbildung 3.13: Organisatorische Ausfallzeit im Verhältnis zur Belegungszeit

Neben der Rüstzeit der Anlage ist die technische Ausfallzeit  $T_T$  des Jahres 2019 von besonderem Interesse. Im Jahre 2019 war die Firma RK-Automation für eine Vielzahl von Serviceeinsätzen bei der August Hildebrandt GmbH. Hier wurden Ausfälle durch defekte Baugruppen und Busfehler aufgrund von verlorengegangenen Eingangsadressen der IO-Baugruppen behoben. Für das Jahr 2019 ergaben insgesamt eine Ausfallzeit von  $T_T = 198,45$  Stunden.

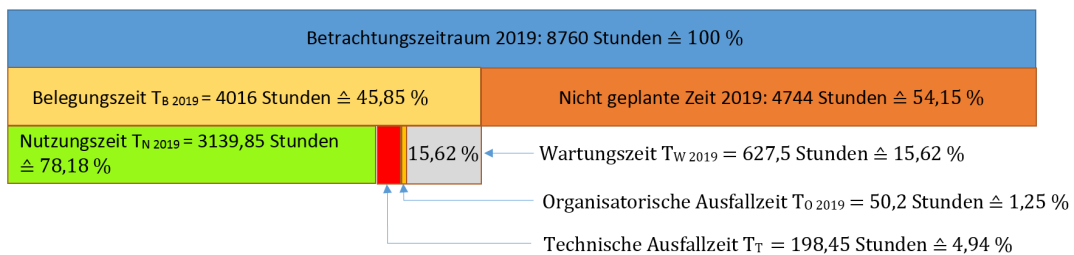


Abbildung 3.14: Nutzungszeit im Verhältnis zur Belegungszeit

Zur Ermittlung der Nutzungszeit aus technischer Betrachtung der Anlage 1 für das Jahr 2019 in Abbildung 3.14, müssen die zuvor berechnete Wartungszeit  $T_W$ , die organisatorische Aus-

fallzeit  $T_{O\ 2019}$  und die technische Ausfallzeit  $T_{T\ 2019}$  von der Belegungszeit abgezogen werden.

Es ergab sich für das Jahr 2019 eine maximale technische Anlagenverfügbarkeit von 78,18% der Belegungszeit. Die tatsächliche Nutzungszeit der Anlage würde für das Jahr 2019, unter Berücksichtigung der durch den Betreiber verursachten organisatorischen Ausfallzeiten geringer ausfallen. Zudem ist bei dieser Betrachtung anzumerken, dass die errechnete technische Nutzungszeit durch die Lebenszeit der Schaltungskomponenten limitiert ist. Grund hierfür ist, dass die Frequenzumrichter von KEB, die SPS von Siemens, sowie die ET200 Baugruppen vom Hersteller abgekündigt sind, wodurch keine Ersatzteile über den regulären Weg beschafft werden können. Sollte eines dieser Bauteile ausfallen kann das Betreiben der Anlage nur durch ein Retrofit der Steuerung wieder hergestellt werden, ein Unterfangen, das mehrere Monate und unter Umständen über ein Jahr dauern könnte, wodurch sich die technische Ausfallzeit um den Betrag technischen Nutzungszeit erweitert.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung verdeutlichen die Dringlichkeit eines Retrofit-Projektes, um die Anlage 1 vor einem stark drohenden Totalverlust zu bewahren. Darüber hinaus soll erreicht werden, dass die Anlage eine technische Nutzungszeit resultierend aus der Belegungszeit eines Jahres abzüglich der Wartungszeit  $T_W$  und der organisatorische Ausfallzeit  $T_O$  erhält.



## 4 Konzeptionierung der Steuerungstechnik

Bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen, ob von neuen Anlagen oder im Rahmen eines Retrofits, kommt ein Projektingenieur mit vielen unterschiedlichen Medien, wie Elektrizität, Luft, Wasser, Hydraulik etc. in Berührung. Diese unterschiedlichen Betriebsmedien fordern daher ein breitgefächertes Fachwissen unterschiedlicher Industriedisziplinen. Firmen die diese unterschiedlichen Fachabteilungen beherbergen, können eine zeitverträgliche Projektierung durchführen.[BH17]

Kleinere Firmen die über keine solche Entwicklungsabteilung verfügen beauftragen Fremdfirmen bzw. Kooperationspartner mit der Durchführung der fachspezifischen Projektierung. Im Rahmen des Retrofit-Projektes dieser Arbeit wurde die Auslegung der Pneumatik durch die Firma TECHNICON – Technik mit System GmbH und die hydraulischen Komponenten durch die Hydraulik Schwerin GmbH durchgeführt. Der Hydraulikplan kann in Anlage C und der Pneumatikplan in Anlage B eingesehen werden.

Die Auslegung der Steuerungstechnik liegt in der Zuständigkeit der Firma RK- Automation. Hier wird von Anfang an auf die Produkte der Firma Siemens zurückgegriffen. Von einem Vergleich von Hardware gleichwertiger Hersteller wird an dieser Stelle abgesehen, da RK-Automation Teil des Siemens Solution Partner Programms ist, wodurch ein Hardware anderer Hersteller zwingend zu höheren Preisen bei vergleichbarer Hardwarequalität führen würde. Um den Neuverkabelungsaufwand sowie die damit verbundenen Kosten zu umgehen, wurde gemeinsam mit und vor allem auf Wunsch des Kunden entschieden, dass der jetzt vorhandene AS-interface Bus, sowie die vorhandenen Sensoren und Aktoren, auf der Feldebene weiterverwendet werden

## **4.1 Schaltschrank und Steuerpulte**

Wie in Kapitel 3 beschrieben, umfasst die aktuelle Schaltung einen Hauptschaltschrank und drei Steuerpulte. Dieser Schaltschrank wird ersetzt und die Steuerpulte werden auf zwei reduziert. In jedem Steuerpult wird jeweils ein Human-Machine-Interface verbaut, wodurch an zwei unterschiedlichen Stellen die gesamte Anlage bedient und beobachtet werden kann. Dadurch wird die Reaktionszeit der Anlagenführer bei Ereignissen, die ein Eingreifen benötigen, reduziert. Zudem wird durch das zweite HMI eine weitere Bedienbarkeit der Anlage bei Ausfall eines der HMIs gewährleistet. Zur Reduktion der Projektkosten wird das bestehende Pult an der Frässtation weiter verwendet. Für die Positionierung des HMIs an der Zulegestation, wird durch den Kunden ein Trägerarm beschafft, in welches dieses verbaut wird. Der Schaltschrank wird durch unseren Partner SuaTec GmbH nach unseren Vorgaben gefertigt.

## 4.2 Auslegung der IO-Baugruppen

Die IO-Baugruppen werden, wie in der bereits bestehenden Anlage angewendet, dezentral realisiert. Hierfür kommen die Basic Interface-Module ET200SP der Firma Siemens zum Einsatz.

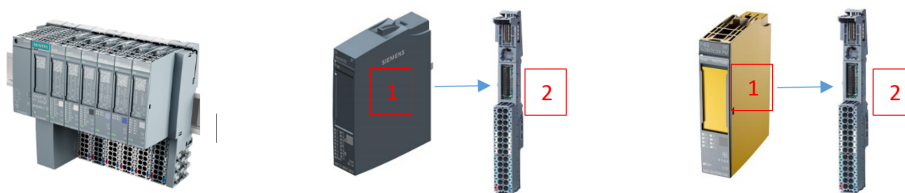


[Sief]

Abbildung 4.1: Interfacemodul Sinamic ET200SP

Diese Simatic ET200SP I/O-Module der Firma Siemens ersetzen die derzeit verbauten IO-Baugruppen(vgl. Kapitel 3.1.2). Die Siemens Simatic ET200SP bietet ein hohes Maß an flexibler Schaltungsgestaltung. Es können einfache digitale sowie analoge Ein- und Ausgangsbaugruppen, Safety Ein- und Ausgangsbaugruppen, Motorstarter, Energy Meter – Energiemessmodule und IO-Link Master verbaut werden.

Abbildung (4.2) zeigt exemplarisch auf, wie ein Interfacemodul mit den Baugruppen ausgestattet werden kann. Jede Baugruppe(1) besitzt eine Base-Unit(2), in welche sie “eingesteckt” wird. Diese Base-Unit kann nun, ausgestattet mit der Baugruppe, seitlich an das Interfacemodul angesteckt werden. Über den Rückwandbus der ET200SP kommunizieren die Baugruppen über das Interfacemodul mit der Steuerung.



[Siec]

Abbildung 4.2: Eingangsbaugruppe DI und Sicherheitsbaugruppe F-DQ mit Base-Unit

In der Anlage 1 werden drei dezentrale Interfacemodule mit digitalen Ein- und Ausgabebaugruppen sowie mit sicherheitsgerichteten Ein- und Ausgabebaugruppen verbaut. Diese werden im Schaltschrank, in den beiden Steuerpulten, sowie in einem Klemmenkasten untergebracht.

### 4.2.1 Die IO-Baugruppen im Schaltschrank

Im Schaltschrank wird ein Interfacemodul mit fehlersicheren, sowie mit einfachen digitalen Ein- und Ausgabebaugruppen verbaut.

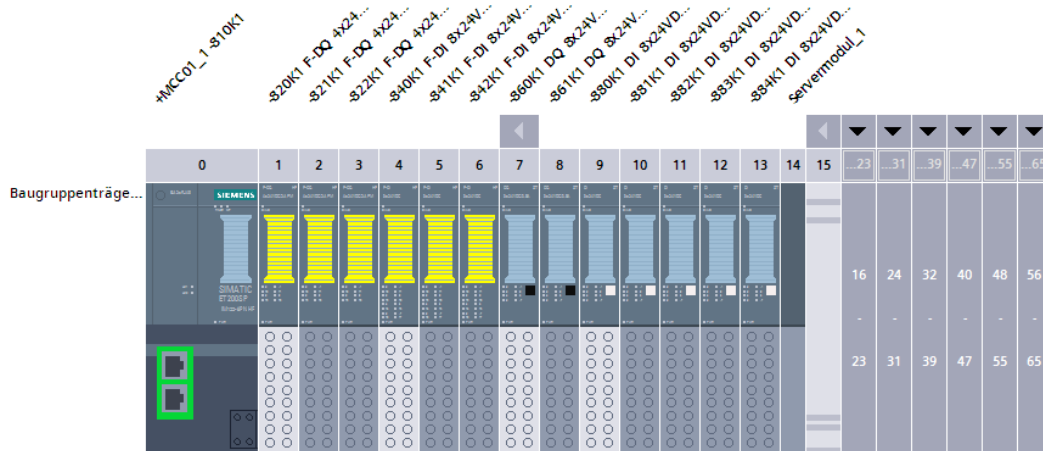


Abbildung 4.3: Interfacemodul des Schaltschranks im TIA-Portal

Das Interfacemodul im Schaltschrank (Abbildung 4.4) besitzt jeweils drei fehlersichere Ausgangs- und Eingangsbaugruppen, welche leicht an ihrer gelben Kennzeichnung zu erkennen sind. Des Weiteren besitzt das Interfacemodul zwei digitale Ausgangsbaugruppen und fünf digitale Eingangsbaugruppen. Die fehlersicheren Eingangs- und Ausgangsbaugruppen -820K1 und -842K1 erkennen die Betätigung eines Not-Halt Tasters des Schaltschranks und führen einen sicheren Stopp der Motorstarter in der Anlage aus (siehe Kapitel 5.2.2.8).

Mit den digitalen Ausgangsbaugruppen -860K1 und -884K1 werden der Iststatus der Selektivitätsmodule PSE200U, sowie das Einschalten der Bandsäge und das Auslösen der Motorschutzschalter erkannt. Darüber hinaus werden mit ihnen die Farben der Signalampel gesteuert und eine Reserve für spätere Erweiterungen gebildet.

### 4.2.2 Die IO-Baugruppe im Pult

Das Interfacemodul im Schaltpult realisiert die Anschaltung der sicherheitsgerichteten Peripherien in diesem Retrofit-Projekt.

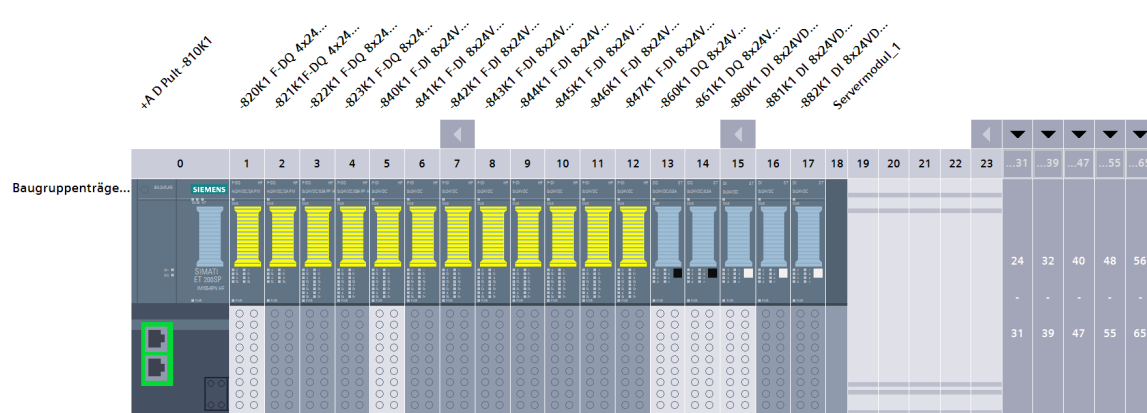


Abbildung 4.4: Interfacemodul des Pults im TIA-Portal

Mit den fehlersicheren Baugruppen -820K1 und -847K1 werden die Beschaltung der Türzuhalten von Türsicherheitsschalter (siehe Kapitel 5.2.2.2), Türsicherheitsschalter ohne Zuhalten (Kapitel 5.2.2.1), sichere Abschaltung der Pneumatik (Kapitel 5.2.2.6), und Hydraulik (Kapitel 5.2.2.7), erkennen von Betätigungen der Not-Halt Taster (Kapitel 5.2.2.8), sowie das Betätigen der Rollgurte in der Station I-Montage. Hierdurch kann bei einem unerwarteten Betätigen der sicherheitsgerichteten Peripherien, eine gefahrbringende Bewegung zuverlässig abgeschaltet werden. Mit den nicht fehlersicheren digitalen Ein- und Ausgangsmodule (860K1 - 882K1) werden die fehlerischeren Türzuhaltung zurückgesetzt und sowie die Meldeleuchte beschaltet, welche den entriegelten Zustand der Türen signalisiert.

### 4.2.3 Die IO-Baugruppe der Hydraulik

Für die Steuerung der Hydraulik wird ein zusätzliches Interfacemodul ET200SP, die -3K1, der Anlage hinzugefügt, welche ähnlich der Abbildung 4.4 aufgebaut ist. Diese wird im Klemmenkasten in Abbildung 3.2 als Tausch gegen die dortige ET200B verbaut. Das Interfacemodul -3K1 beinhaltet fehlersichere Ein- und Ausgangsbaugruppen, um ein sicheren Not-Halt der Hydraulik zu gewährleisten. Weiterhin werden digitale und analoge Ein- und Ausgangsbaugruppen zur Realisierung der Werkzeugpositionierung verbaut.

### 4.2.4 Die AS-i IO-Baugruppen

Wie in Kapitel 3.1.4 erläutert, wurden in der bisherigen Steuerungsrealisierung der Anlage Sensoren und Aktoren zum Großteil über den AS-i Bus angesteuert. Im Rahmen des Retrofits, bleiben die verlegten AS-i Leitungen erhalten und werden durch AS-i Master, die mit Profi-net kommunizieren können, gespeist. Die Positionierung der Pneumatikachsen wird über AS-I Airboxen der Firma ifma realisiert.



Abbildung 4.5: AS-i Airbox AC5271 und AS-i Device AC5205

Die AS-i Airboxen besitzen 5/3-Wegeventile, welche über die Anschlüsse (2) mit Arbeitsluft gespeist werden und die Zylinder über die Ausgänge 1 der Abbildung 4.5 positionieren. Darüber hinaus besitzen die AS-i Airboxen Eingänge(3), an denen die Initiatoren der Pneumatikzylinder angebracht werden. Aufgrund dieser Eigenschaft wird je Pneumatikzylinder eine AS-i Airbox verwendet. Mit dem AS-i Device AC5205 werden alle weiteren Initiatoren, der Anlage erfasst. [ifma]

## 4.3 Ansteuerung der Antriebe

### 4.3.1 Auswahl der Frequenzumrichter

Im Kapitel 3.1.3 wurden im Rahmen einer Ermittlung des Anlagenzustandes die verbauten Motoren erfasst. Die bisher verwendeten Frequenzumrichter sind für eine Kommunikation über Profibus DP ausgelegt und werden im Rahmen des Retrofits durch Frequenzumrichter der Firma Siemens ersetzt.

Für den Findungsprozess der geeigneten Frequenzumrichter wird das TIA Selection Tool von

Siemens beratend hinzugezogen.

Die Auslegung der Motoransteuerung erfolgt exemplarisch an der Station E-Frässtation, da diese Station alle in der Anlage vorkommende Motoransteuerung beinhaltet.

Nutfräse Pultseite	
Motor M16: Servomotor 400V; 8kW; 15A; $\cos(\Phi)=0,85$ N = 11760 U/min	Antrieb alt: KEB 15 F4 DOG-3440
Nutfräse	
Motor M15: Servomotor 400V; 8kW; 14,5A; $\cos(\Phi)=0,89$ N = 17640 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F4 C06 -3420
Schräglloch oben	
Motor M17: Servomotor 400V; 16kW; 30A; $\cos(\Phi)=0,9$ N = 9420 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F5 C1E 340A
Schräglloch unten	
Motor M19: Servomotor 400V; 16kW; 30A; $\cos(\Phi)=0,9$ N = 9420 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F5 C1E 340A
Fasenfräser	
Motor M21: Servomotor 400V; 16kW; 29A; $\cos(\Phi)=0,9$ N = 9500 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F4 C1G -3440/22

Tabelle 4.1: Aktuelle Motoransteuerung

Zunächst soll ein geeigneter Frequenzumrichter für die Servomotoren der Frässwerkzeuge in Abbildung 4.1 ausgesucht werden. Diese Fräswerkzeuge nehmen in der Anlage, ähnlich wie in CNC-Maschinen, eine Oberflächenbearbeitung des Flanschrohlinge vor. Aufgrund dieser Bearbeitungseigenschaft des Flanschrohlings und den hohen Geschwindigkeiten kommt für diese Motoren nur ein SINAMICS S120 Frequenzumrichter in Frage. Im TIA Selection Tool der Firma Siemens werden nur die SINAMICS S120 Frequenzumrichter für high performance Bearbeitungsanwendungen ausgewiesen.[Siei]

Nutfräse Pultseite		
Motor M16: Servomotor 400V; 8kW; 15A; $\cos(\Phi)=0,85$ N = 11760 U/min	Antrieb alt: KEB 15 F4 DOG-3440	Antrieb neu: SINAMICS S120 SINGLE MOMO 30A C-TYPE
Nutfräse		
Motor M15: Servomotor 400V; 8kW; 14,5A; $\cos(\Phi)=0,89$ N = 17640 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F4 C06 -3420	Antrieb neu: SINAMICS S120 SINGLE MOMO 30A C-TYPE
Schräglloch oben		
Motor M17: Servomotor 400V; 16kW; 30A; $\cos(\Phi)=0,9$ N = 9420 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F5 C1E 340A	Antrieb neu: SINAMICS S120 SINGLE MOMO 45A C-Type
Schräglloch unten		
Motor M19: Servomotor 400V; 16kW; 30A; $\cos(\Phi)=0,9$ N = 9420 U/min	Antrieb alt: KEB 16 F5 C1E 340A	Antrieb neu: SINAMICS S120 SINGLE MOMO 45A C-Type

Tabelle 4.2: Neue Motoransteuerung der fräsenden Werkzeuge

Neben den fräsenden Werkzeugachsen besitzt die Frässtation mit der Code-Karte auch eine bohrende Werkzeugachse. Die Code-Karte wurde in der alten Steuerungsrealisierung über eine ein Schütz ein und ausgeschaltet. Im Rahmen des Retrofits soll hierfür ein Frequenzumrichter eingesetzt werden, damit in Zukunft der Motor für die Code-Karte mit unterschiedlichen Drehzahl genutzt werden kann. Über die Motordaten der Code-Karte empfiehlt uns das TIA Selection Tool den Einsatz von Sinamics G120 und G120C Frequenzumrichter. Für die Ansteuerung der Code-Karte wird in diesem Falle der G120 gewählt, da nur dieser den für das

Bremsen des Motors einen Bremswiderstand unterstützt.[Sie]

<b>Code Karte</b>		
Motor M18: Spindelmotor 400V;4,5kW;11,5A;cos(Phi)=0,7	Antrieb alt: Direktanschaltung	Antrieb neu: SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU240E-2 PN-F E-Typ
<b>Vorschub Fasenfräser</b>		
Motor M20: Getriebemotor i=6,80 400V;0,55kW;1,52A; cos(Phi)=0,73	Antrieb alt: KEB 07 F4 C30-3420	Antrieb neu: SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU240E-2 PN-F E-Typ

Tabelle 4.3: Neue Motoransteuerung der Code-Karte und Vorschub Fasenfräser

Weitere Frequenzumrichter kommen in der Bohrstation und dem Verfahrwagen zum Einsatz. Beim Verfahrwagen kommt für dessen Positionierung ein SINAMICS G120 Frequenzumrichter zum Einsatz, da hier ein Bremswiderstand zum Stoppen der Lasten erforderlich ist. In der Bohrstation kommt nur ein Frequenzumrichter zum Einsatz, welcher die Aufgabe hat, den Flanschrohling mithilfe des Drehtellers während des Bohrprogramms zu positionieren. Der Drehteller ist mit einem SSi Drehgeber ausgestattet, damit der Flanschrohling für die Bohrungen nach Gradmaß positioniert werden kann. Dieser Drehteller wird im Retrofit mit einem Sinamic G120 Frequenzumrichter mit Bremswiderstand ausgestattet, damit der Flanschrohling aufgrund seiner Masse gradgenau positioniert werden kann.

### 4.3.2 Die Motorstarter

Neben den Frequenzumrichtern S120 und G120 werden hauptsächlich ET200SP Motorstarter der Firma Siemens eingesetzt. Die Motorstarter werden an dem bekannten Interfacemodul ET200SP (Abbildung: 4.1) betrieben. Durch die Steuerungsanbindung über die IM ET200SP können Motorstarter schnell und flexibel erweitert werden. In der Anlage 1 werden die Motorstarter im Rahmen des Retrofits für die Wendeschütz- und Direktanschaltung verwendet. Die ET200SP bieten den Vorteil, dass sie im Vergleich zu den Schützsaltungen eine gewisse Diganosemöglichkeit besitzen. Die ET200SP erkennen die Erwärmung von Motoren, die Spannungen der Phasen L1, L2 und L3, eine Erfassung des Motorstroms sowie ein Diagnosespeicher in dem Ereignisse des Motors gespeichert werden. Darüber hinaus erkennen die Motorstarter eine Unsymmetrie der Motoren, wodurch der Allgemeinzustand des Motoren erfasst werden kann.[Sie19b]

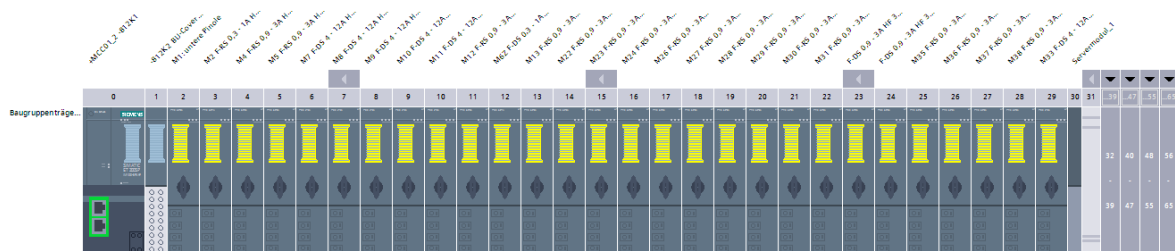


Abbildung 4.6: Hardwarekonfiguration im TIA-Portal aller Motorstarter



## 4.4 Auswahl der CPU

Der Findungsprozess der CPU ist eine sehr spannende und zugleich sehr herausfordernde Aufgabe eines jeden Projektes. Durch die Wahl der falschen CPU kann im späteren Betrieb die Anlage oder ein Teil der Anlage stoppen, sowie eine zu hohe Zykluszeit erreicht werden.



Abbildung 4.7: Siemens Simatic CPU S7-1200 und S7-1500

Für dieses Projekt wird eine 1500F CPU(2) der Firma Siemens verwendet. Diese unterstützt die Programmierung mit Graph, was die nächst kleinere CPU 1200(1) nicht bietet.[Sie17c] Darum ist eine SPS mit einer 1200 CPU für dieses Projekt ungeeignet um eine zeitgemäße Programmsoftware in Graph umzusetzen.

Die S7-1200 CPU unterstützt die “Ack\_Alarms“ nicht, wodurch sie nicht in der Lage ist Meldungen zu quittieren. Diese Eigenschaft muss für unsere Anwendung gegeben sein, da Meldungen von geöffneten Türen der Anlage bewusst zurückgesetzt werden muss. Hierdurch wird gewährleistet, dass ein Wiederanlauf der Anlage bewusst durch den Bediener erfolgt und dieser sich vergewissern kann, ob keiner mehr im Gefahrenbereich befindet. [Sie17d]

Auf einen Vergleich von S7-300F CPU und S7-400F CPU wird, da sie aufgrund ihres Alters keine zukunftsorientierten Reserven bieten würden.

## 4.5 Die Bedienpulte

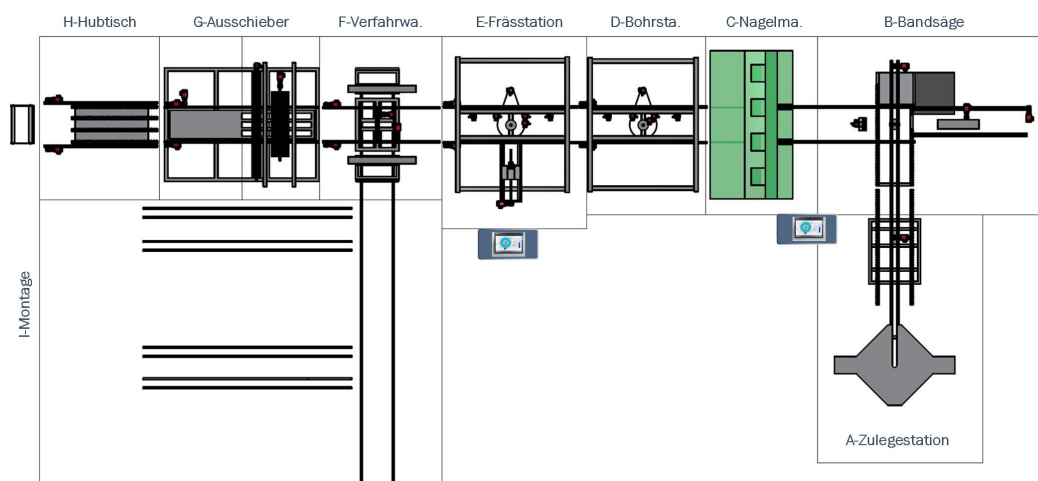
Wie aus Kapitel 3.1 bekannt ist, besitzt die Anlage 1 in ihrem jetzigen Aufbau drei Bedienpulte. Das soll im Retrofit der Anlage wieder aufgegriffen werden. Hierfür werden zwei SIMATIC HMI TP1200 Comfort Panel der Firma Siemens. Der Einsatz von einem Basic Panel anstelle eines Comfort Panel wäre hier ungeeignet, da dieses keine Anbindung mit Profinet IO an die Steuerung unterstützt (siehe Anhang C). Darüber hinaus bietet ein Basic Panel nur Platz für 50 Rezepturen, wohingegen ein Comfort Panel eine Speicherung von bis zu 300 Rezepturen ermöglicht (siehe Anhang C). Der Rezepturspeicher kann bei einem Comfort Panel über eine Speicherkarte erweitert werden, was ein Basic Panel nicht ermöglicht.[Sieh]



[Sieh]

Abbildung 4.8: Siemens SIMATIC HMI TP1200 Comfort Panel

Die Bedienpulte der Anlage sind durch den Wechsel auf die Bedienpulte TP1200 nun in der Lage, die Prozesswerte in Farbe anzuzeigen. Darüber hinaus sind die Bedienpanel voll Touchfähig, wodurch eine einfache, schnelle und intuitive Bedienung ermöglicht wird.



[Hil20a]

Abbildung 4.9: Neue Anordnung der HMI

Nach Abbildung 4.10 werden die Bedienpanels an der Frässtation und zwischen der Zulegestati-on, Bandsäge und der Nagelmaschine platziert. Hierbei wird das Bedienpult an der Frässtation

übernommen und das Bedienpult an der Bohrstation geht dafür verloren.

## 4.6 DOLD SAFEMASTER W Fernbedienung

Für das Verfahren von motorischen Achsen der Frässtation im Einrichtbetrieb wird die Anlage um die Fernbedienung SAFEMASTER W der Firma DOLD erweitert. Für die Nutzung der Fernbedienung muss nach Abbildung 6.3.5 eine Auswahl der Achse über das HMI erfolgen und über einen Schlüsselschalter bestätigt werden. Die Fernbedienung selber umfasst mehrere Funktionen:



[DOLa]

Abbildung 4.10: DOLD SAFEMASTER W

Die Tasten B3 und B4 zum Verstellen des Funkkanals spielt für den Betrieb in der Anlage vorerst eine untergeordnete Rolle, da nur ein Funkkanal in der Anlage genutzt wird. Über die Funktionstasten B1 und B2 werden in Verbindung mit dem 3-stufigen Zustimmtaster die jeweiligen Achsen vor- und zurückgefahren. Auf die Sicherheitsaspekte des SAFEMASTER W wird in Kapitel 5.2.2.9 detaillierter eingegangen.

## 4.7 Sicherheitsgerichteten Peripherien

Zur Gefahrenabwehr werden in der Anlage Not-Halt Taster, sowie Sicherheitsschalter (mit und ohne Zuhaltung) verwendet. Die Wahl der richtigen Peripherie wird in Kapitel 5.2.2.1 und Kapitel 5.2.2.8 näher behandelt, da dieses einer Risikobeurteilung bedarf.



## 5 Ermittlung eines Sicherheitskonzeptes

Die Ermittlung eines Sicherheitskonzeptes wird im Rahmen einer Risikoanalyse erstellt, welche ein wichtiger Bestandteil einer jeden Konformitätsbewertung ist. Eine solche Konformitätsbewertung muss von jedem Anlagen- und Maschinenhersteller für ein Produkt durchgeführt werden. In einer anschließenden Konformitätserklärung deklariert ein Hersteller seine Produkte gemäß der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG als konform. Eine erfolgreiche Konformitätserklärung wird durch das CE-Siegel gekennzeichnet, mit der eine verminderte Gefahr von dem Produkt für einen Nutzer ausgeht. Dabei ist es nicht ausschlaggebend ob eine Maschine oder Anlage neu hergestellt oder umgebaut (wie bei einem Retrofit), oder erweitert wurde. Ziel ist es dabei, mögliche Gefahrensituationen bei der Bedienung schon während der Planung zu erkennen, zu bewerten und durch geeignete Maßnahme korrigieren. Bei der Bewertung wird nach DIN EN ISO 13849-1 festgestellt, welche Art und Schwere der Verletzungsgefahr von ihr ausgeht. Bei einer solchen Bewertung, werden keine möglichen Schäden von Haustieren, Eigentum oder Umwelt betrachtet.

### 5.1 Risikobeurteilung nach DIN EN ISO 12100 und DIN EN ISO 13849-1

Die ermittelten Risiken für einen Bediener werden nach DIN EN ISO 12100 in drei Schritten definiert:

1. **Festlegen der Grenzen**

Hier wird der Bestimmungsgemäße Gebrauch bzw. die Verwendung der Anlagen und Maschinen festgelegt.

2. **Identifizierung von Gefährdungen und zugehörigen Gefährdungssituationen**

In diesem Schritt werden mögliche Gefährdungssituationen der einzelnen Anlagen- und Maschinenkomponenten für den Bediener definiert.

3. **Bewerten des Risikos und Treffen von Entscheidungen über die Notwendigkeit von Risikominderung**

In diesem Schritt, wird nach dem in DIN EN ISO 13849-1 definierten Verfahren des erforderlichen Performance Level PLr ein mögliches Risiko klassifiziert, wonach ein Bedarf zur Risikominderung festgelegt wird.[VDI11]

### 5.1.1 Schritt 1 - Festlegung der Grenzen

Hierfür wird eine im Hause RK-Automation gängige Excel Tabelle genutzt. In dieser werden die einzelnen Komponenten nach den Kategorien Antriebe, Pneumatik und Hydraulik sowie nach ihrer Stationszugehörigkeit der Teilstationen sortiert, und ihre jeweiligen Aufgaben beschrieben.

Layout Position	Betriebsmittelkennzeichen vollständig			Beschreibung	
	Anlage (=)	Ort (+)	BMK (-)	Anlage 1	Funktion
				<b>Antriebe</b>	
				<b>A Vorlegetisch</b>	
1	A1	MCC01	A-201M1	Antrieb untere Pinole	die untere Pinole befördert, durch den Bediener angestoßen, den Flanschrohling zum Zulegetisch in die Anlage zur Bearbeitung. Dieser erfolgt niemals Automatisch.
				<b>B Bandsäge</b>	
2	A1	MCC01	B-202M2	Vorschub Bandsäge	Verändert die Position der Bandsäge in Abhängigkeit des Flanschdurchmessers
3	A1	MCC01	B-203M3	Antrieb Bandsäge	Treibt die Bandsäge an, welche die Flanschrohlinge ihre runde Form verleiht.
4	A1	MCC01	B-204M4	Obere Pinole	Zieht den Flanschrohling vom Hubtisch der Vorlagesation zur Bandsäge
5	A1	MCC01	B-206M5	Vorschub Reibrad	Das Reibrad hat Kontakt mit dem Flanschrohling und treibt diesen an, wodurch dieser durch die Bandsägeverfahren wird.

Tabelle 5.1: Tabellenübersicht zum Festlegen der Grenzen

Zum Beginn des Projektes wurde eine Excel-Tabelle aller Antriebe bzw. Motoren erstellt (siehe Kapitel 3.1.3 ). Für die Risikoanalyse wurden zudem weitere Excel-Tabellen zur Erfassung der pneumatischen, sowie die hydraulischen Positionierungen erstellt. Beginnend mit der Motorenliste, Tabelle 5.2, wurde eine Layout Position (rot umrandet) fortlaufend über die Pneumatik- und Hydraulikliste erstellt.

Nr.	Layout Position	Schaltplan Zuordnung			Betriebsmittelkennzeichen vollständig			Prüfung				Beschreibung
		Anlage (=)	Ort (+)	Seite	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)	Vorhanden	Kommentz	Typ	Anzahl	
					A1							Anlage 1
						A	E1					Zulegestation
1	1	A1	MCC01	201	A1	A	A_M1					Anschluss Laser
						B						Untere Pinole
												Bandsäge
2	2	A1	MCC01	202	A1	B	B_M1				+B-202M2	Vorschub Bandsäge
3	3	A1	MCC01	203	A1	B	B_M2				+B-203M3	Antrieb Bandsäge
4	4	A1	MCC01	205	A1	B	B_M3				+B-204M4	Einzug Bandsäge
5	5	A1	MCC01	206	A1	B	B_M4				+B-206M5	Vorschub Reihrad

Tabelle 5.2: Tabellenübersicht Layout Motorstarter

Diese werden nun in der Excel-Tabelle 5.1 zur Risikobetrachtung als Layout Position wieder aufgegriffen, wodurch die bewertete Peripherie in ihrer Excel-Tabelle eindeutig identifiziert werden kann. Hierdurch ist es jederzeit möglich, detaillierte Informationen über den Motor oder die Ansteuerung der Pneumatik- oder Hydraulikperipherie einzusehen. Des Weiteren wird in der Spalte "BMK(-)" der Tabelle 5.1, die Betriebsmittelkennzeichnung einer bewerteten Peripherie angegeben, wodurch sie eindeutig in der Anlage zugeordnet werden kann. In der Spalte "Ort +" wird angegeben, in welchem Teil des Schaltplans die Peripherie zu finden ist. Alle Antriebe sind zum Beispiel im Bereich MCC01 des Schaltplans wiederzufinden. "MCC01" verweist im Schaltplan darauf, dass der Antrieb der Motoren ob nun über Motorstarter oder Stern-Dreieck-Schaltung, technisch im Schaltschrank der Anlage 1 realisiert wird. In der Spalte Anlage, wird mit der Abkürzung "A1" signalisiert, dass es sich um Peripherien der Anlage 1 handelt.

### 5.1.2 Schritt 2 - Identifizierung von Gefährdungen und Gefahrensituationen

Die Identifizierung von Gefährdungen und Gefahrensituationen ist einer der entscheidendsten Schritte auf dem Weg zur sicheren Maschine. Hier ist die besondere Sorgfalt und die Fähigkeit, sich in die Lage der Anlagenbediener hineinzusetzen, zwingende Grundvoraussetzung. Ferner müssen auch unterschiedliche Gefahrenquellen und Gefahrensituationen in den verschiedenen Betriebsmodi sicher erkannt werden, denn jedes Übersehen einer Gefahrenquelle kann zur einem erheblichen Sicherheitsrisiko der Anlage oder Maschine führen.

Layout Position	Betriebsmittelkennzeichen vollständig			Beschreibung		Gefährdungssituation
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)	Anlage 1	Funktion	
				<b>Pneumatik</b>		
				<b>A Zulegestation</b>		
40	A1	A	501K1	Kettenförderer Bandsäge	Der Kettenförder befördert die Flansche von der Bandsäge in die Nagelmaschine	Quetschgefahr von Gliedmaßen
41	A1	A	502K1	Obere Pinole	Die obere Pinole zieht den Flansch vom Hubtisch der Vorlegestation in die bandsäge hinein.	Quetschgefahr von Gliedmaßen
42	A1	A	503K1	Hubtisch	Der Hubtisch hebt den Flansch auf das Niveau der Bandsäge, wodurch er von der oberen Pinole in die Bandsäge gezogen werden kann.	Quetschgefahr von Gliedmaßen
43	A1	A	504K1	Drehteller Bandsäge	Der Drehteller hebt den Flanschrohling an und folgt seiner drehenden Bewegung	Quetschgefahr von Gliedmaßen
44	A1	A	505K1	Bretter Spannen	Durch den Bediener können am Zulegestisch durch betätigen des fußtaster die Bretter gespannt werden.	Quetschgefahr von Gliedmaßen
45	A1	A	506K1	Reibrad	Das Reibrad Treibt den Flanschrohling an.	Quetschgefahr von Gliedmaßen
46						
47						
48						
49						
				<b>D Bohrstation</b>		
50	A1	D	521K1	Kettenförderer Bohrstation	Der Kettenförder befördert die Flanschrohling von der Nagelmaschine in die Bohrstation von in die Frästation	Quetschgefahr von Gliedmaßen
				<b>E Frässtation</b>		
63	A1	E	430K1	Kettenförderer Frästation	Der Kettenförder befördert die Flanschrohling von der Nagelmaschine in die Bohrstation von in die Frästation	Quetschgefahr von Gliedmaßen
				<b>F Verfahrwagen</b>		
78	A1	F		Kettenförderer	Der Kettenförder befördert die Flanschrohling von der Nagelmaschine in die Bohrstation von in die Frästation	Quetschgefahr von Gliedmaßen

Tabelle 5.3: Tabellenübersicht Gefahrsituation Pneumatik

Im Bereich der Pneumatik wurde kein Unterschied in der Gefährdung der unterschiedlichen Betriebsmodi festgestellt. Die hauptsächliche Gefährdung durch die Pneumatik ist das Quetschen von Gliedmaßen in den Endlagen der positionierbaren Peripherien. Ferner kann man von einer Quetschungsgefahr der Haut beim Verfahren zwischen der Peripherie und der Gleitschiene ausgehen.



Für die Hydraulik wurden unterschiedliche Gefahrensituationen bei der Positionierung der Peripherien erkannt. Mithilfe der Hydraulik werden die Bohr-, Fräswerkzeuge und Niederhalter der Station E-Frästation und Station D-Bohrstation sowie die Aufrichter links und rechts des Verfahrwagens zwischen Grundstellung und Arbeitsstellung verfahren. Im Automatikbetrieb wird lediglich nur vom Quetschen der Gliedmaßen ausgegangen, denn die Gefahrenquellen der rotierenden Werkzeuge werden den Antrieben für Fräs- und Bohreinheiten zugewiesen. Für die Stationen E und D wurde im Handbetrieb neben dem Quetschen von Gliedmaßen, auch das Durchdringen von Gliedmaßen des nicht rotierenden Bohrers bzw. Fräskopfs erkannt.

Layout Position	Betriebsmittelkennzeichen vollständig			Beschreibung		
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)	Anlage 1	Funktion	Gefährdungssituation
				Hydraulik		
				D Bohrstation		
51	A1	HYDR1	12Q200.0	Trommelbolzen rechts senken	Verfährt den Trommelbolzen rechts zur Position Grundstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge
52	A1	HYDR1	12Q200.1	Trommelbolzen rechts heben	Verfährt den Trommelbolzen rechts zur Position Arbeitsstellung	1. Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge 2. Durchdringen von Gliedmaßen mit nicht rotierenden Werkzeugen
53	A1	HYDR1	12Q200.2	Trommelbolzen links senken	Verfährt den Trommelbolzen links zur Position Grundstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge
54	A1	HYDR1	12Q200.3	Trommelbolzen links heben	Verfährt den Trommelbolzen rechts zur Position Arbeitsstellung	1. Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge 2. Durchdringen von Gliedmaßen mit nicht rotierenden Werkzeugen
55	A1	HYDR1	13Q201.0	Achsplattenbohrer senken	Verfährt den Achsplattenbohrer zur Position Arbeitsstellung	1. Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge 2. Durchdringen von Gliedmaßen mit nicht rotierenden Werkzeugen
56	A1	HYDR1	13Q201.1	Achsplattenbohrer heben	Verfährt den Achsplattenbohrer zur Position Grundstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge
57	A1	HYDR1	13Q201.2	Niederhalter senken	Verfährt den Niederhalter zur Position Arbeitsstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen
58	A1	HYDR1	13Q201.3	Niederhalter heben	Verfährt den Niederhalter zur Position Grundstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen
59	A1	HYDR1	14Q202.0	Mitnehmerbohrer oben senken	Verfährt den Mitnehmerbohrer zur Position Arbeitsstellung	1. Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge 2. Durchdringen von Gliedmaßen mit nicht rotierenden Werkzeugen
60	A1	HYDR1	14Q202.1	Mitnehmerbohrer oben heben	Verfährt den Mitnehmerbohrer zur Position Grundstellung	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Werkzeuge
62	A1	HYDR1		Reserve		

Tabelle 5.4: Tabellenübersicht Gefahrsituation Hydraulik

### 5.1.3 Schritt 3 - Bewerten des Risikos

In diesem Schritt wird nach dem in DIN EN ISO 13849-1 definierten Verfahren des erforderlichen Performance Levels PLr ein mögliches Risiko klassifiziert, dementsprechend ein Bedarf zur Risikominderung festgelegt wird.

Die bekannte Excel Tabelle zur Risikobewertung wird um eine weitere Spalte für die Ermittlung des erforderlichen Performance Level PLr erweitert:

Layout Position	Betriebsmittelkennzeichen vollständig			Beschreibung	Risikobeurteilung Automatikbetrieb			
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)		Gefährdungssituation		PLr	
				Anlage 1				
				Antriebe				
				A Vorlagesch				
1	A1	MCC01	A-201M1	Antrieb untere Pinole	1. der Bediener kann beim Einzug des Flanschrohlings vom Flansch erfasst und zwischen der Anlage und dem Flanschrohling eingeklemmt werden 2. Quetschgefahr beim Verfahren ohne Flansch		d c	

Tabelle 5.5: Tabellenübersicht erforderliches Performancelevel PLr der unteren Pinole

Nach DIN EN ISO 13849-1 wird das erforderliche Performancelevel PLr in drei Schritten ermittelt:

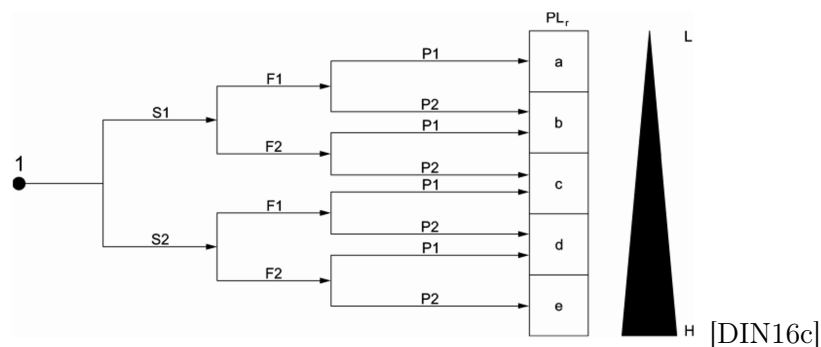


Abbildung 5.1: Graph zum Ermitteln des erforderliche Performance Level PLr

Ausgangspunkt(1) nach (Abbildung 5.1) erforderlicher Performance Level Ermittlungen ist die zuvor definierte Gefahrensituation. Ausgehend von dieser wird im ersten Schritt die Schwere einer Verletzung ermittelt. Dabei wird zwischen zwei Verletzungsarten (der leichten Verletzung (S1) und der schweren Verletzung (S2)) unterschieden. Bei einer Verletzung des Typs S1 wird von Quetschungen bis hin zu Fleischwunden mit reversiblen Verlauf ausgegangen. Ist mit Verletzungen irreversiblen Verlaufs zu rechnen, entsprechen diese dem Typ S2. Im zweiten Schritt wird die Aufenthaltsdauer und die Häufigkeit eines Aufenthalts im Gefährdungsbereich berücksichtigt. Hierfür unterscheidet man zwischen einem keinem bzw. gelegentlichen, kurzen bis mittellangen Aufenthalt (F1) oder einem häufigen bis ständigen bzw. langen Aufenthalt (F2) im Gefahrenbereich. Als letzten Schritt auf dem Weg zum erforderlichen Performancelevel PLr wird betrachtet, ob der Eintritt einer Gefährdungssituation verhindert werden kann. Hierbei unterscheidet man in „Möglich unter bestimmten Bedingungen (P1)“ und „Kaum möglich (P2)“. [DIN16c]

Aus der Grafik wird außerdem ersichtlich, dass beim erforderlichen Performance Level PLr die Gefahrensituationen mit Kleinbuchstaben von a bis e klassifiziert werden. Bei der Klassifizierung a einer Gefahrensituation ist kaum bis hinzu kein Aufwand zur Minimierung der Gefahrensituation notwendig. Wird eine Gefahrensituation allerdings mit dem Kleinbuchstaben e klassifiziert, so erfordert diese einen sehr hohen Aufwand, um einen Bediener vor irreversiblen Verletzungen zu schützen.

Als praktisches Anwendungsbeispiel soll an dieser Stelle der Antrieb der unteren Pinole mit ihren zwei Gefahrensituationen für den Automatikbetrieb dienen. Ausgangspunkt (1) ist die erste Gefährdungssituation, in der ein Bediener zwischen dem Flanschrohling und der Maschine eingeklemmt werden kann. Hierfür ist eine Verletzung im irreversiblen Ausmaß nicht auszuschließen, wodurch der Diagrammzweig S2 für schwere Verletzung ausgewählt wird.

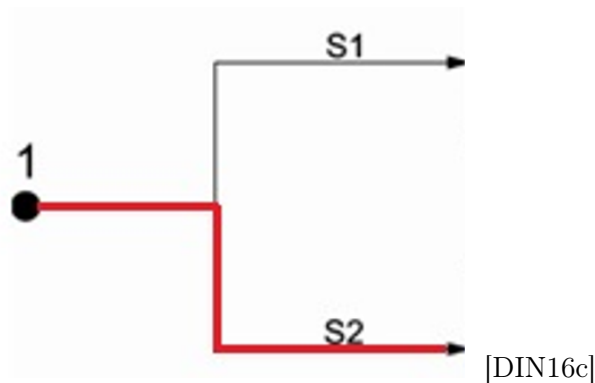


Abbildung 5.2: Bewertung des Verletzungsschweregrads der unteren Pinole

Im nächsten Schritt wird betrachtet, wie häufig ein Bediener der Gefahr ausgesetzt ist. Da der Bediener den Startknopf nach dem Fertigstellen eines jeden Flanschrohlings betätigen muss, ist der Bediener häufig bis dauernd der Gefahr ausgesetzt. Deswegen wählen wir hier den Abzweig F2 im Gefahrendiagramm.

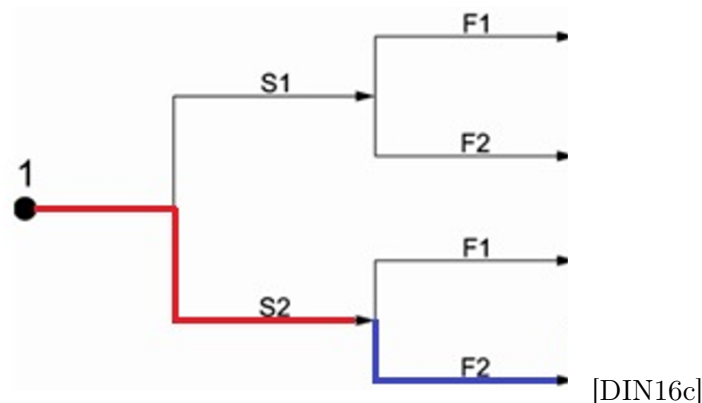


Abbildung 5.3: Bewertung der Häufigkeit einer Gefahrensituation

Die letzte Betrachtung zum erforderlichen Performance Level PL<sub>r</sub>, in Abbildung 5.4 bezieht sich auf die Möglichkeit der Vermeidung einer Gefährdung. Hierbei wird der Zweig P1 ausgewählt, wenn eine Chance besteht, eine Gefährdung zu verhindern. der zwei P2 wird ausgewählt, wenn eine Gefährdung nicht vermieden werden kann.[DIN16c] Für das Gefährdungsbeispiel kommt man zum Ergebnis, dass dieses möglich ist, wenn ein Bediener sich nach dem Betätigen des Startknopfes aus dem Gefahrenbereich bewegt. Aufgrund dessen wird für dieses Beispiel der Zweig P1 gewählt. Durch diese Betrachtung in drei Schritten, legt man analytisch ein erforderliches Performance Level PL<sub>r</sub> fest.

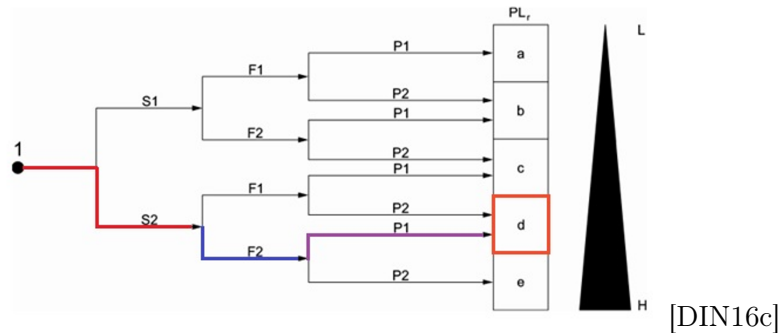


Abbildung 5.4: PL<sub>r</sub>-Ergebnis für die erste Gefährdungssituation der unteren Pinole

Für die erste Gefahrensituation der unteren Pinole kommt man so auf ein erforderliches Performance Level von d.

Für die zweite Gefährdungssituation, Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren ohne Flansch, kommt man auf ein erforderliches Performance Level von PL<sub>r</sub> = c. Hierbei wurde in der Betrachtung ein Unterschied bei der Häufigkeit, die ein Bediener dieser Gefahrensituation ausgesetzt wurde. Im Vergleich zur ersten Gefährdungssituation gilt hier, dass das Verfahren ohne Flansche im Automatikbetrieb nur äußerst selten bis nie eintritt. Daher wurde hierfür der Graphzweig F1 gewählt. Für die letzte Betrachtung, der Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung, wurde der Graphzweig P1 gewählt, da eine Vermeidung möglich ist, da Gliedmaßen ohne Einschränken aus dem Gefahrenbereich entfernt werden können. Für die zweite Gefährdungssituation der unteren Pinole ergibt sich somit ein erforderliches Performance Level von c.

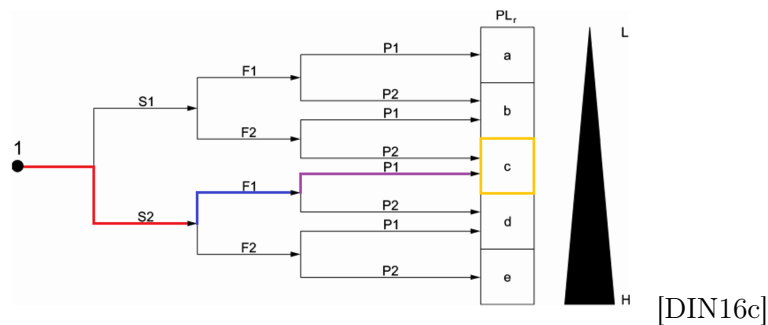


Abbildung 5.5: PL<sub>r</sub>-Ergebnis für die zweite Gefährdungssituation der unteren Pinole

## 5.2 Risikominderung nach DIN EN ISO 12100

Eine Risikominderung nach DIN EN ISO 12100 gliedert sich in drei aufeinander aufbauende Schritte:

### 1. Inhärente sichere Konstruktionen

Im ersten Schritt wird mit sogenannten inhärenten sicheren Konstruktionen versucht, durch Änderung oder Ergänzung der Konstruktion eine Beseitigung des Gefährdungsrisikos zu erzielen. Ist durch diesen Schritt kein Restrisiko mehr erkennbar, so ist kein weiteres Berücksichtigen von Schritt zwei und drei nötig. Kann das Risiko durch die Änderung oder Ergänzung der Konstruktion nicht allerdings nicht reduziert werden, so ist mit Schritt 2 fortzufahren.

### 2. Technische und ergänzende Schutzmaßnahmen

Schritt zwei behandelt den Einsatz von technischen Schutzmaßnahmen sowie ergänzenden Schutzmaßnahmen. Dabei werden unter Berücksichtigung der bestimmungsgemäßen Verwendung der Anlage und vorhersehbaren Fehlanwendung des Bedieners, zur Beseitigung oder Minderung einer Gefahrenquelle für den Menschen die technischen Schutzmaßnahmen ermittelt, welche mindestens dem erforderlichen Performance Level PLr entsprechen. Ist eine vollständige Beseitigung einer Gefahr oder Minderung auf ein tragbares Niveau nicht möglich, so wird mit dem dritten Schritt fortgefahren.

### 3. Festhalten verbleibender Restrisiken

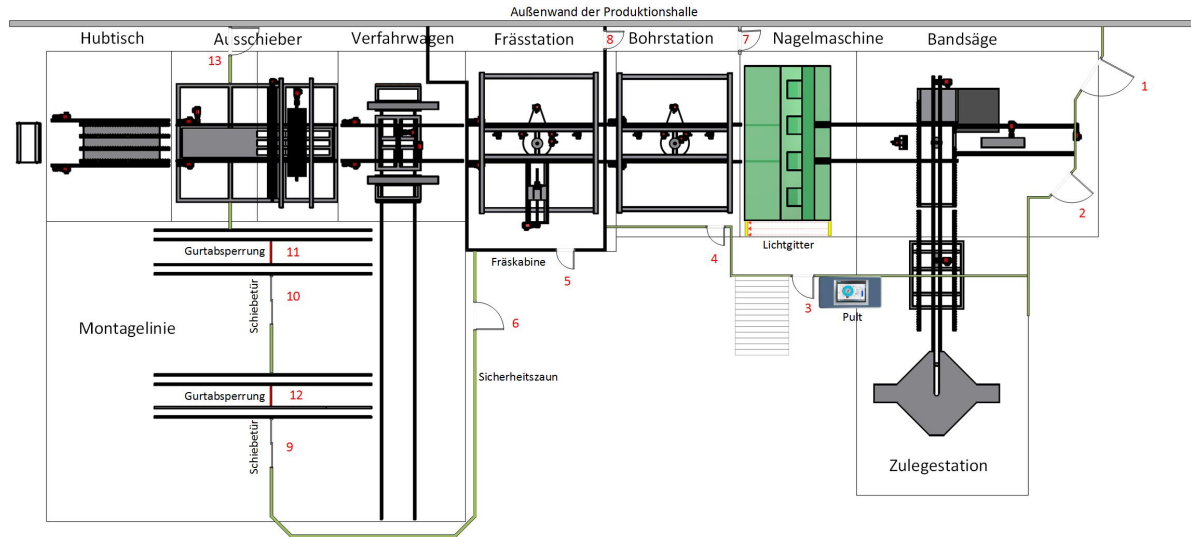
Der dritte Schritt kommt immer dann zum Tragen, wenn keine Minderung der Gefahr möglich ist. In diesem Schritt wird auf alle verbleibenden Restrisiken in Form einer Benutzerinformation hingewiesen. Dabei müssen sich folgende Punkte mindestens in einer Benutzerinformation wiederfinden:

- a. Definierung von Anweisungen, die bei der Bedienung der Anlage bzw. Maschine einzuhalten sind, sowie die Fähigkeiten, die an einen Bediener gestellt werden, die einer Gefährdung durch die Anlage oder Maschine ausgesetzt werden.
- b. Definierung für Arbeitsweisen, die ein sicheres Arbeiten an und mit der Anlage bzw. Maschine ermöglichen, sowie die Ausbildungsanforderungen an die Bediener klar aufzeigt.
- c. Angabe der bestehenden Restrisiken, sowie Bedienern durch Warnhinweise auf bestehende Restrisiken bei der Bedienung hinweisen.
- d. Aufzeigen der empfohlenen persönlichen Schutzausrüstungen sowie deren Benutzung und der dafür erforderlichen Ausbildung. [DIN11a]

Das Verfassen einer Benutzerinformation ist kein Ersatz für die Ergreifung von inhärent sicheren Konstruktion oder der technischen sowie ergänzende Schutzmaßnahmen.[DIN11b]

### 5.2.1 Inhärente sichere Konstruktion

Eine Risikominderung durch inhärente sichere Konstruktionen wurde durch die Firma August Hildebrandt GmbH erstellt. Diese hat im Vorfeld eine eigene Risikobewertung nach dem Verfahren des erforderlichen Performancelevel PLr durchgeführt. Auf Basis ihrer Bewertung entstand ein neuer Sicherheitszaun um die Anlage 1.



[Hil20b]

Abbildung 5.6: Inhärente Konstruktion der Anlage

Der Sicherheitszaun, in Abbildung 5.7 grün eingezeichnet, erstreckt sich entlang der Anlage 1 von der Bandsäge bis hin zur Montagelinie. Die Frässtation ist mit einer zu allen Seiten geschlossenen Kabine, hier als schwarze Umrandung der Frässtation eingezeichnet, umgeben. Die Kabine der Frässtation bietet dem Bediener zweifachen Schutz. Zum einen verhindert sie, dass der Anwender in die Maschine geraten kann und zum anderen, sorgt sie dafür, dass Holzsplitter und Späne nicht umherfliegen und gezielt abgesaugt werden können. Für Wartungs-, Service- und Reinigungsarbeiten müssen die inhärenten sicheren Konstruktionen für den Bediener eine Durchlässigkeit bieten. Hierfür werden dem Sicherheitszaun Gurtabspernungen, Türen sowie Schiebetüren hinzugefügt.

Den Zutritt zum Gefahrenbereich über die Türen, Gurtabspernungen und Schiebetüren gilt es nun im nachfolgenden Abschnitt für den Bediener so sicher wie möglich zu gestalten.

## 5.2.2 Technische und ergänzende Schutzmaßnahme

### 5.2.2.1 Die Absicherung der Zutritts Türen ohne Zuhaltung

Damit ein Bediener sicher in einen Gefahrenbereich eintreten kann, darf der Zugang nicht unkontrolliert passierbar sein. Aus Kapitel 5.2.1 ist bekannt, dass die inhärenten sicheren Konstruktionen durch Türen und Absperrgurte für einen Bediener, zum erfüllen bestimmter Aufgaben, durchlässig ist. Der Findungsprozess lässt sich zunächst also auf Sicherheitsschalter für die Türen eingrenzen.

Solche Sicherheitsschalter als trennende Schutzeinrichtungen besitzen Funktionen zum Überwachen der aktuellen Stellung. Dabei wird erkannt, ob die Verriegelungseinrichtung geschlossen oder geöffnet ist. Die Überwachungseigenschaften können zum Auslösen von erweiterten Schutzmaßnahmen verwendet werden. So kann ein Stoppbefehl ausgegeben werden, wenn sich die Verriegelungseinrichtung nicht in geschlossener Stellung befindet. Darüber hinaus kann eine direkte Aktion ausgeführt werden, wie das aktive Bremsen von Antrieben, wodurch ein Zutritt erst möglich ist, wenn der Antrieb steht. Dabei unterscheidet man zwischen Sicherungsschaltern mit und ohne Zuhaltfunktion.[DIN14a]

Für die Auswahl der geeigneten Sicherheitsschalter gelten die zuvor ermittelten Performancelevel PLr aus Kapitel 5.1.3 als Richtwert. Hierfür geben die Hersteller von sicherheitsgerichteten Schaltungskomponenten ein erfüllbares Performancelevel PL an. Eine geeignete Peripherie muss nun mindestens dem erforderlichen Performancelevel PLr entsprechen, damit es für eine Gefährdungssituation den erforderlichen Grad an Sicherheit für den Bediener bieten kann.

Für die Anlagenstation A und die Bandsäge B werden für die Betriebsmodi Automatikbetrieb und Handbetrieb zunächst die erforderlichen Performancelevel PLr betrachtet. Hand- und Automatikbetrieb werden hier gemeinsam betrachtet, da beide nur ausführbar sind, wenn alle Safety-Komponenten geschlossen sind.

Layout Position	Betriebsmittellkennzeichen vollständig			Beschreibung	Risikobeurteilung Automatikbetrieb					Risikobeurteilung Handbetrieb				
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)		Gefährdungssituation					PLr				
				Anlage 1										
				Antriebe										
				A Vorlagetisch										
1	A1	MCC01	A-201M1	Antrieb untere Pinole	1. der Bediener kann beim Einzug des Flanschrohling vom Flansch erfasst und zwischen der Anlage und dem Flanschrohling eingeklemmt werden		d					c		
					2. Quetschgefahr beim Verfahren ohne Flansch		c					c		

Tabelle 5.6: PLr untere Pinole für Automatik- und Handbetrieb

Die Gefährdungssituation, dass ein Bediener zwischen Flansch und Maschine eingequetscht werden kann wird nicht durch den Zaun als inhärente Konstruktionen vermindert. Eine Risikominderung kann hier allerdings durch die Umgestaltung der Arbeitsabläufe und durch die Neuordnung von zu betätigen Tastern, sowie eine Überwachung von Zutritten in den Gefahrenbereich mit einer Lichtschranke erwirkt werden. Dieses wurde dem Kunden mitgeteilt und eine finale Entscheidung des Kunden stand zum Zeitpunkt der Abgabe dieser noch aus.



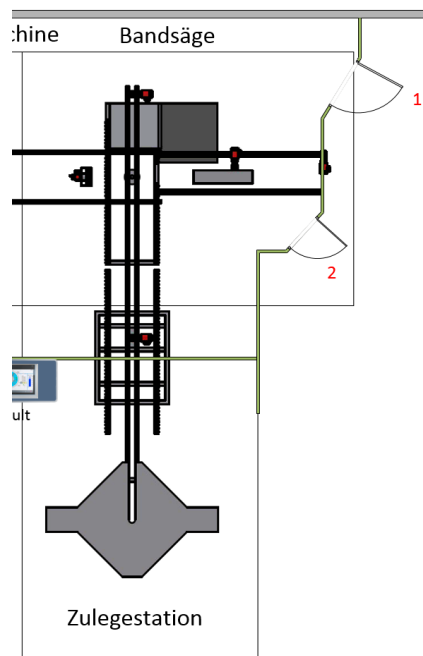
Layout Position	Betriebsmittelenkennzeichen vollständig			Beschreibung	Risikobeurteilung Automatikbetrieb					Risikobeurteilung Handbetrieb		
	Anlage (-)	Ort (+)	BNK (-)		Gefährdungssituation	PLr				PLr		
				<b>B Bandsäge</b>								
2	A1	MCC01	B-202M2	Vorschub Bandsäge	1. Quetschgefahr beim Verfahren der Bandsäge 2. Stolpergefahr bei der Verfahrsebene	A				A		
3	A1	MCC01	B-203M3	Antrieb Bandsäge	Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm)	C				C		
4	A1	MCC01	B-204M4	Obere Pinole	1. Bediener kann vom Flanschroling erfasst werden und zwischen Rollring und der Station Bandsäge eingeklemmt werden 2. Quetschgefahr von Gliedmaßen (Finger, Hand) beim Verfahren ohne Flansch	C				C		
						C				C		
5	A1	MCC01	B-206M5	Vorschub Reibrad	Verlust von Gliedmaßen (Finger), da diese von den Rollarmen des Reibrades erfasst und in das Gehäuse gezogen werden können.	C				C		

Tabelle 5.7: Erforderliches Performancelevel Antriebe Bandsäge für Automatik- und Handbetrieb

Für die Antriebe der Station A und B wurden die maximal zu berücksichtigen erforderlichen Performancelevel PLr von C ermittelt. Um die Gefahrensituationen für einen Bediener auf ein vertretbares Maß zu reduzieren, darf eine Gefahrenquelle nur erreicht werden, wenn diese abgestellt ist. Damit dies gewährleistet ist, muss eine geeignete Verriegelung für die Zugangstüren der Station A und B zum Gefahrenbereich ermittelt werden, die einen gefahrenlosen Zutritt gewährleisten.

Nach DIN EN ISO 14119 ist ein gefahrloser Zutritt durch eine Türverriegelungseinheit ohne Zuhaltung nur dann gewährleistet, wenn das Erreichen der Gefahrenquelle länger dauert, als die gefahrbringenden Antriebe nachlaufen.[DIN14b]

Zur besseren Analyse von Zugängen zu Gefahrensituationen dient ein Übersichtsausschnitt der Stationen A und B.



[Hil20b]

Abbildung 5.7: Türen der inhärenten Konstruktion Station A und B

Ein Bediener kann über die Türen 1 und 2 den Gefahrenbereich betreten. Die Tür 1 wird dabei

aber hauptsächlich verwendet, um die Rückseite der C-Nagelstation, D-Bohrstation und der E-Frässtation zu erreichen

Der Weg von der Tür 1 zur Bandsäge wird von ihrer Gleitschiene gekreuzt, welche ein 40 cm hohes, zu überwindendes Hindernis bildet. Aufgrund dessen nimmt der Weg zur Bandsäge einen längere Zeit in Anspruch, als die Bandsäge nachläuft. Für diese Tür kann ohne Bedenken eine trennende Schutzeinrichtung ohne Zuhaltung verwendet werden.

Zutritt zum Gefahrenbereich der Bandsäge über die zweite Tür bietet nur einen vergleichsweise kurzen Weg, währenddessen kein Stillstand der Bandsäge bis zum Erreichen der Gefahrenquelle des Bedieners gewährleistet werden kann. Hier sollte man über eine Schutzeinrichtung mit Zuhaltung nachdenken. Das Bandsägeblatt muss regelmäßig vom Baumharz, welches beim Sägen der Bretter stark am Sägeblatt haften bleibt, befreit werden, welches ein Bediener das Sägeblatt bei laufenden Betrieb mit einem Lösungsmittel einstreichen und das Baumharz mit einem Holzbrett vom laufenden Sägeblatt abstreifen muss. Das soll auf Wunsch des Auftraggebers beibehalten werden, wodurch eine Verriegelungseinrichtung ohne Zuhaltung für die Tür 2 verwendet wird. Dieser Reinigungsvorgang birgt für den Durchführenden ein erhebliches Risiko, welches als Warnhinweis in der Benutzerinformation festgehalten wird.

Für die Türen 1 und 2 werden Verriegelungseinrichtung ohne Zuhaltung der Firma Euchner verbaut. Hierbei handelt es sich um einen berührungslosen Sicherheitsschalter, welcher platzsparend und flexibel angebracht werden kann.

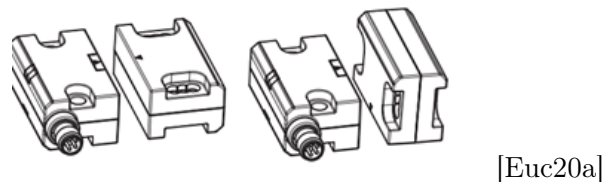


Abbildung 5.8: Anordnungsmöglichkeiten des Euchner Türschalters CES-I-AP

Dieser Sicherheitsschalter besteht aus einem Lesekopf und einem Betätiger. Jeder Betätiger ist über einen einmaligen Unicode identifizierbar und muss an einen Lesekopf angelernt werden. Somit ist eine Manipulation des Sicherheitsschalters deutlich minimiert, da der Lesekopf mit einem ungelerten Betätiger nicht interagieren kann. Der Lesekopf ist fest am Türrahmen verbaut und besitzt einen Steckeranschluss zur Kommunikation. Der Betätiger ist auf der Tür fest verschraubt und bewegt sich mit ihr.[Euc20b]

Via Steckanschluss wird der Lesekopf (mithilfe einer 4-poligen M8-Steckerleitung mit einem offenen Leitungsende) mit der Schaltung über fehlersichere digitale Eingänge verbunden.[Euc20c]

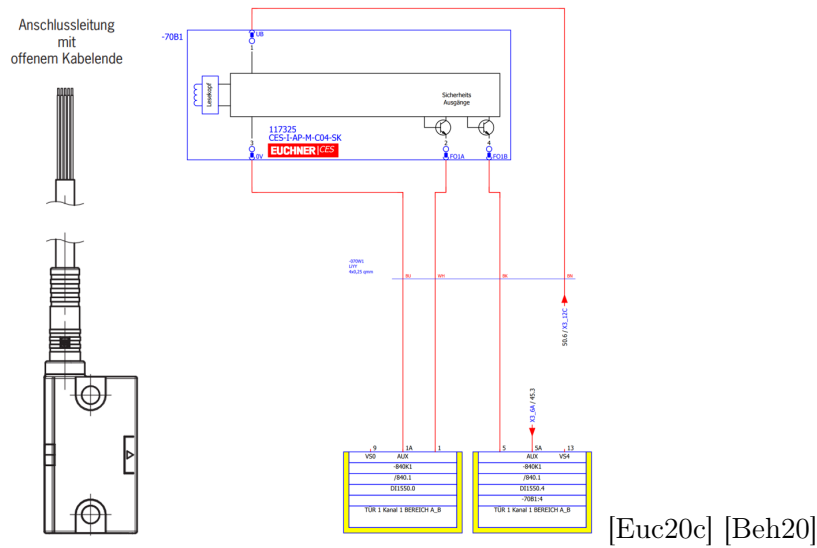


Abbildung 5.9: Anordnungsmöglichkeiten des Euchner Türschalters CES-I-AP

Der Kommunikationskanal der Sicherheitsschalter von Euchner wird zweikanalig(redundant) über die in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 projektierten fehlersicheren Baugruppen der Interfacemodule mit der Steuerung verbunden.

Die Wahl fiel hier auf die Firma Euchner, da die Firma RK-Automation in der Vergangenheit häufig Produkte der Firma Euchner verbaut hat. Hierdurch kann die erforderliche Sicherheitssoftware aufgrund der gemachten Erfahrungen mit Produkten der Firma Euchner kostenoptimiert umgesetzt werden.

### 5.2.2.2 Die Absicherung der Zutrittsstüren mit Zuhaltung

Für die Frässtation wurde eine bereits vorhandene Fräskabine als inhärente Konstruktion aufgegriffen (schwarze Umrandung).

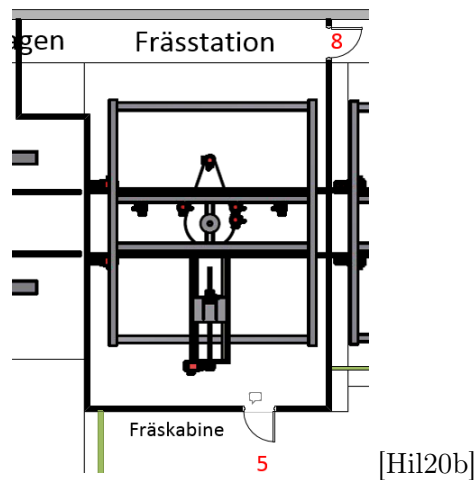


Abbildung 5.10: Frässtation mit Fräskabine

Für die Türen 5 und 8 werden unabhängig von der in DIN EN ISO 14119 erwähnten Richtlinie zum Ermitteln von der Notwendigkeit einer Zuhaltung, Sicherheitsschalter mit Zuhaltungen verbaut. Diese Entscheidung beruht darauf, dass ein erhebliches Risiko für den Bediener von umherfliegenden Spänen und Holzteilen droht. Zudem sind in der Vergangenheit Werkzeuge durch Äste in den Hölzern stark beschädigt wurden, wodurch Teile der Werkzeuge sich lösten und die Sicherheitsscheiben der Fräskabinen stark beschädigten. Daher ist hier von einem höheren Gefahrenlage für den Bediener auszugehen als von den Werkzeugen in der Risikoermittlung ausging.

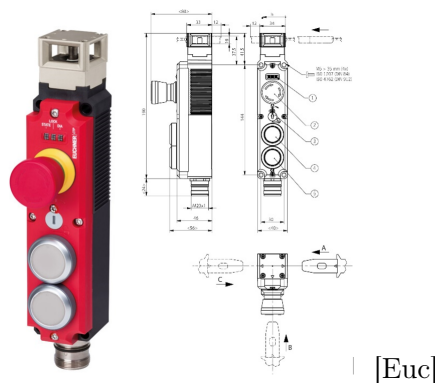


Abbildung 5.11: Türzuhaltung der Fräskabine der Frässtation

Die Grundfunktion dieses Sicherheitsschalters ähnelt den zuvor beschriebenen Sicherheitsschaltern ohne Zuhaltung. Auch dieser Sicherheitsschalter mit Zuhaltung besitzt einen Lesekopf und einen Betätiger. Der Betätiger muss an den Lesekopf ebenfalls vorher angelernt werden und ist nur über seinen individuellen Unicode identifizierbar.[Euc19a]

Jedoch wird der Betätiger hier über einen Zuhaltebolzen in seiner Fangtasche fixiert. [Euc19b]

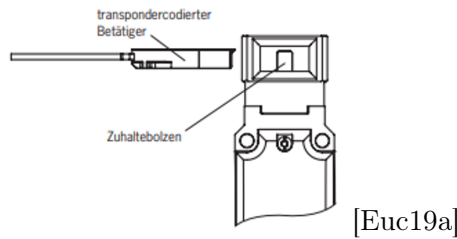


Abbildung 5.12: Fangtasche mit Zuhaltebolzen

Das Öffnen der Tür ist nur möglich, wenn der Zuhaltebolzen eingefahren ist und den Betätiger freigibt. Dieses kann durch unterschiedliche Bedingungen erfolgen, welche durch den Programmierer festgelegt werden. In unserem Falle wird eine Freigabe der Türen 5 und 8 erst nach dem völligen Stillstand aller Antriebe erfolgen.

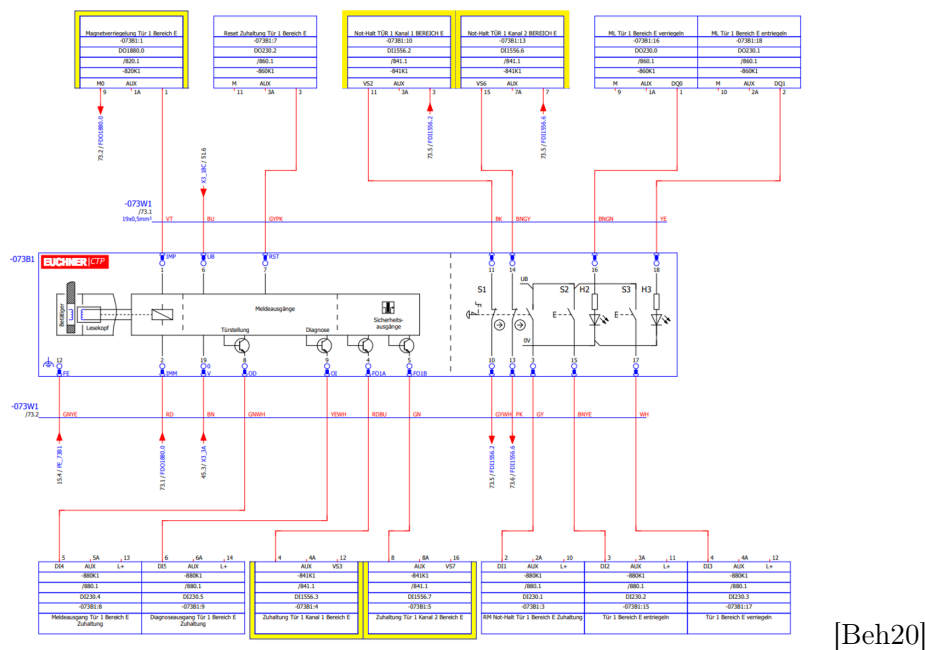


Abbildung 5.13: Anschaltung des Türsicherheitsschalter mit Zuhaltung

Die Verriegelung des Betätigers wird über den Eingang IMP des Sicherheitsschalters durch ein Steuersignal von dem fehlersicheren digitalen Ausgang 1880.0 aktiviert bzw. deaktiviert. Liegt keine Spannung am Eingang IMP an, so ist die Schutzeinrichtung verriegelt. Soll eine Tür entriegelt werden, so muss eine Spannung am Eingang IMP anliegen. Über die Kontakte 11 und 14 wird der integrierte Nothalt-Taster ausgelesen. Mit den Ausgängen F01A und F01B wird eine aktive Zuhaltung über die fehlersicheren digitalen Eingänge 1556.3 und 1556.7 der SPS überwacht. Ist keine Zuhaltung aktiv, so sind die Ausgänge F01A und F01B inaktiv. Im Fall eines Fehlers kann dies über den Ausgang OI durch die Steuerung erkannt werden. Der Türmeldeausgang OD wird eingeschaltet, wenn eine Tür geschlossen ist oder eine Betätiger in seiner Fangtasche sitzt.[Euc19a]

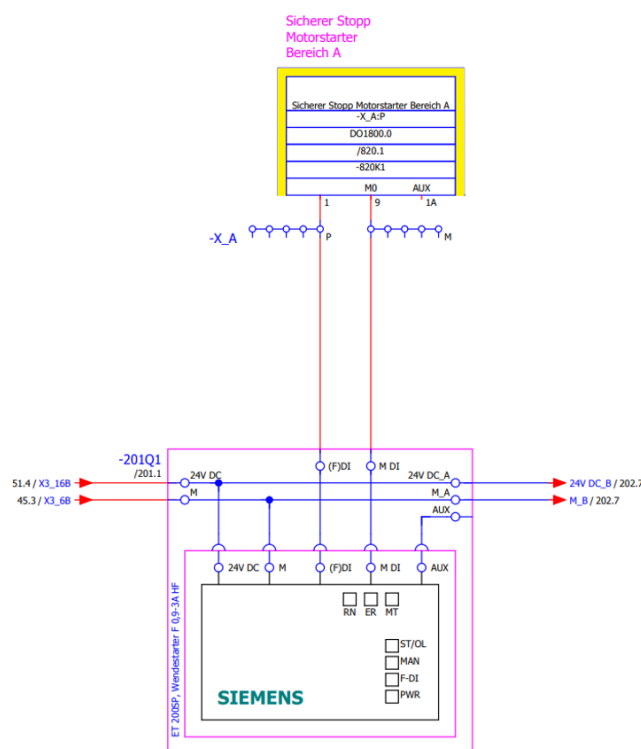
### 5.2.2.3 Die Auswahl der Absperrgurte

Eine finale Auswahl geeigneter Absperrgurte konnte zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Bachelorarbeit noch nicht getroffen werden und muss daher zunächst von der Betrachtung ausgeschlossen werden.

### 5.2.2.4 Sicheres Abschalten der Motorstarter

Damit ein Antrieb bei Verstoß gegen das Sicherheitskonzept rechtzeitig und vor allem sicher gestoppt werden kann, müssen die Antriebstechniken über Sicherheitstechnologien verfügen. Bei der Projektierung der Motorstarter wurde konsequent auf fehlersichere Motorstarter geachtet, welche die integrierte Sicherheitsfunktion Safe Torque Off (STO)<sup>1</sup> besitzen. Durch diese Funktion wird eine Bildung von gefährbringendem Drehmoment durch Zufuhr von Energie verhindert, ein unerwartetes Anlaufen des Antriebes wird vermieden und es können Arbeiten wie Inspektionen und Einstellungen sowie Elektorarbeiten, wenn eine Gefahr durch elektrischen Schlag ausgeschlossen werden kann, durchgeführt werden.[DIN19a] Der fehlersichere Motorstarter prüft zudem bei jeder Ein- und Ausschaltung seine Schaltelemente und besitzt die Fähigkeit, den ausgelösten STO-Zustand zu überwachen.[Sie16]

Zum Aktivieren des Safe Torque Off Zustandes, besitzen die fehlersicheren Motorstarter einen fehlersicheren digitalen Eingang (F)DI.



[Beh20]

Abbildung 5.14: Ansteuerung der Motorstarter zum Aktivieren der STO-Funktion

<sup>1</sup>STO-Safe Torque Off: sicher abgeschaltetes Moment

Der fehlersichere Eingang (F)DI wird dauerhaft mit 24V DC gespeist, wenn es keine Verstöße gegen die Sicherheitsmaßnahmen gibt. Wird eine sicherheitstechnisch überwachte Tür unerwartet geöffnet oder ein Not-Halt betätigt, so wird dem (F)DI die 24V DC entzogen. Durch das Erkennen von 0V am (F)DI schaltet die Logik im Motorstarter den Safe Torque Off Zustand ein und die Antriebe werden gestoppt. Die Beschaltung des (F)DI kann in verschiedenen Varianten erfolgen. Im Rahmen dieses Projektes, wird der (F)DI Eingang über einen fehlersicheren Ausgang F-DQ einer fehlersicheren Ausgangsbaugruppe gespeist.[Sie19a]

### 5.2.2.5 Sicheres Abschalten der Frequenzumrichter

Die eingesetzten Frequenzumrichter S120 und G120 in den Station D Bohrstation, E-Frästation und G-Verfahrwagen beherrschen die Safety Integrated Funktion der Firma Siemens, welche verschiedene Sicherheitsfunktionen für unterschiedliche Anforderungen umfasst. Im Falle eines sicherheitsbedingten Stopps wird für unsere Anwendung die STO-Funktion benutzt.[Sieb]

### 5.2.2.6 Absicherung der Pneumatikachsen

Bei der Risikoermittlung wurde für alle Pneumatikachsen der Anlage ein erforderliches Performance Level von C ermittelt.

Layout Position	Betriebsmittelnennzeichen vollständig			Beschreibung	Risikobeurteilung Automatikbetrieb					Risikobeurteilung Handbetrieb			
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)	Anlage 1	Gefährdungssituation	PLr					PLr		
				<b>Pneumatik</b>									
				<b>A Zulegestation</b>									
40	A1	A	501K1	Kettenförderer Bandsäge	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		
41	A1	A	502K1	Obere Pinole	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		
42	A1	A	503K1	Hubtisch	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		
43	A1	A	504K1	Drehbarer Bandsäge	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		
44	A1	A	505K1	Bretter Spannen	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		
45	A1	A	506K1	Reibrad	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C					C		

Tabelle 5.8: Erforderliches Performancelevel der Pneumatik in der Zulegestation

Die Tabelle 5.8 zeigt stellvertretend für alle Pneumatikachsen, das ermittelte erforderliche Performancelevel PLr. Im Rahmen des Retrofits wurde von der Firma TECHNICON die Ansteuerung der Pneumatik von Grund auf überarbeitet. Es wurde hier von Anfang an eine sichere Abschaltung der Pneumatikachsen zur Gefahrenminderung berücksichtigt, wofür der Positioniersteuerkreis um einen zweiten, den Sicherheitssteuerkreis, erweitert wurde. Dieser Sicherheitssteuerkreis besteht aus mehreren 5/2 Wegeventilen.

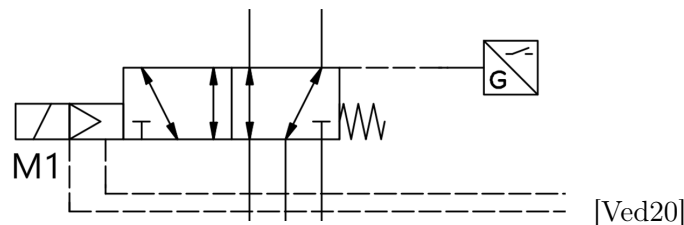


Abbildung 5.15: Sicherheitsgerichtetes Pneumatik 5/2 Wegeventil

Die hier verwendeten 5/2 Wegeventile besitzen die Besonderheit, dass die aktuelle Ventilstel-



lung an die Steuerung übermittelt wird, hier über den Schließkontakt dargestellt. Hierdurch kann ein Bediener klar erkennen, ob ein Pneumatik-Bereich sicher abgeschaltet oder wieder eingeschaltet ist. Das 5/2 Wegeventil ist mit einer Rückstellfeder ausgestattet. Durch diese Rückstellfeder wird gewährleistet, dass ein Pneumatik-Bereich durch einen Verlust des Luftdrucks oder der Steuerspannung sicher abgeschaltet wird. Die Pneumatikzylinder werden mit Klemmkartuschen der Firma Festo versehen. Diese Klemmkartuschen werden über den pneumatischen Sicherheitsteuerkreis (rote Pneumatikleitung) durch die sicherheitsgerichteten 5/2 Wegeventile dauerhaft mit Druckluft versorgt, wodurch der Pneumatikzylinder ohne Einschränkungen verfahren werden kann.

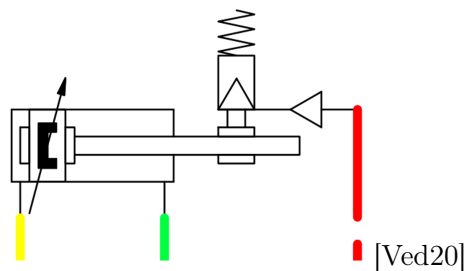


Abbildung 5.16: Klemmkartusche am Pneumatikzylinder

Gilt es nun einen Bereich der Anlage durch das Öffnen von Sicherheitstüren oder Betätigen von Not-Halt Schaltern sicher abzuschalten, so entzieht das sicherheitsgerichtete 5/2 Wegeventil der Klemmkartusche die Druckluftversorgung. Durch den Abfall des Luftdruckes wird die Klemmkartusche durch eine intern verbaute Feder mechanisch betätigt, was ein Festsetzen der Pneumatikachse zur Folge hat. Hierdurch kann der Pneumatikzylinder weder vor noch zurück verfahren werden. Des Weiteren ist eine plötzliche Bewegung durch eingesperrte Restluft im Zylinder ausgeschlossen.

Ein Zylinder jeder Station wird von AS-i AirBoxen der Firma ifm angesteuert. In den AS-i AirBoxen vom Typ AC5271 werden 5/3 – Wegeventile verbaut.

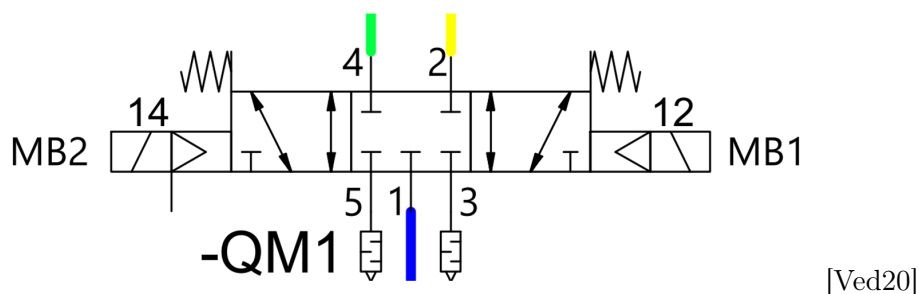


Abbildung 5.17: AS-i Airbox mit 5/3 Wegeventil

Die AirBoxen haben mit ihren 5/3-Wegeventilen, nach Abbildung 5.19, eine sperrenden Eigenschaft in der Mittelstellung, womit sie neben ihrer Aufgabe des Positionierens, als weitere sicherheitsgerichtete Komponente anzusehen sind. Das Sperren des Ventils alleine führt nur

zum Abbruch einer Bewegung aber verhindert nicht das Bewegen der Achse durch ihr eigenes Gewicht, wie beispielsweise beim Herunterfallen. Zum Verhindern eines unkontrollierten Herunterfallens durch das Schalten der AS-i AirBox in die Ruheposition, werden die pneumatischen Steuerleitungen, im Pneumatikplan als grüne und gelbe Linien dargestellt, mit Rückschlagventilen versehen.

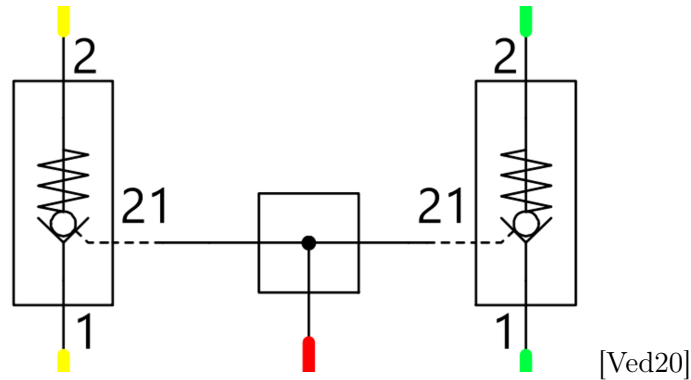
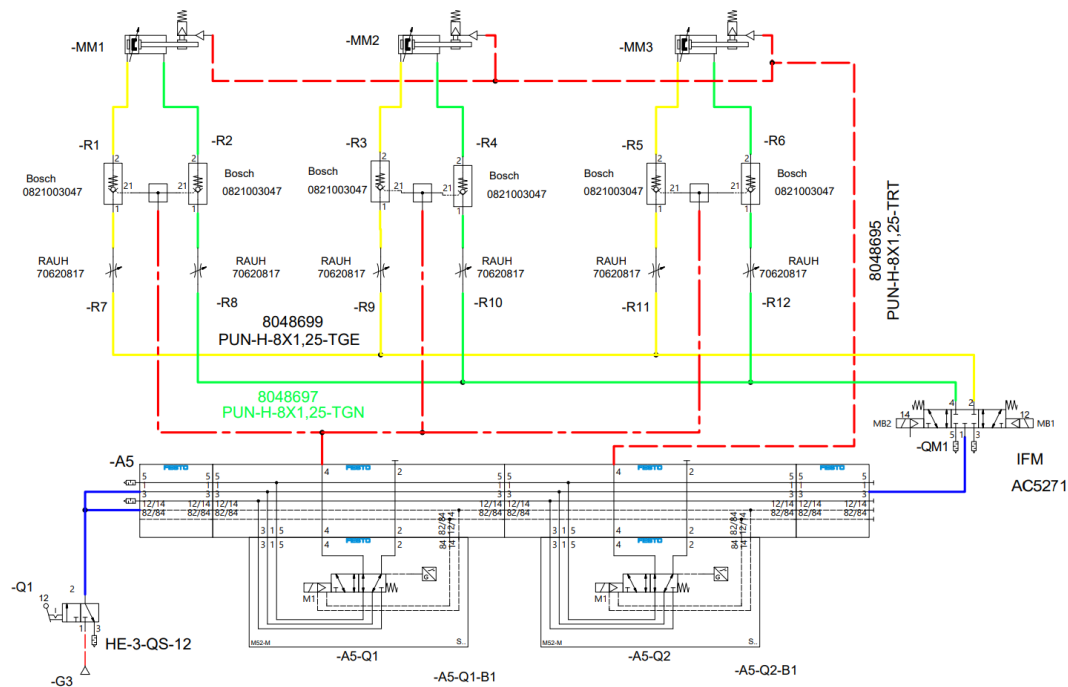


Abbildung 5.18: Darstellung der Zweiwegerückschlagventile im Schaltplan der Pneumatik

Diese Zweiwegerückschlagventile werden durch den Luftdruck über einen zweiten sicherheitsgerichteten zusätzlichen Steuerkreis (rote Linie) geöffnet. Wird den Rückschlagventilen diese Steuerluft durch das sicherheitsgerichtete 5/2 Wegeventil der Firma Festo entzogen, so wird es durch die in den Ventilen verbauten Federn mechanisch geschlossen. Hierdurch ist kein Entweichen des Luftdrucks aus dem Zylinder möglich und dieser kann nicht durch weitere ausströmende Luft in seiner Position verändert werden. Luft kann aber dennoch weiter in die Zylinder strömen wenn das AC5271 sich öffnet. Dieses gilt nicht nur bei Verstößen gegen die Sicherheitsmechanismen der Anlage sondern auch bei plötzlichem Verlust der Druckluftversorgung für die gesamte Anlage 1.

In der Betrachtung des zusammenhängenden Schaltplans vom Hubtisch der Zulegestation wird klar, dass mehr als nur ein sicherheitsgerichteter Pneumatikkreis vorhanden ist. Das erste 5/2 Wegeventil mit der Betriebsmittelkennzeichnung –A5-Q1 steuert die Stellung der Zweiwegerückschlagventile, hier mit –R1 bis –R6 beschriftet. Das zweite 5/2 Wegeventil mit der Betriebsmittelkennzeichnung –A5-Q2 steuert die Klemmkartuschen am Pneumatikzylinder.

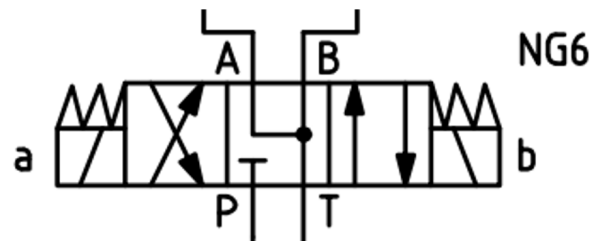


[Ved20]

Abbildung 5.19: Pneumatik-Schaltplan des Hubtisches in der Zulegestation

### 5.2.2.7 Absicherung der Hydraulikachsen

Die Auslegung der Hydraulik wurde durch die Firma Hydraulik Schwerin GmbH durchgeführt. In der Bohrstation werden die Werkzeuge hydraulisch verfahren. Der Aufbau des Hydraulikplans ähnelt sehr dem Aufbau des Pneumatikplans. Die Hydraulikzylinder werden über 4/3 Wegeventile gespeist.

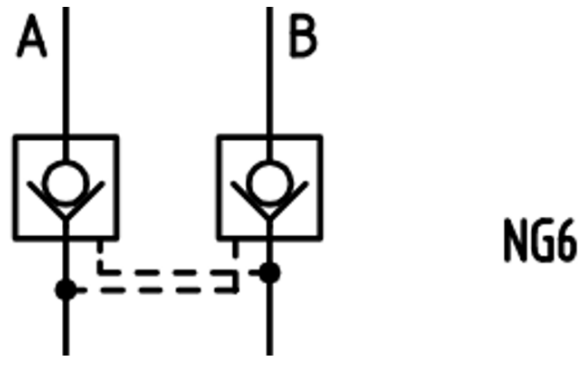


[Sch20]

Abbildung 5.20: Hydraulik 4/3 Wegeventil zur Ansteuerung der Zylinder

Diese 4/3 Wegeventile besitzen für jede Schaltstellung eine Rückstellfeder. Diese bewirken, dass die Ruheposition des Ventils sich in der mittleren Schaltposition befindet. Über die Anschlüsse

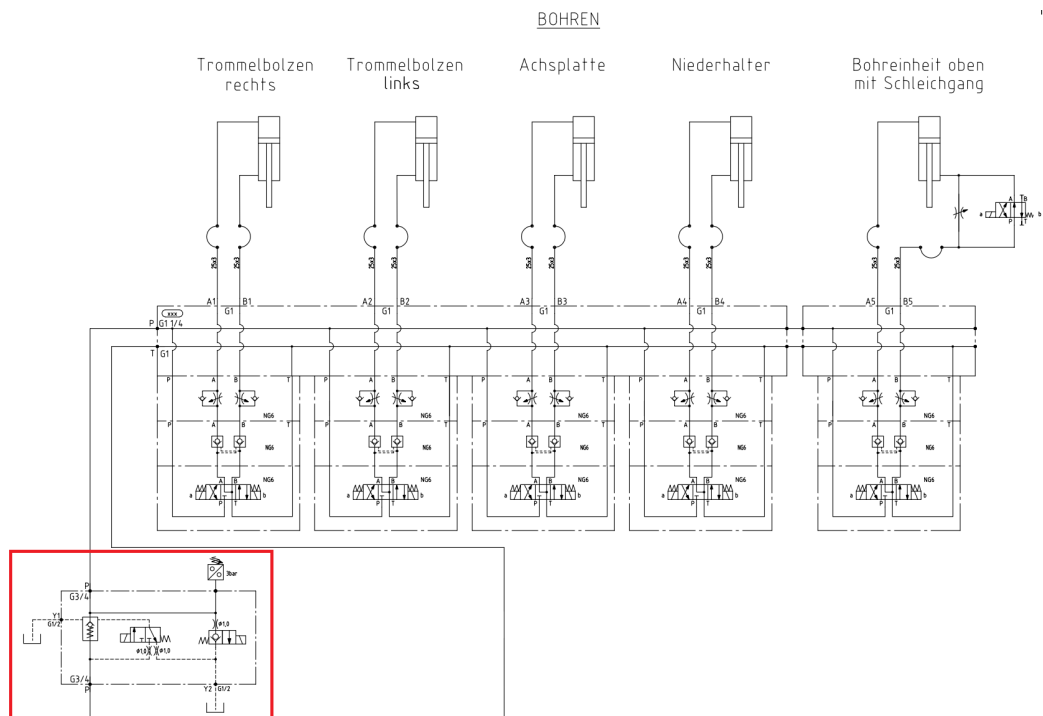
a und b werden die Magnetbetätigungen des Ventils für die Schaltung in die Position links und rechts durch die SPS angeregt. In den Zuleitungen A und B der Zylinder sind ähnlich wie bei der Pneumatik Rückschlagventile verbaut.



[Sch20]

Abbildung 5.21: Doppelrückschlagventil im Hydraulikschaltplan

Hierbei handelt es sich um entsperrebare Doppelrückschlagventile. Die Entsperrung wird über die Steuerleitung der Ventile (gestrichelt dargestellt) mit dem Öldruck der Leitungen A und B betätigt. Diese Eigenschaft ermöglicht es, Fluide in beide Richtungen passieren zu lassen. Bei Verlust des Öldruckes gehen die Rückschlagventile in Sperrung, wodurch ein entweichen des Öls aus den Zylindern unterbunden wird.



[Sch20]

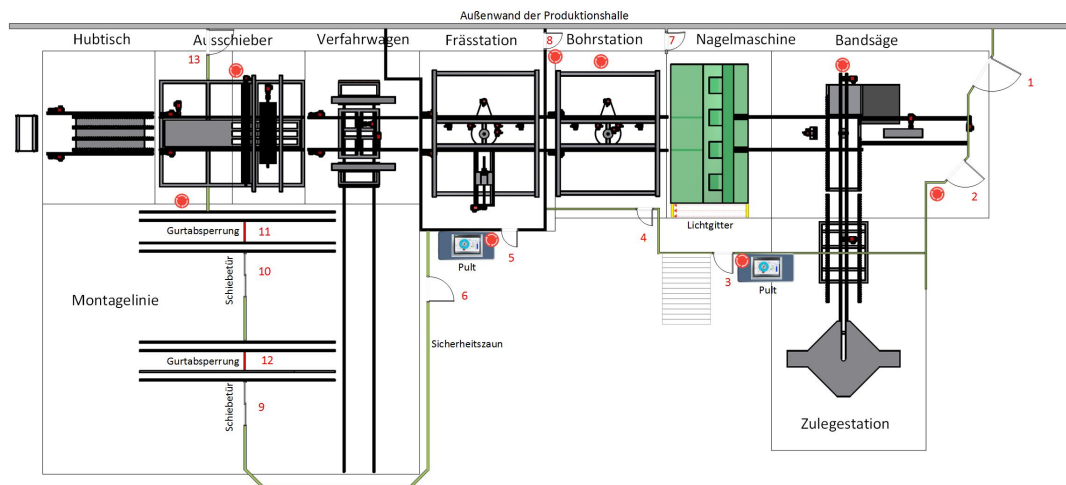
Abbildung 5.22: Übersicht des Hydraulikschaltplans am Beispiel der Bohrstation

Im Falle eines Verstoßes gegen die Sicherheitsvorkehrungen schaltet das sicherheitsgerichtete Bereichsventil (rot umrandet) die Ölversorgung ab. Die Positionierventile schalten zudem in

ihre Mittelstellung, wodurch sie eine sperrende Wirkung haben.

### 5.2.2.8 Auswahl der Not-Halt Mechanismen

Als ergänzende Sicherheitsmaßnahme werden der Anlage Not-Halt-Geräte hinzugefügt. In der Anlage kommen hierbei Drucktaster zum Einsatz, welche mit der Handfläche leicht zu betätigen sind. Die Not-Halt Geräte werden in der Anlage nach DIN EN ISO 13850 an jedem Pult mit einer Bedienstation, sowie an Ein- und Ausgängen mit Zuhaltung angebracht.[DIN16a]



[Hil20b]

Abbildung 5.23: Inhärente Konstruktion mit Not-Halt

Zusätzlich werden auf den Rückseiten der Bandsäge und zwischen Frästation und Bohrstation weitere Not-Halt Einrichtungen angebracht. Für den Bereich der Bandsägenrückseite dient dieses zur Unterbrechung einer Gefahrensituation bei Reinigungsarbeiten des Bandsägeblatts. Die Frästation hat einen Not-Halt-Taster in ihrem Türschalter integrier, welcher auch zur Unterbrechung von Gefahrensituationen bei geöffneten Türen während des Einrichtbetriebes dient.

Alle eingesetzten Not-Halt Schalter werden in Zweikanaliger (Redundanten) Ausführung eingesetzt. Hierdurch kann gewährleistet werden, dass eine Betätigung der Not-Halt Einrichtung auch bei Verlust eines Kanals, weiterhin einen sicheren Stopp bewirkt.

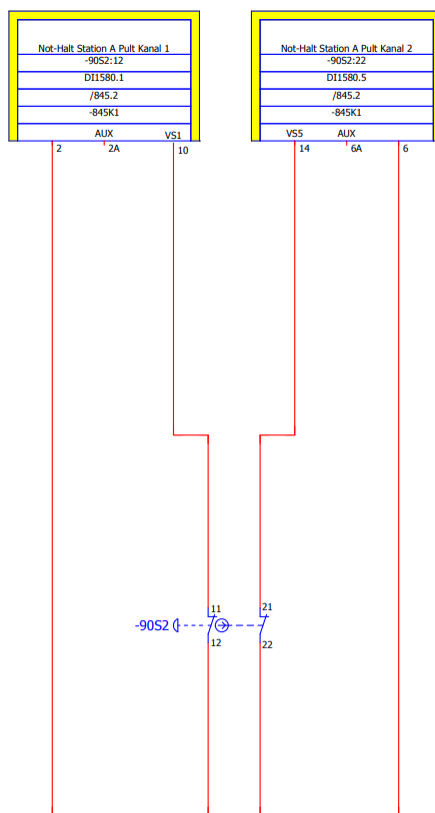


Abbildung 5.24: Redundante Not-Halt Anschaltung  
[Beh20]

Das Betätigen des Not-Halts wird von zwei fehlersicheren digitalen Eingängen eingelesen und von einer sicherheitsgerichteten Software verarbeitet.

### 5.2.2.9 Der Einrichtbetrieb

Für den Einrichtbetrieb ist vorgesehen, dass die motorischen Achsen der Frässtation durch einen Bediener vor Ort verfahren werden können. Hierfür ändert sich die Bewertung der Gefahrensituation, da ein Bediener nun direkt der Gefahrensituation ausgesetzt ist.

Layout Position	Betriebsmittelnennzeichen vollständig			Beschreibung	Risikobeurteilung Automatikbetrieb	Risikobeurteilung Handbetrieb				Risikobeurteilung Einrichtbetrieb			
	Anlage (-)	Ort (+)	BMK (-)	Anlage 1	Gefährdungssituation	PLr				PLr			
				<b>E Frästation</b>									
16	A1	MCC01	E-306M16	Nutfräse Pultseite (oben)	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
17	A1	MCC01	E-307M15	Nutfräse Wandseite (oben)	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
18	A1	MCC01	E-308M17	Schräglloch (oben)	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
19	A1	MCC01	E-311M19	Schräglloch (unten)	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
20	A1	MCC01	E-223M18	Code Karte	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
21	A1	MCC01	E-310M21	Fasenfräser	Durchdringen, Abtrennen von Gliedmaßen (Finger, Hand, Arm etc.)	C				d			
22	A1	MCC01	E-225M20	Vorschub Fasenfräser	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim verfahren des Fasenfräfers.	C				d			
23	A1	MCC01	E-312M4	Drehteller	Aufwickeln von Klamotten und Haaren, wodurch ein Bediener in an die Achse zogen werden kann.	C				d			
24	A1	MCC01	E-230M9	Verstellung oben Schräglloch	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Schrägllochfräse	a				b			
25	A1	MCC01	E-230M10	Verstellung unten Schräglloch	Quetschgefahr von Gliedmaßen beim Verfahren der Schrägllochfräse	a				b			
26	A1	MCC01	E-236M26	Kettenförderer	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C				d			
27	A1	MCC01	E-233M23	Kettenförderer	Quetschgefahr von Gliedmaßen	C				d			

Tabelle 5.9: PLr Handbetrieb und Einrichtbetrieb

Am Beispiel der Antriebe Frässtation wird deutlich, wie sich die Bewertung der Gefahrensituation ändert. Während des Einrichtbetriebes sind die Sicherheitsmechanismen der Türen abgeschaltet und ein Verfahren ist mit geöffneten Sicherheitstüren möglich. Die Not-Halt Taster und Lichtschranke der Nagelmaschine bleiben zur Gefahrenabwehr während des Einrichtbetriebes erhalten. [DIN16b]

Zum Verfahren der einzelnen Achsen wird ein kabelloser Zustimmtaster der Firma DOLD verwendet.



[DOLc]

Abbildung 5.25: Dolt Zustimmtaster SAFEMASTER W

Dieser Zustimmtaster ist eine ergänzende Schutteinrichtung und mit 2 kanaligen, DIN EN 60204-1 entsprechenden, dreistufigen Tastern ausgerüstet. In der ersten Stufe (Ruheposition) ist der Schalter nicht betätigt und befindet sich in der Aus-Funktion. Wird der Zustimmtaster nun bis zur Mittelstellung (Stellung 2) betätigt, so befindet er sich in der Freigabe-Funktion, in der eine Achse verfahren wird. Wird der Taster nun über die zweite Stellung hinweg in die



dritte Stellung betätigt, befindet sich der Taster in der zweiten Aus-Funktion. Um eine Achse erneut verfahren zu können, muss der Taster wieder in die Stellung 1 gebracht werden. Ein erneutes Verfahren der Achse ist beim betätigen des Tasters von Stellung 3 in 2 nicht möglich.[DIN19b] [DOLb] Durch diese drei Stufen kann verhindert werden, dass eine Achse weiter verfahren wird, wenn der Zustimmungstaster durch Schreck oder Schmerz bis in die dritte Stufe betätigt wird. Hierdurch können Verletzungen oder tödliche Verletzungen vermieden werden.

Für den Einrichtbetrieb werden die Achsen mit einer verminderten Geschwindigkeit und verringerter Kraft verfahren, wodurch von Ihnen ein vermindertes Risiko ausgeht.[DIN11b] Hierfür wird das Safety-Limited Speed (SLS) Profil der Safety Integrated verwendet. Dieses Profil ermöglicht eine sichere Überwachung eines bestimmten Drehzahl- und Geschwindigkeitsgrenzwerts. Bei Überschreitung des Grenzwerts wird der Antrieb sicher gestoppt und eine Gefahr für den Bediener abgewendet.[Sie16]

### 5.3 Validierungsverfahren nach DIN EN ISO 13849-2

Im Validierungsverfahren nach DIN EN ISO 13849-2 geht es darum, die nach DIN EN ISO 12100 und DIN EN ISO 13849-1 aufgestellten Sicherheitsmechanismen zu prüfen und gegebenenfalls nachzubessern.

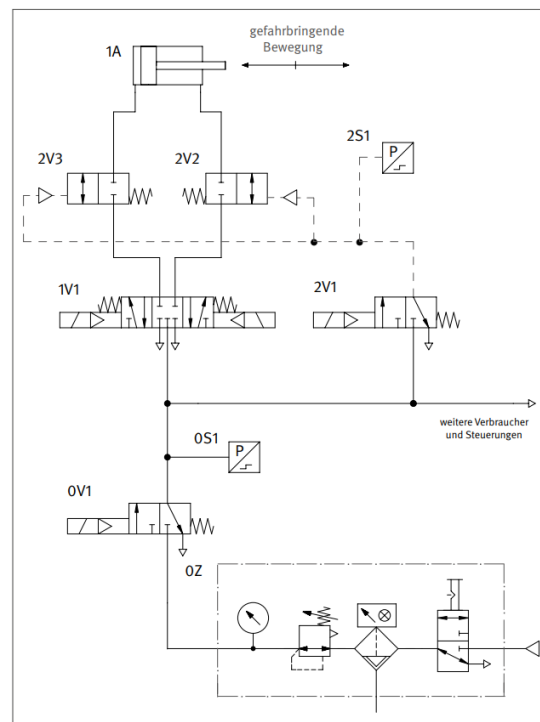


Abbildung 5.26: Ansteuerungsperipherien Motorstart, Sinamics S120, Sinamics G120

Für die Antriebe wurden im Automatik- und Handbetrieb das höchste erforderliche Performance Level von  $PLr = c$  ermittelt. Für die Realisierung der Antriebe wurden fehlersichere Motorstarter, S120 Frequenzumrichter sowie G120 Frequenzumrichter der Firma Siemens verwendet.

Alle drei verwendeten Antriebslösungen werden mit einem erreichten Performance Level von  $PL=e$  ausgezeichnet. Das Sicherheitskonzept für die Antriebe gilt mit einem erreichten Performance Level  $PL=e$  der Peripherie bei einem erforderlichen Performance Level  $PLr=c$  als validiert.[DIN13]

Für den Bereich der Pneumatik wurde ebenfalls ein nach DIN EN ISO 13849-1 maximal erforderliches Performance Level von  $PLr=c$  ermittelt. Das erreichte Performance Level  $PL$  der Pneumatikanschaltung muss in der Gesamtheit ermittelt werden, da dieses aus mehreren Einzelteilen besteht. Für die Ermittlung eines erreichten Performance Level  $PL$  der Pneumatikrealisierung wird ein bewährtes Beispiel herangezogen.

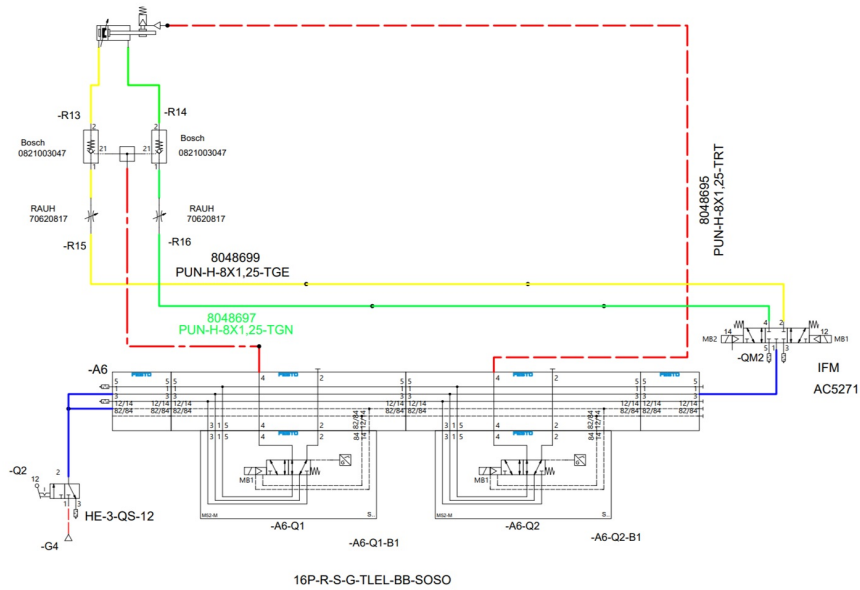


[DGU17a]

Abbildung 5.27: Bewehrte pneumatische Beispielapplikation

In diesem Beispiel nach Abbildung 5.27 wird die gefährbringende Bewegung redundant über Wegeventile gesteuert. Über das Wegeventil 1V1, oder durch die Wegeventile 2V2, sowie 2V3 kann eine Stillsetzung erfolgen. 2V3 und 2V2 werden über das Steuerventil 2V1 angesteuert. Durch den Ausfall eines Ventils geht die Sicherheitsfunktion nicht verloren. Der Drucksensor 2S1 überwacht die Funktionsfähigkeit des Steuerventils 2V1. Die Ventile 2V2 und 2V3 sollten über eine Stellungsüberwachung verfügen oder, alternativ, regelmäßig in ihrer Funktion geprüft werden, um unentdeckte Fehler zu vermeiden. Durch eingesperrte Luft kann in diesem Beispiel eine Gefährdung ausgehen. Die bewährte sicherheitsgerichtete Beispielapplikation wird mit einem erreichten Performance Level von  $PL=e$  angegeben.[DGU17a]

Zur Festlegung des erreichten Performance Level PL wird der Schaltaufbau zum Positionieren des Reibrades der Station Bandsäge betrachtet.



[Ved20]

Abbildung 5.28: Pneumatikbeschaltung zur Positionierung des Reibrades B-Bandsäge

Der Zylinder wird über das 5/3 Wegeventil AC5271 positioniert. Dieses hat eine sperrende Mittelstellung als Ruhestellung, welche bei Verlust der Steuerspannung oder der Druckluft durch eine Feder immer mechanisch erreicht wird. Dieses Positionierventil ist vergleichbar mit dem Ventil 1V1 aus dem Applikationsbeispiel und ist als erste Sicherheitsfunktion anzusehen. Das erste sicherheitsgerichtete 5/2-Wegeventil (-A6-Q1) ist vergleichbar mit dem Ventil 2V1 des Beispiels. In der Applikation für das Positionieren des Drehantriebes in der Station Bandsäge sind die Rückschlagventile -R13 und -R14, welche vom Wegeventil -A6-Q1 geöffnet werden, mit den Ventilen 2V3 und 2V2 vergleichbar. Die Ventile im Beispiel und die Rückschlagventile -R13 und -R14 verhindern eine unkontrollierte Bewegung bei Verlust der Druckluft. Das sicherheitsgerichtete Wegeventil -A6-Q1 verfügt zudem über eine Schaltstellungsüberwachung, welche vergleichbar mit der Drucküberwachung 2S1 des Beispiels ist. Dieses Wegeventil ist als zweite Absicherung gegen eine gefahrbringende Bewegung anzusehen. Die im Beispiel beschriebene weiterhin bestehende Gefährdung durch eingesperrte Luft im Zylinder, wird in dieser Applikation durch das zweite sicherheitsgerichtete 5/2-Wegeventil -A6-Q2 und die Klemmkartusche auf der Zylinderachse abgewendet. Mit den Ventilen AC5271, -A6-Q1 und A6-Q2 sind drei unabhängige Sicherheitsmechanismen vorhanden, die eine redundante Gefahrenabwehr gewährleisten. Auf Grund der Gemeinsamkeiten zum Pneumatikplan des Beispiels, sowie die zusätzlichen Schutzeinrichtung über das Wegeventil -A6-Q2 ist der Pneumatikplan mit einem erfüllten Performance Level von  $PL = e$  auszuzeichnen. Dieses erreichte Performance Level gilt für alle pneumatischen Achsen, da jede Ansteuerung eines Zylinders gleich aufgebaut ist. Hiermit ist das in der Risikobewertung ermittelte erforderliche Performance Level von  $PL_r = c$  erfüllt.

Die Validierung der Hydraulik wird ebenfalls an einem bewährten Beispiel vorgenommen.

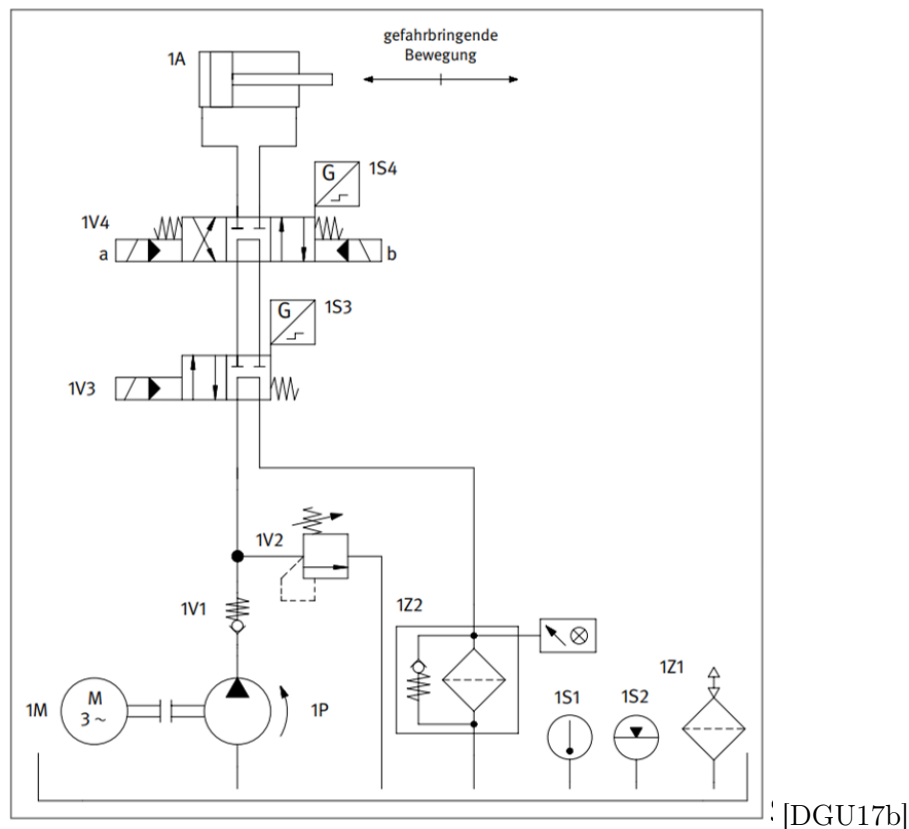


Abbildung 5.29: Bewährte hydraulische Beispielapplikation

Die zwei Wegeventile 1V3 und 1V4 steuern die gefährbringende Bewegung. Der Ausfall eines der Steuerventile führt nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion (zweikanalig/redundant). Die beiden Wegeventile sind mit einer Stellungsüberwachung versehen, weshalb ein Ausfall der Wegeventile erkannt werden kann. Bei einem erkannten Fehler wird das Einleiten einer gefährbringenden Bewegung verhindert. Dieses Applikationsbeispiel wird mit einem Performance Level von PL = e ausgezeichnet.[DGU17b]

Zur Validierung der hydraulischen Ansteuerung wird ein Ausschnitt aus der Ansteuerung der Bohrstation verwendet.

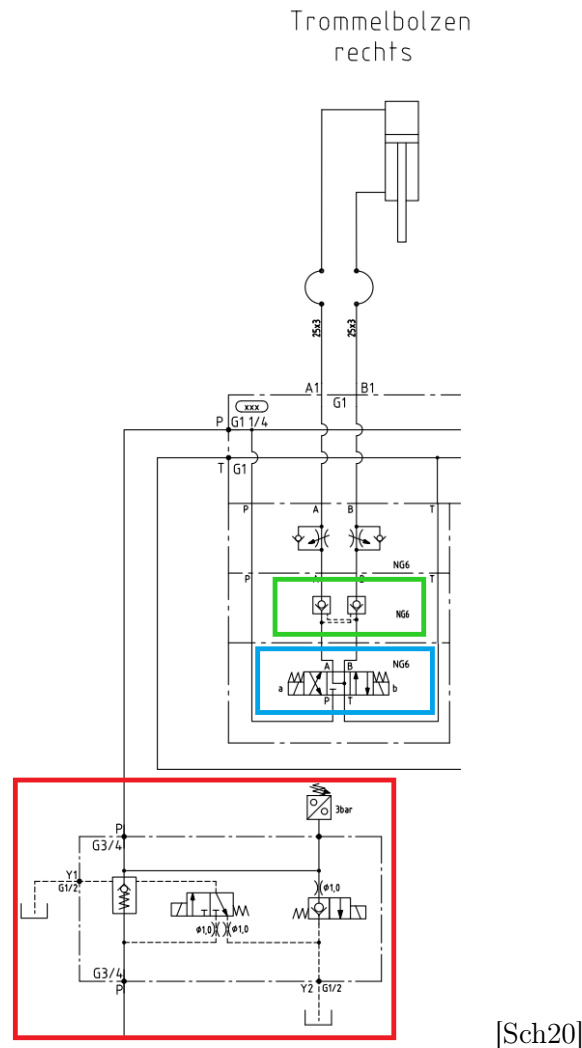


Abbildung 5.30: Hydraulische Ansteuerung Trommelbolzen rechts

Das blau umrandete 4/3 Wegeventil ist vergleichbar mit dem Ventil 1V4 aus dem Beispiel, und ist für die Steuerung der gefahrbringenden Bewegung zuständig. Das rot umrandete Ventil ist vergleichbar mit dem Ventil 1V3 des Beispiels. Dieses Ventil ist im Schaltaufbau der Anlage weniger an der Steuerung von gefahrbringenden Bewegungen beteiligt. Ähnlich wie das Ventil 1V3 steuert es die Versorgung des gefahrbringenden Wegeventils. Im Falle eines Verstoßes gegen die Safetybestimmungen des Bereiches, schaltet das rot umrandete Ventil die Zuleitung für den gesamten Bereich ab. Das blau umrandete Steuerventil schaltet gleichzeitig in die Mittelstellung, wodurch das Steuerventil gesperrt wird und ein Abbruch der gefahrbringenden Bewegung bewirkt wird. Das Zusammenspiel aus dem rot umrandeten und blau umrandeten Ventil stellte einen zweikanaligen (redundanten) Aufbau dar. Hierdurch ist beim Versagen eines der Komponenten die Sicherheitsfunktion für den Bereich der Bohrstation nicht gefährdet, ähnlich wie beim Zusammenspiel der Ventile 1V4 und 1V3 des Beispiels. Zudem sind die Zuleitungen zu

den Zylindern in der Anlage 1 mit Rückschlagventilen ausgestattet, wodurch beim Abschalten eines Ventils oder beim Verlust des Öldruckes ein zurücklaufen von Öl aus dem Zylinder verhindert wird. Hierdurch wird eine unkontrollierte Bewegung durch die Schwerkraft vermieden. In der Beispielapplikation ist eine solche Schaltkomponente nicht verbaut, da die verwendeten Ventile 1V4 und 1V3, durch die Sperrung beider Leitungen in dessen Ruhestellung, dieselbe Funktion erfüllen. Die Schaltungsrealisierung in der Anlage 1 unterscheidet sich darin, dass sie keine Schaltungserkennung der Ventile besitzt. Allerdings wird im Bereichsventil der aktuelle Druck erfasst, wodurch sich ein Grenzwert zur sicheren Abschaltung einstellen lässt. Wird dieser Grenzwert unterschritten, so wird die Breichsabschaltung durchgeführt. Aufgrund der fehlenden Schaltüberwachung, kann eine Fehlfunktion der Ventile erst später entdeckt werden, als es im Beispiel der Fall ist. Daher wird die Gestaltung der Hydraulik in der Anlage 1 mit einem erreichten Performance Level von  $PL=d$  klassifiziert. Hierdurch gilt die Abwendung einer Gefahr durch die Hydraulik, welche mit einem erforderlichen Performance Level von  $PL=c$  klassifiziert sind, als validiert.

Bei den vorhandenen sowie neu installierten Not-Halt-Geräten wird eine physikalische zweikanalige Abschaltung realisiert. Im Zusammenspiel mit der nachgelagerten Sicherheitssteuerung ist ein durchgängig redundanter Aufbau realisiert. Die Not-Halt Umsetzung kann daher mit einem erreichten Performance Level von  $PL = e$  ausgewiesen werden. Hierdurch gilt eine Abwendung einer Gefährdung durch die Anlage für den Automatik-, Hand- und Einrichtbetrieb als validiert.

Der Zustimmungstaster für den Einrichtbetrieb wird vom Hersteller Dolt mit einer erreichten Performance Level von  $PL=e$  ausgezeichnet.[DOL13] Aufgrund dessen und den dreistufigen zweikanaligen Tastern, die ein Verfahren beim Durchdrücken der Taster durch Erschrecken oder Schmerzen verhindern, gilt das erforderliche Performance Level von  $PLr = d$  als validiert.

Neben der Validierung der Hardware ist auch die Validierung der programmierten Software von entscheidender Bedeutung. Diese wird während der Inbetriebnahme und durch eine dritte dafür autorisierte Fachkraft durchgeführt. Die durchgeführte Validierung der Hardware wird zur Absicherung durch eine dritte, nicht in die Auslegung involvierte Person gegengeprüft.

Eine Vollständige Benutzerinformation wird gleichzeitig mit der Erstellung der Konfirmitäts-erklärung in Zusammenarbeit mit dem Kunden erstellt. Im Rahmen dieser Risikobetrachtung und Abwendung hat sich ein bestehendes Restrisiko für den Bereich der Zulegstation sowie für das Reinigen der Bandsäge ergeben. Neben dem bestehenden Restrisiko ist es zudem empfehlenswert, auf ein möglicherweise bestehendes gesundheitliches Restrisikos durch Stäube, Späne und Splitter hinzuweisen. Hierfür können zusätzlich entsprechende Warnschilder angebracht werden.



## 6 Softwareentwicklung

Im fortschreitenden Zeitalter der Digitalisierung, nimmt die Software eine immer wichtigere Rolle in der Produktion ein. Dabei werden an die Software unterschiedliche Anforderungen mit zunehmender Komplexität gestellt. Um spätere Fehler der Software (und damit die Minderung der Produktivität einer Maschine, Anlage oder ganzen Produktionsstandorten) vermindern zu können, ist es umso wichtiger, dass alle Anforderung an die Software bereits zu Beginn ihrer Entwicklung bekannt sind. Produzierende Unternehmen erstellen hierfür Lastenhefte, in denen klar formuliert wird, welche Anforderungen an ein System gestellt werden. Auf Basis des Lastenheftes erstellen die projektierenden Unternehmen ein Pflichtenheft, in dem aufgezeigt wird, wie und womit die Anforderungen des Auftraggebers umgesetzt werden.

Für die Softwareentwicklung dieses Retrofits der Anlage 1 zeigt das projektierte Pflichtenheft auf, welche Betriebsarten eine Software für welche Aufgaben umfasst und darüber hinaus, wie die grundlegende Mensch-Maschine-Schnittstelle(HMI) zu realisieren ist.

### 6.1 Die Betriebsarten

Die Anlage 1 soll durch das Retrofit-Projekt die drei Betriebsarten Automatikbetrieb, Handbetrieb und Einrichtbetrieb erhalten.

Im **Automatikbetrieb** sollen alle Bearbeitungsschritte einer jeden Station, unabhängig von den anderen Stationen durchführbar sein. Zudem soll eine Kommunikation zwischen den Stationen bestehen, in der die Übergaben der Flanschrohlinge selbstständig koordiniert werden. Der Automatikbetrieb soll dabei von jedem Bediener, unabhängig von seiner Bedienerenebene, über die HMIs auswählbar sein. Ein Automatikbetrieb darf nur aktivierbar sein, wenn alle Sicherheitsfunktionen der Anlage aktiv sind und wenn keine Gefährdung für das Werkstück und die Werkzeuge besteht.

Für den **Handbetrieb** soll jede verfahrbare Achse und jeder Motor über eine HMI bedienbar sein. Der Handbetrieb wird über die HMIs für jede Benutzerklasse aktivierbar sein. Die Positionierachsen werden über das HMI mit einem Tippbetrieb bedienbar sein. Neben dem Tippbetrieb sollen die Motoren über einen aktivierbaren Dauerbetrieb verfügen. Während des Handbetriebes sollen, wie auch beim Automatikbetrieb, alle Sicherheitsfunktionen der Anlage aktiv sein, müssen.



Die dritte Betriebsart, ist der **Einrichtbetrieb**. Hier werden motorisch angetriebene Achsen mit einer Fernbedienung verfahrbar sein. Mit Hilfe der Fernbedienung können einzelne Achsen der Anlage für Wartungsarbeiten verfahren werden, während der Bediener in der Anlage steht. Der Einrichtbetrieb kann nur von einem Benutzer höherer Benutzerklasse über das HMI aktiviert werden. Im Bereich der Anlagensicherheit werden nur sicherheitsgerichtete Lichtgitter, sowie Lichtschranken und Not-Halt Taster aktiviert sein. Die sicherheitsgerichteten Türen können dabei ohne Einschränkung geöffnet werden. Die auswählbaren Achsen werden in dieser Betriebsart nur mit einer sicheren Geschwindigkeit verfahren (vgl. Kapitel 5.2.2.9).

## 6.2 Die eingesetzte Entwicklungsumgebung

Die Software wird im Hause RK-Automation im Totally Integrated Automation Portal(TIA-Portal) der Firma Siemens entwickelt. Die Firma Siemens bietet mit dem TIA-Portal eine Komplettlösung für die Programmierung und Inbetriebnahme von Anlagen und Maschinen jeglicher Art. Beim Programmieren mit dem TIA-Portal kann auf zahlreiche Zusatzprogramme zurückgegriffen werden, die neben dem Programmieren einer SPS, die Parametrierung und Steuerung von Antrieben, das Erstellen von Anlagenvisualisierungen und die Simulationen von Anlagen mit nur einer Programmierungsumgebung ermöglichen.

Für die Umsetzung der Software des Retrofit-Projektes wird das TIA-Portal in seiner Version V15.1 eingesetzt. Für die Parametrierung und Inbetriebnahme der SINAMICS Frequenzumrichter S120 und G120 wird das TIA-Portal mit SINAMICS Startdrive V15.1 erweitert. Eine Umsetzung der HMI nach Kundenwunsch erfolgt mit WINCC Advanced des TIA-Portals V15.1. Um Fehler in der Programmierung und Visualisierung schon während der Softwareentwicklung erkennen zu können, wird das Programm in regelmäßigen Abständen mit Hilfe von PLC SIM Advanced des TIA-Portals simuliert. Die Simulationen und frühe Erkennung von Fehlern kann die spätere Inbetriebnahmezeit der Anlage deutlich verkürzen.

## 6.3 Die Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wurde auf Basis der im Pflichtenheft formulierten Grundanforderungen und im ständigen Dialog mit dem Kunden entwickelt. Es wurde zudem im Rahmen der Ermittlung des Anlagenzustandes ein Kontextinterview mit Anlagenbedienern geführt, um zu erfassen, welche Aufgaben über das jetzige HMI verrichtet werden und welche Besonderheiten zu berücksichtigen sind.[VDI14] Dabei ist besonders die umständliche Bedienung der Anlage für ungeübte Anlagenführer, sowie ein teilweise erhöhtes Alter der Bediener, was insbesondere in der Gestaltung der Grafikelemente zum tragen kommt, aufgefallen. Eine möglichst eindeutige Bedienerführung, die auch eine selbstsichere Bedienung von technisch weniger versierten Anlagenführern ermöglicht, wird geachtet. Hierbei werden sich bekannte Navigationsmethoden der jetzigen Anlagenbedienung in der neuen Anlagenbedienung wiederfinden, wodurch eine Eingewöhnung auf das neue Bedienkonzept erleichtert werden soll.

Die Grundbasis für das HMI Design der Anlage bildet das HMI Templat Suite für TIA V15.1 der Firma Siemens, welche im Rahmen des Projektes stark verändert wurde. Durch den Einsatz der TIA Template Suite für TIA V15.1 bietet das HMI neben einem modernen Grunddesign, eine umfangreiche Diagnosemöglichkeit anderer Anlagenteilnehmer, welche sonst nur über ein Programmiergerät möglich wäre.[Sie19c]

### 6.3.1 Darstellung der Anlagenübersicht

Bei der Gestaltung des HMIs wurde darauf geachtet, dass möglichst wenige Schaltflächen vorhanden sind, um Bediener nicht durch zu vielen Auswahlmöglichkeiten zu überfordern. Zudem verfolgt dieser Ansatz, dass Bediener ohne großen Überlegungsaufwand intuitiv die richtige Entscheidung für die Bedienung der Anlage treffen können.

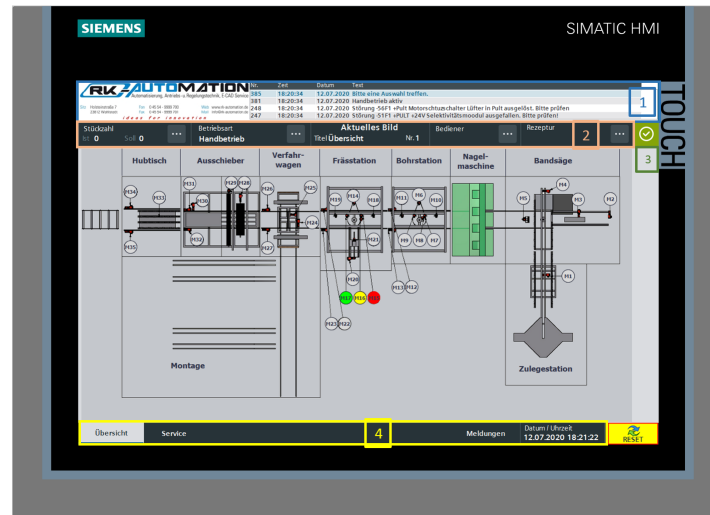


Abbildung 6.1: Übersichtsbild HMI

Neben der geringen Auswahlmöglichkeiten auf dem HMI wird ein Bediener kontinuierlich durch eine aktive Benutzerführung über die Meldeanzeige(1) (Abbildung 6.1) unterstützt. Es entstehen somit keine Situationen, in denen der Bediener nicht weiß was zu tun ist. Die Toolbar(2) stammt aus der HMI Template Suite Vorlage und wurde auf die Anforderungen der Anlage angepasst. Über diese Toolbar können durch den Benutzer die wesentlichen Informationen, wie die Stückzahl der produzierten Flansche, den aktuellen Betriebsmodus der Anlage, das aktuell geöffnete HMI-Bild, den aktuell angemeldeten Bediener, sowie das aktuell ausgewählte Rezept auf jedem HMI-Bild übersichtlich und ohne zusätzlichen Aufwand eingesehen werden. Neben der Toolbar befindet sich eine Anzeige(3), welche den aktuellen Zustand der Anlagenperipherien widerspiegelt. Diese Anzeige wird grün mit einem weißen Haken, wenn alle Teilnehmer im Netzwerk der Anlage erreichbar sind und diese keine Warnungen oder Fehler beinhalten. Liegen Warnungen bei Peripherien vor, ändert sich die Farbe der Anzeige in Gelb mit einem weißen Ausrufezeichen. Bei Fehlern oder Verlusten von Anlagenteilnehmern färbt die Anzeige sich rot und erhält ebenfalls ein weißes Ausrufezeichen.

Unter der Toolbar(2) befinden sich die Hauptbedienelemente. Hierfür wurde die Anlagenübersicht in das HMI eingebunden. Durch den Touchmonitor des TP1200 Panels kann durch Fingerdruck auf die jeweilige Station oder deren Bezeichnung in die Teilstationen navigiert werden. Darüber hinaus kann in diesem Bereich auf einem Blick der Zustand aller Antriebe eingesehen werden. Diese färben sich grün, wenn die jeweiligen Motoren eingeschaltet sind. Lie-

gen an Motoren Warnungen oder Störungen vor, so färben sich diese gelb oder rot. Die untere Toolbar(4) der HMI verfügt über die Schaltflächen Übersicht, Service und Meldungen. Mit Hilfe der Übersichtstaste gelangt man von jedem Bild des HMIs wieder auf die Anlagenübersicht. Unter dem Reiter Service können zusätzliche Dienste in Anspruch genommen werden, wie das Aktivieren eines Reinigungsbildes und das Verstellen der HMI Helligkeit, der Uhrzeit und des Datums. Über die Resettaste im unteren rechten Rand wird die gesamte Anlage bei Störungen zurückgesetzt und die Anlage kann wieder mit einem Prozess beginnen.

### 6.3.2 Die Benutzer

Für die Bedienung der Anlage werden zwei Benutzer, der Admin und der Bediener definiert. Für den regulären Betrieb der Anlage wird der Bediener verwendet. Dieser hat nur für die Produktion notwendige Bedienberechtigungen. Für erweiterten Zugriff auf die Anlagenparameter wird der Admin verwendet. Dieser wird nur durch die technische Leitung der Firma August Hildebrandt GmbH sowie durch Servicetechniker der Firma RK-Automation e.K. genutzt.

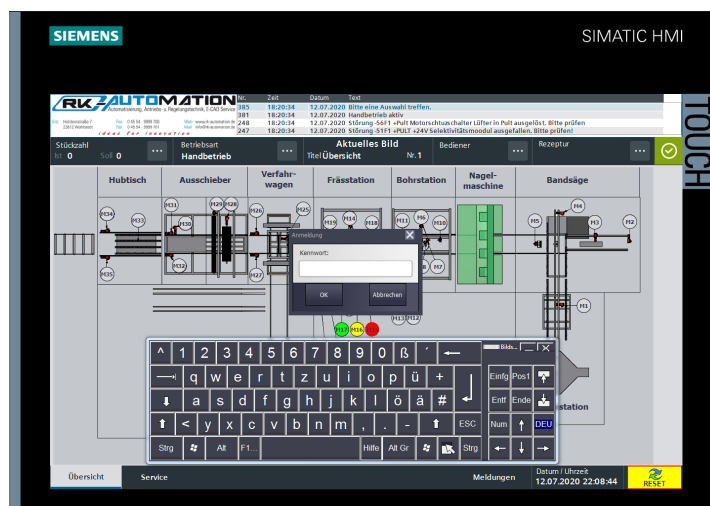


Abbildung 6.2: Anmeldefenster für die Benutzer

Um die Anmeldung zu vereinfachen, reicht es, wenn nur die jeweiligen Passwörter für die Benutzerkonten eingegeben werden.

### 6.3.3 Die Navigation

Für die Auswahl einer Teilstation genügt, wie aus Kapitel 6.3.3 bekannt ist, ein einfacher Fingerdruck auf die jeweilige Station. Das Navigieren in eine Teilstation ist nur während des Hand- oder Einrichtbetriebes möglich.

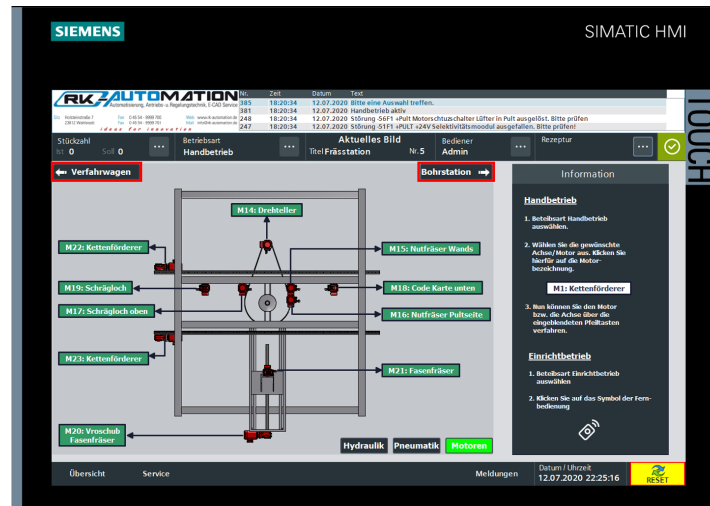


Abbildung 6.3: Ansicht der Teilstation E-Frässtation

Jede Station verfügt über zusätzliche Navigationselemente (in Abbildung 6.3 rot umrandet), mithilfe derer von einer Station zur nächsten navigiert werden kann. Diese Navigation wurde dem aktuell verwendeten OP27 (siehe Kapitel 3.1.6) nachempfunden, was neben einer Vereinfachung der Navigation gerade zum Beginn eine Vertrautheit für den Bediener mit der neuen Anlagenbedienung erzeugen soll. Über die untere linke Übersichtstaste kann sofort wieder die Anlagenübersicht erreicht werden.

### 6.3.4 Der Automatikbetrieb

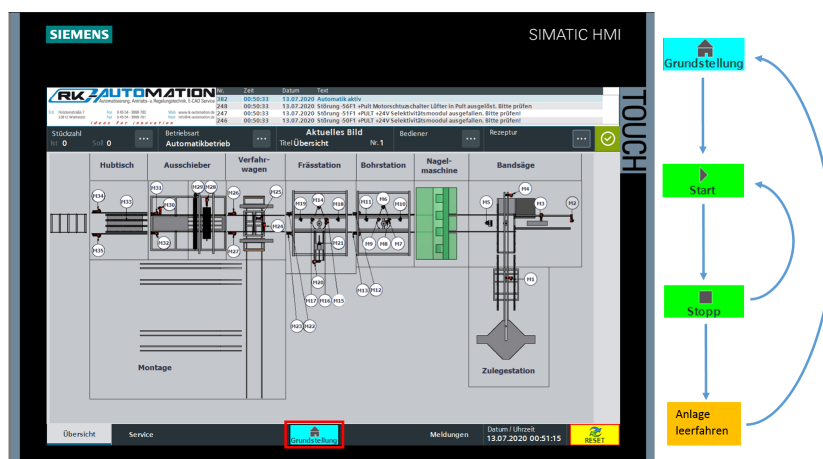


Abbildung 6.4: Ansicht für Automatikbetrieb

Ist der Automatikbetrieb ausgewählt, so erweitert sich die untere Toolbar um die Schaltfläche „Grundstellung“. Hierüber wird zu Beginn des Automatikbetriebes eine Grundstellungsfahrt aller Werkzeuge durchgeführt, wodurch eine Beschädigung von den Werkzeugen ausgeschlossen werden kann. Ist dieses erfolgreich und fehlerfrei durchgeführt erscheint die grün blinkende Schaltfläche „Start“ und signalisiert dem Bediener, dass der Automatikbetrieb nun gestartet

werden kann. Wird der Automatikbetrieb gestartet, so wechselt die grün blinkende Schaltfläche „Start“ in die grün leuchtende Schaltfläche „Stopp“. Wird ein Stopp des Automatikbetriebes ausgewählt, so erhält der Benutzer zwei Folgeauswahlmöglichkeiten: Zum einen kann der Automatikbetrieb über die Schaltfläche „Start“ direkt wieder fortgeführt werden oder es können über die Schaltfläche „Anlage leerfahren“ die letzten noch in der Anlage befindlichen Flansche fertig bearbeitet werden, wobei keine weiteren Flanschrohlinge mehr der Anlage zugeführt werden können (vgl. Abbildung: 6.4).

### 6.3.5 Der Handbetrieb

Durch die Auswahl des Handbetriebes können einzelnen Achsen im Tipp- oder Dauerbetrieb über eine individuelle Schalttafeln verfahren werden.

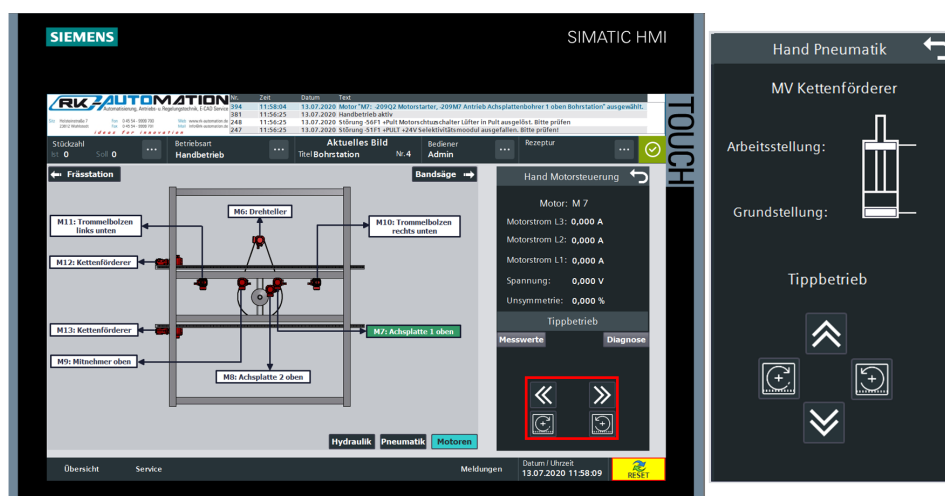


Abbildung 6.5: Ansicht für Handbetrieb

Bei aktiviertem Handbetrieb wird der Bediener über die obere Meldetextanzeige aufgefordert, eine Auswahl zu treffen. Alle auswählbaren Achsen blinken zudem grün (vgl. Abbildung 6.3). Bei der Auswahl der Achsen hat der Bediener auch die Möglichkeit, über die unteren drei Button zwischen motorisch, pneumatisch und hydraulisch angetriebenen Achsen zu wählen. Diese Aufteilung soll ein Überladen der Teilstationen und damit ein überfordern des Anwenders verhindern. Wird, wie in Abbildung 6.8, eine Achse ausgewählt, so leuchtet nur noch diese dauerhaft grün und alle anderen stellen ein blinken für die Dauer der Auswahl ein. Durch die Auswahl einer Achse, erscheint ein Popup-Bild mit Steuertafel und Überwachungsfenster für die Achse. Müssen erweiterte Diagnosemeldungen sowie Messwerte eingesehen werden, so kann das durch einen Admin über die Schaltflächen „Messwerte“ und „Diagnose“ des Popup-Bildes erfolgen. Zum Verfahren einer motorisch angetriebenen Achse erhält der Anwender zwei verschiedenen Steuerarten (in Abbildung 6.8 rot umrandet). Mit den Pfeiltasten kann eine Achse tippweise oder für die Dauer eines Tastendruckes verfahren werden. Mit den Schaltflächen unterhalb der Pfeile kann eine Achse auf Dauerbetrieb geschaltet werden. Wird ein Popup-Bild geschlossen, so wird die Auswahl zurückgesetzt und alle Schaltflächen blinken wieder.

Das zweite Popup-Bild in Abbildung 6.8 zeigt eine Steuertafel mit angepasstem Überwachungsfenster einer pneumatischen oder hydraulischen Achse. Über die Pfeiltasten kann eine betreffende Achse zwischen Grund- und Arbeitsstellung verfahren werden. Wird eine der Endlagen erreicht, so leuchtet der jeweilige Balken in der Zylinderdarstellung des Popup-Bildes grün. Ist ein Zylinder in der Anlage umgekehrt eingebaut, so ändert sich auch die Darstellung im Überwachungsfenster, damit kein Umdenken des Bedieners für das händische Verfahren erforderlich ist. Über die beiden Tasten zwischen den Pfeiltasten kann ein Motor direkt aus der Steuertafel der hydraulischen oder pneumatischen Achsen in Dauerbetrieb geschaltet werden. Hierdurch, wodurch ein Wechsel in die Steuertafeln der motorsichen Achsen nicht notwendig wird.

## 6.4 Der Einrichtbetrieb

Für die Realisierung des Einrichtbetriebes wurde eine ähnliche Vorgehensweise entwickelt.

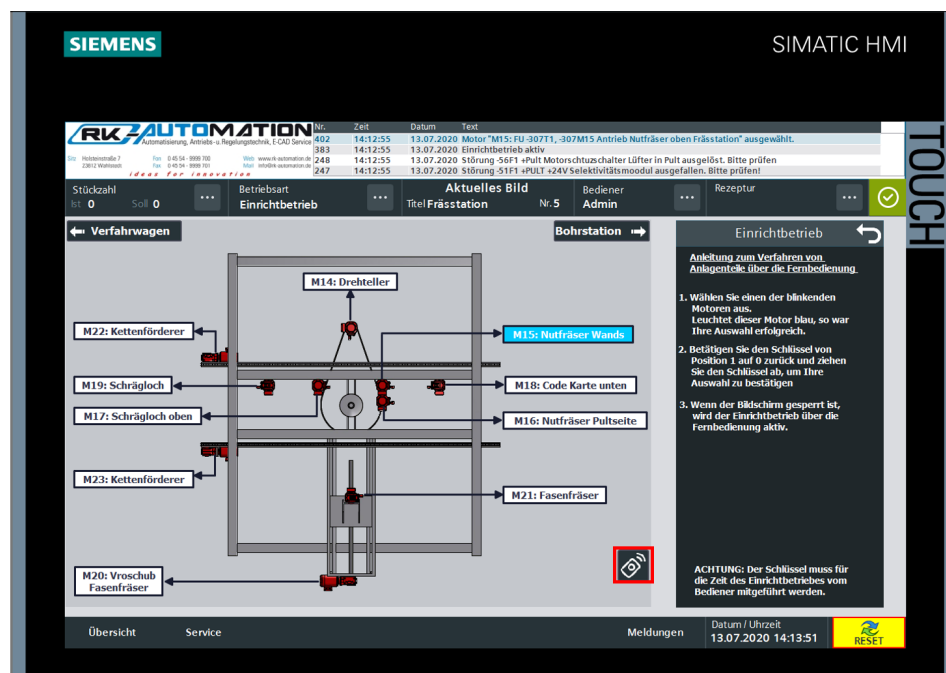


Abbildung 6.6: Ansicht für Einrichtbetrieb

Durch die Auswahl der Betriebsart „Einrichtbetrieb“ erscheint im unteren rechten Rand der Teilstationsdarstellung eine Fernbedienung. Das Betätigen der Fernbedienung erzeugt im rechten Bereich ein Popup-Bild, welches Informationen zu dem Einrichtbetrieb enthält. Im Einrichtbetrieb blinken alle auswählbaren Achsen blau, was den Bediener visuell dabei unterstützen soll, eine Auswahl zu treffen. Ist eine Achse ausgewählt, so leuchtet diese dauerhaft blau. Eine ausgewählte Achse ist erst dann mit einer Fernbedienung verfahrbar, wenn über einen externen Schlüsselschalter die Auswahl bestätigt wurde. Ist die Auswahl bestätigt, werden beide HMIs gesperrt, bis diese mit dem Schlüsselschalter erneut wieder freigegeben wurden. Darüber hin-

aus wird mit der Freigabe der HMIs die ausgewählte Achse zurückgesetzt und das Verfahren über die Fernbedienung verriegelt. Wird eine Auswahl durch den Schlüsselschalter bestätigt, muss der Schlüssel abgezogen werden und vom Bediener der Fernbedienung mitgeführt werden. Durch Bestätigung der Auswahl und Verriegeln der HMIs über einen Schlüsselschalter soll vermieden werden, dass die Auswahl einer Achse durch Dritte geändert wird und unvorhersehbare Bewegungen eintreten, die einen in der Anlage stehenden Bediener gefährden könnte. Für das Verfahren der Achsen kommt hier der DOLD SAFEMASTER W zum Einsatz.

### 6.4.1 Rezeptur

Für dieses Projekt wurde auf Kundenwunsch eine individuelle Rezeptstruktur entwickelt.

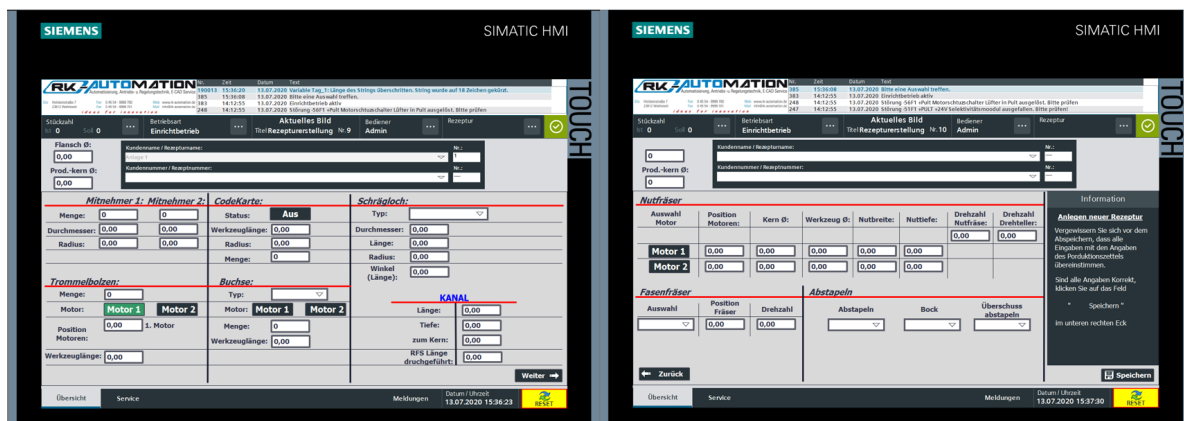


Abbildung 6.7: Ansicht der Rezeptur

Diese Rezeptstruktur wurden dem Produktionszettel der der Firma August Hildebrandt GmbH nachempfunden. Ein Bediener kann durch verschiedene Eingaben die Bohr- und Frässvorgang individuell anpassen.



### 6.4.2 Die Meldungen und Diagnose

Die Meldungen und Diagnosen unterstützen den Anlagenbediener bei der Interaktion mit der Anlage.

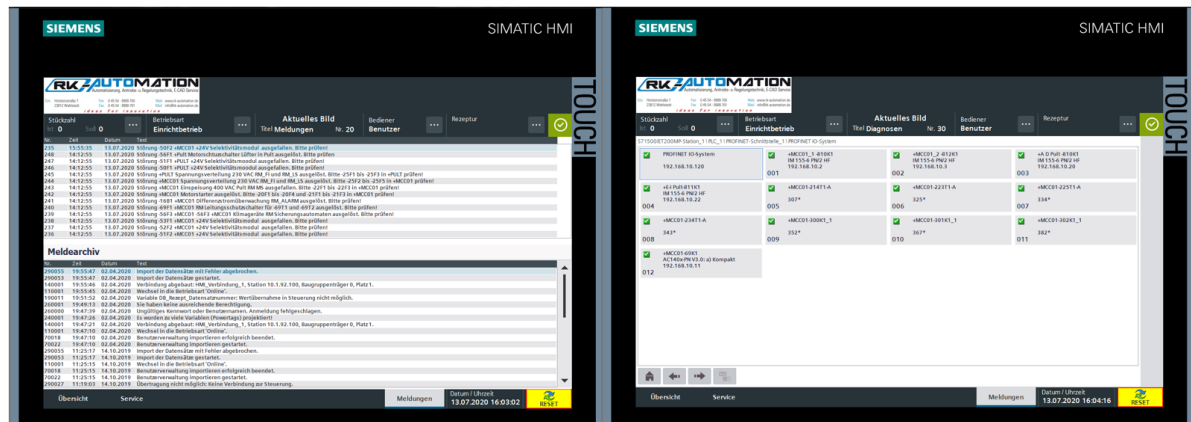


Abbildung 6.8: Ansicht der Meldungen und Diagnose

Mit Hilfe der Meldungen erhält der Bediener Informationen über Störungen oder Handlungs-aufforderungen. Müssen beim Bedienen der Anlage vergangene Meldungen eingesehen werden, so kann über die Schaltfläche „Meldungen“ der unteren Toolbar der Meldeverlauf eingesehen werden. Eine typische Meldung in der Anlage ist wie folgt aufgebaut,

Störung -51F2 +MCC01 +24V Selektivitätsmodul ausgefallen. Bitte prüfen!

Die Meldungen sind für eine schnelle Behebung von Fehlern konzipiert. Durch die Angabe der Betriebsmittelkennzeichnung “-51F2” kann zum einen die Peripherie am Einbauport schnell erkannt werden, zum anderen weiß ein Bediener, dass die Peripherie auf der Schaltplanseite 52 gezeichnet ist. Die Angabe “+MCC01” meldet dem Bediener den Verbauungsort in der Anlage und in welchem Schaltplan sich die Peripherie befindet. “+MCC01” steht in diesem Fall für den Schaltschrank. Zuletzt erhält der Bediener mit dem Text, “+24V Selektivitätsmodul ausgefallen. Bitte prüfen!”, den eigentlichen Störungsgrund sowie eine spezifische Handlungsanweisung.

Der Diagnosebereich des Anlagennetzwerkes kann nach Abbildung 6.1 über den grünen Haken im rechten oberen Rand erreicht werden. In der Diagnoseübersicht werden alle Teilnehmer des Anlagennetzwerkes aufgelistet. Weist eine Peripherie nun eine Störung auf oder geht ihre Verbindung zum Netzwerk verloren, so wird diese rot angezeigt. Des Weiteren kann der Diagnosespeicher der Peripherien über das HMI ausgelesen werden.

## 6.5 Das Steuerungsprogramm

### 6.5.1 Die Strukturierung

Zu Beginn der Anlagenprogrammierung wurde überlegt, wie das Programm sinnvoll strukturiert werden kann, damit bei späteren Serviceeinsätzen die Anlagenstillstandszeit so kurz wie möglich ausfällt.



Abbildung 6.9: Gruppierung der Ein- und Ausgänge

Dabei wurde für die Realisierung des Anlagenprogramms die Ordnerstruktur nach Abbildung 6.9 für die Projektnavigation im TIA-Portal erstellt. In jedem Ordner befinden sich die Teilprogramme für die drei Betriebsarten und die initiale Grundstellungsfahrt. Bei dem Findungsprozess einer sinnvollen Programmstruktur wurden die Stationen A-Zulegestation und B-Bandsäge und der hintere Anlagenabschnitt mit den Stationen F-Verfahrwagen, G-Ausschieber und H-Hubtisch zusammengefasst. Die Stationen A-Zulegestation und B-Bandsäge werden im Programm zusammengefasst, da keine klare Abgrenzung zwischen den beiden Stationen möglich ist. Dieses beruht darauf, dass beide Stationen den Antrieb der Pinole oben als Transportmedium des Flansches beanspruchen. Für eine klare Abgrenzung der Programme müsste mit Handshake Kriterien für den Antrieb der Pinole oben zwischen den zwei Stationen gearbeitet werden. Da aber beide Stationen nur einen sehr geringen Programmieraufwand benötigen, wurden sie zusammengefasst, da ein Arbeiten mit Handshakes keine Vorteile in der Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit des Programms böte. Die Stationen F-H wurden für die Programmierung zusammengefasst, um eine möglichst einfache Umsetzung der drei Ausschleusungsvarianten, nur Abstapeln über Hubtisch, nur in Montage verfahren und in Montage verfahren mit Abstapeln eines entstandenen Überschusses, realisieren zu können. Eine Trennung der jeweiligen Stationen würde einen erhöhten Einsatz von Handshakes benötigen, was bei späteren Fehlern im Programm und bei Serviceeinsätzen eine gewisse Zeit der Nachvollziehbarkeit benötigt, welche zu einer Verlängerung der Anlagenausfallzeit führen kann.

Neben der Programmstruktur werden auch die Ein- und Ausgänge gruppiert erfasst

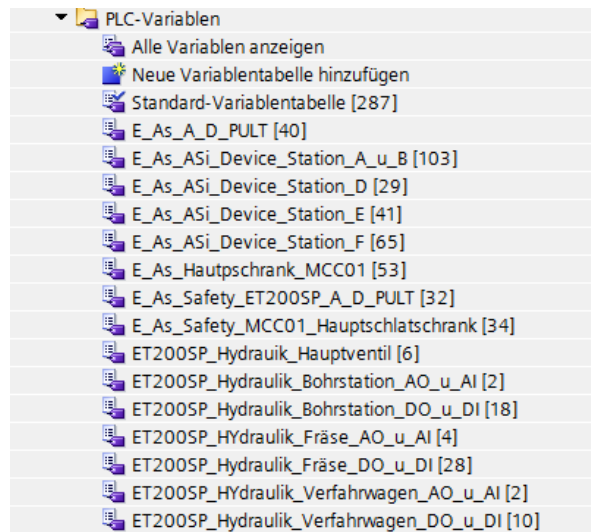


Abbildung 6.10: Gruppierung der Ein- und Ausgänge

Die Gruppierung der Ein- und Ausgänge orientiert sich, für eine bessere Nachvollziehbarkeit, am Aufbau des Schaltplans. Hier ist eine Einteilung nach Abbildung 6.10 entstanden. Mit E\_As\_A\_D\_Pult und E\_As\_Hauptschlagschrank\_MCC01 werden die digitalen Ein- und Ausgänge der Interfacemodule ET200SP nach dem Aufenthaltsort der Interfacemodule gruppiert. Hierbei wurden die fehlersicheren Ein- und Ausgänge der Interfacemodule von den nicht fehlersicheren getrennt erfasst, um die Übersichtlichkeit bei einer späteren Fehlerermittlung und Erweiterungen zu erhöhen. Wie aus Kapitel 4.2.4 bekannt, werden die Sensoren und pneumatischen Aktoren über AS-i Bus ausgelesen bzw. angesteuert und im Programm als E\_As\_ASi\_Device\_Station nach ihren Stationen gruppiert. Darüber hinaus werden die Ansteuerungen der hydraulischen Aktoren nach ihren Stationen gruppiert, da diese über ein eigenes Interfacemodul ET200SP realisiert wurden.

## 6.6 Die Programmumsetzung

### 6.6.1 Automatikbetrieb

Die Umsetzung des Automatikbetriebes erfolgt für jeden Anlagenabschnitt nach den Vorgaben des Pflichtenheftes mit GRAPH. GRAPH bietet für die Realisierung des Automatikbetriebes den großen Vorteil, dass ein aktuell ausgeführter Schritt grafisch gekennzeichnet ist. Hierdurch unterstützt Graph aktiv den Anwender in der Nachvollziehbarkeit des ausgeführten Prozesses und beim Finden von Fehlern in den Prozessen. Bei dieser Anlagensoftware werden zu Beginn einer jeden Schrittkette alle gesetzten Variablen zurückgesetzt.

Interlock	Ereignis	Kennung	Aktion
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M14_E_Frässstation_Drehteller_rechts
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M14_E_Frässstation_Drehteller_links
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M15_E_Frässstation_Nutfräser_Wandseite_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M16_E_Frässstation_Nutfräser_Pultseite_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M17_E_Frässstation_Schräglloch_oben_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M18_E_Frässstation_Code_Karte_unten_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M19_E_Frässstation_Schräglloch_unten_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M20_E_Frässstation_Fasenfräser_in_GS_verfahren
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M21_E_Frässstation_Fasenfräser_ein/aus
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M22_E_Frässstation_Kettenförderer_Richtung_Verfahrwagen_verfahr
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M22_E_Frässstation_Kettenförderer_Richtung_Bohrstation_verfahr
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M23_E_Frässstation_Kettenförderer_Richtung_Verfahrwagen_verfahr
		R	"DB0004_Schrittkette".Motoren.M23_E_Frässstation_Kettenförderer_Richtung_Bohrstation_verfahr
		R	"DB0004_Schrittkette".Pneumatik.MV_E_Frässstation_Kettenförderer_heben
		R	"DB0004_Schrittkette".Pneumatik.MV_E_Frässstation_Kettenförderer_senken
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Niederhalter_Finole_runter
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Niederhalter_Finole_hoch
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Nutfräser_Pultseite_runter
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Nutfräser_Pultseite_hoch
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Codierfräse_runter
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Codierfräse_hoch
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Schrägllochfräse_oben_runter
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Schrägllochfräse_oben_hoch
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Schrägllochfräse_unten_runter
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Schrägllochfräse_unten_hoch
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Proportionalventil_Vorranschub_unten
		R	"DB0004_Schrittkette".Hydraulik.MV_E_Frässstation_Proportionalventil_Vorranschub_oben

Abbildung 6.11: Initialschritt der Schrittketten

Mit dem Zurücksetzen aller Variablen, die im Laufe einer Schrittkette gesetzt werden, kann gewährleistet werden, dass alle Schritte nach einem Absturz sauber zurückgesetzt werden, wodurch keine undefinierten Zustände beim Neustart der Schrittketten entstehen können.

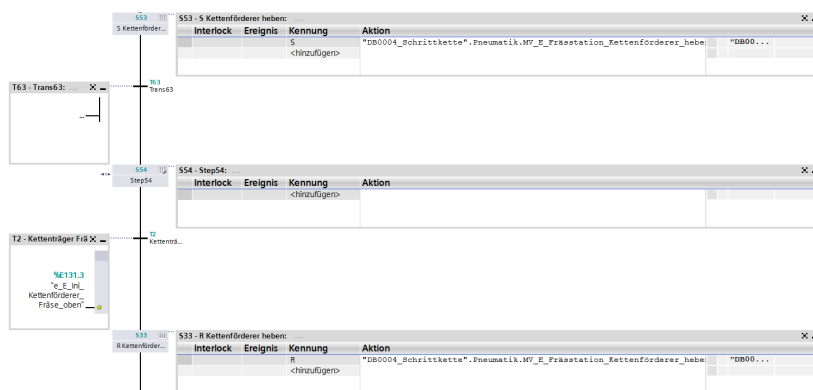


Abbildung 6.12: Schrittanweisung in einer Schrittkette

Abbildung 6.12 zeigt exemplarisch anhand der Positionierung des Kettenförderers in der Station E-Frässstation, wie die Automatikschrittkette für die Anlage umgesetzt wurde. Bei der Programmierung der Automatikschrittketten wurde auf eine konsequente Struktur geachtet, die eine schnelle Nachvollziehbarkeit der Programmstruktur ermöglicht, ohne die einzelnen Schritte und Transitionen auffächern zu müssen. Hierbei wurden die einzelnen Schritte so be-

nannt, dass bereits im geschlossenen Zustand erkennbar ist, welche Vorgänge die Schritte im Programm anstoßen. Schritte die nicht benannt wurden beinhalten keine Anweisungen. Ähnlich wie bei den Schritten wurden auch die Transitionen so benannt, dass direkt erkennbar wird, welche Bedingungen sie zum Beenden eines Schritte setzen.

In der Schrittkette wird für die Transitionen eine sogenannte Supervision definiert.

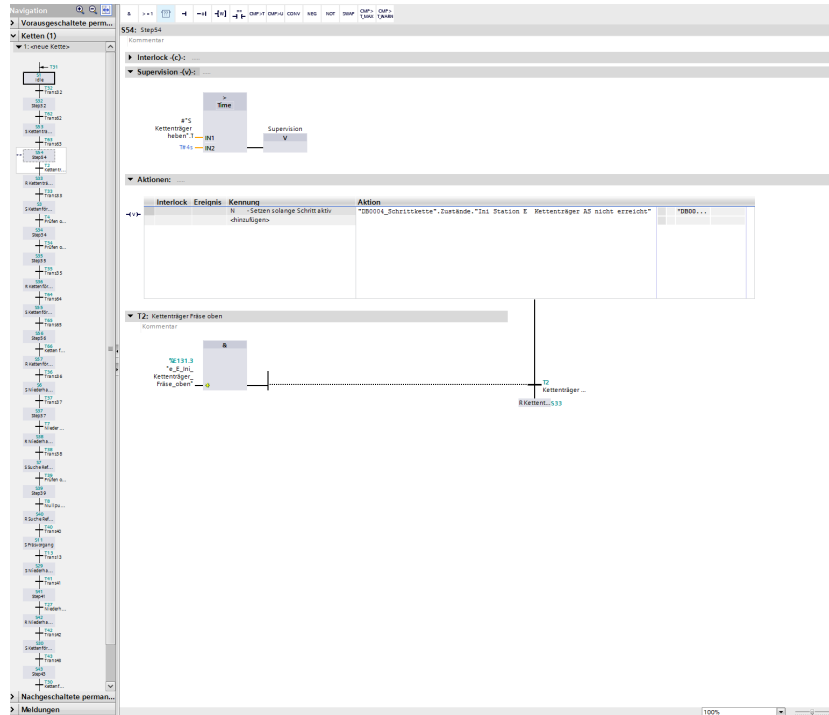


Abbildung 6.13: Supervision in einer Schrittkette

Mit den definierten Supervisionen wird abgefragt, wie lange der Schritt zum Heben des Kettenförderers aktiv ist. Wenn der Schritt länger als 4 Sekunden aktiv ist, hat die nachfolgende Transition kein Erreichen der Endlage gemeldet, um den Schritt zu beenden. In diesem Falle geht eine Meldung raus, dass die Endlage des Kettenförderers nicht erreicht wurde und eine Prüfung des Inis erfolgen sollte. Da dies nicht automatisch vom Programm erkannt wird, können undefinierte Zustände in der Schrittkette entstehen bei denen die Anlage einfach stehen bleibt. Mithilfe der definierten Supervision kann das umgangen werden.

#### 6.6.1.1 Der Hand- und Einrichtbetrieb

Aus Kapitel 6.1 ist bekannt, dass die Anlage neben dem Automatikbetrieb, auch einen Hand- und Einrichtbetrieb erhalten soll. Der Hand- und Einrichtbetrieb wurde in der Anlage gemeinsam mit der Anbindung der Schrittkettenvariablen an die Aktorenbausteine realisiert.

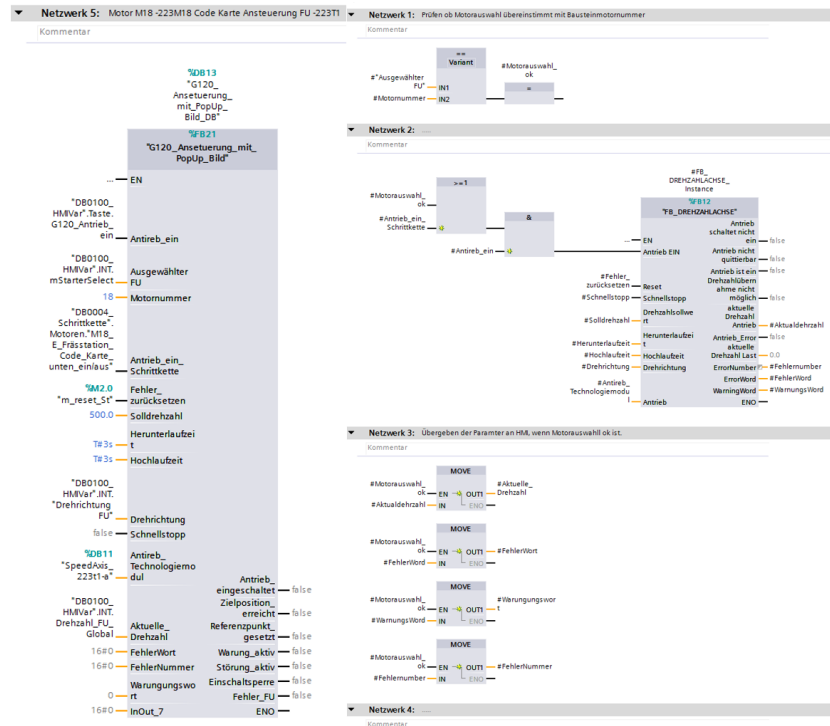


Abbildung 6.14: Realisierung von Hand- und Einrichtbetrieb

Für die Realisierung des Hand- und Einrichtbetriebes werden für jede vorhandene Achse, Bausteine nach Abbildung 6.14 verwendet. Den Bausteinen werden für die Aktivierung im Hand- und Einrichtbetrieb eine Motornummer entsprechend ihrer Nummerierung vergeben. Wird ein Motor über die Schaltflächen im HMI ausgewählt, so erhält die Variable „DB0100\_HMIVar.INT.mStarterSelect“ einen Wert entsprechend der Motornummer des ausgewählten Motors. Im Inneren eines jeden Bausteins werden der Wert der Motornummer und der der ausgewählten Achse verglichen. Wenn beide Werte identisch sind, dann ist ein FU, Motorstarter oder Zylinder für das Verfahren aktiv. Für den Automatikbetrieb besitzt jeder Baustein zusätzliche Eingänge für die Steuerung der Achsen aus der Schrittkette.

### 6.6.2 Der Bohrvorgang

Beim Bohrvorgang besteht die besondere Anforderung, dass alle Bohrungen binnen einer vollständigen Umdrehung des Flanschrohlings abgearbeitet werden.

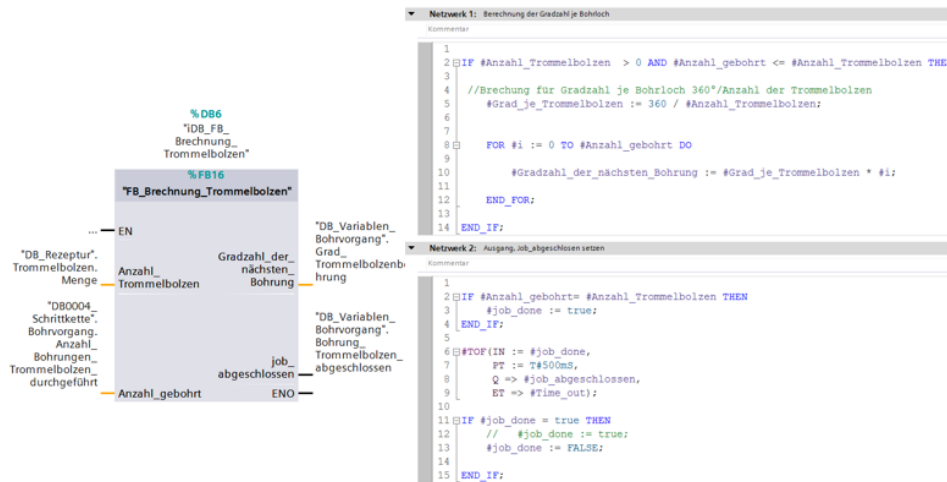


Abbildung 6.15: Berechnung Gradzahl je Trommelbolzenbohrung

Hierfür wurden für die Trommelbolzen, dem Mitnehmer und der Achsplatte eigene Funktionsbausteine nach Abbildung 6.15 programmiert. Es werden die Gradzahlen je Bohrung für die bohrenden Werkzeuge in Abhängigkeit der bereits erfolgten Bohrungen berechnet. Die errechneten Gradmaße werden als Zielposition an die positionierenden Achsen für den nächsten Positioniervorgang übermittelt. Der Ausgang „job\_abgeschlossen“ wird gesetzt, wenn die Anzahl der gebohrten Trommelbolzen der Sollanzahl der Trommelbolzen aus der Rezeptur entspricht. Dieser Ausgang wird für 500ms gesetzt, da er zum Zurücksetzen des Zählers der gebohrten Löcher sowie zum Setzen eines Merkers verwendet wird, welcher als Abbruchbedingung der Bohrschritt-kette dient.

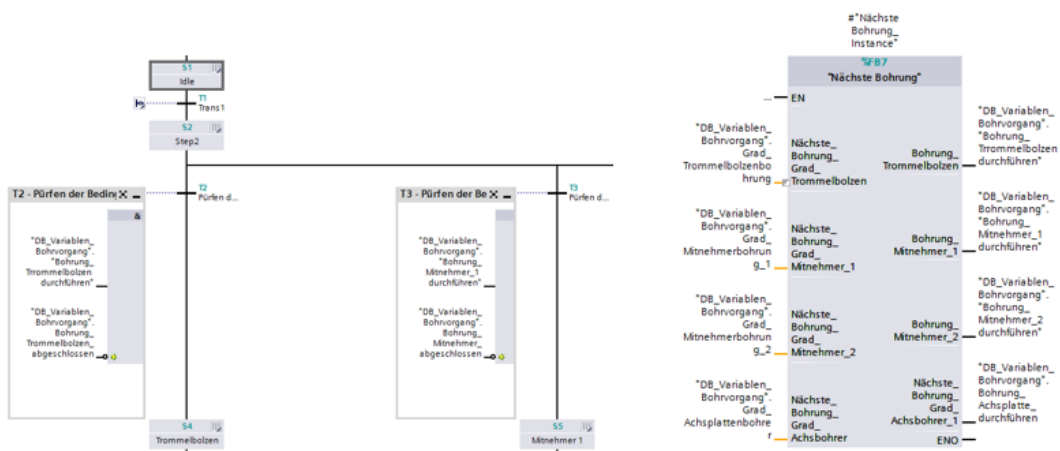


Abbildung 6.16: Vergleich der Gradmaße von Bohrungen

Mit dem Funktionsbaustein „Nächste Bohrung“ in Abbildung 6.16 werden die zuvor errechneten Gradmaße verglichen. Das Werkzeug, welches den geringsten Gradmaß für die nächste Bohrung besitzt, wird über die Ausgänge des Bausteins aktiviert. Das geringste Gradmaß wird dabei an die Positionierachse übergeben. Über die am Ausgang des Bausteins gesetzte Variable wird die Bohrung in der Schrittkette aktiviert, sofern noch nicht alle erforderlichen Bohrungen erfolgt sind. Hierdurch kann erreicht werden, dass alle Bohrungen binnen einer vollständigen Umdrehung erfolgen kann.





## 7 Betrachtung der Anlage in Bezug auf Industrie 4.0

Bevor das Zeitalter der Industrie 4.0 eingeläutet werden konnte, waren vorhergehende industrielle Revolutionen notwendig. Für ein besseres Verständnis der vierten industriellen Revolution wird im Folgenden eine kurze Reise durch die Vergangenheit unternommen. Hierfür sei vorab angemerkt, dass die Begriffe Industrie 1.0, 2.0, 3.0 zum Zeitpunkt ihres Auftretens nicht gebräuchlich waren und erst jetzt rückblickend mit der Industrie 4.0 entstanden sind.

### 7.1 Industrie 1.0

Die erste industrielle Revolution wurde aus heutiger Sicht mit der Maschinisierung des Handwerkes, um 1800, eingeleitet. Dabei wurden Konstruktionen ins Leben gerufen, welche mit reiner Muskelkraft und später auch mit Wasserkraft und Dampfmaschinen angetrieben wurden. Einhergehend mit dem Antrieb durch Dampfmaschinen wurde der Eisenbahnbetrieb mit Dampflokomotiven aufgenommen. Ferner wurden aufgrund der neuen Herstellungsmöglichkeiten neue Industriezweige wie das Herstellen von Tüchern und Textildruck erschlossen, um nur einige Beispiele zu nennen. Mit der Industrie 1.0 etablierten sich zunehmend neue Arbeitsplätze in Fabriken.[Fri17]

### 7.2 Industrie 2.0

Mit der Elektrifizierung der Arbeitswelt begann die zweite industrielle Revolution und mit ihr die moderne Massenproduktion durch Fließbänder und Akkordarbeit. Mit der Etablierung des Automobils in den 1920er Jahren nahm die Automatisierung im Fertigungsprozess eine immer bedeutendere Rolle ein. Motoren übernahmen zunehmend Arbeiten in den Fabrikhallen. Mit der Elektrifizierung der Arbeitswelt hielten erste Telefone und Telegramme in den Büros einzug, was die Kommunikation zwischen den Gewerken, Betrieben und Kunden erleichterte und beschleunigte. Der erste Grundstein der Globalisierung wurde hier gelegt.[Fri17]

## 7.3 Industrie 3.0

Die dritte industrielle Revolution wurde durch den Einsatz der aufkommenden IT Technik in den 1970er Jahren ausgelöst. Damals wurden lediglich einfache Bewegungsteuerungen mit hydraulischen, elektromechanischen und pneumatischen Komponenten umgesetzt. Diese Steuerungen wurden oftmals mit Relais, Schützen, Magnetventilen, mechanischer Aktuatoren und Endschalter als mechanische Sensoren umgesetzt. Dies war mit einem sehr hohen Verdrahtungsaufwand verbunden und nachträgliche Änderungen und Erweiterung waren nur mit sehr hohem Aufwand möglich. Ende der 70er Jahre kamen die speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) auf den Markt, welche die Arbeitswelt maßgeblich veränderte. Durch die SPS wurden neue Berufe wie Programmierer und Elektroniker etabliert. Aber nicht nur die Arbeitswelt wurde verändert, auch der Fertigungsprozess wurde weiter optimiert. Mit den speicherprogrammierbaren Steuerungen erhielten die Maschinen eine Rechnerleistungen. Die SPS fungierte von nun an als Gehirn der Maschine und war für den Bewegungsablauf als zentrale Einheit verantwortlich. Die eingebauten Sensoren agierten als Sinnesorgan und die Aktuatoren als Glieder der Steuerung. Der dadurch gewonnene technologische Fortschritt ermöglichte eine nachträgliche Änderung und Erweiterung der Anlage mit wenig bishin zu keinem erneuten Verdrahtungsaufwand. Oftmals konnte nun durch Änderungen in der Software ein neuer Bewegungsprozess realisiert werden. Mit Beginn der 80er Jahre etablierten sich erste Bussysteme aus der IT-Branche in der Automatisierungswelt. Die damals gängige Punkt-zu-Punkt Kommunikation wurde durch die Punk-zu-Mehrpunkt-Kommunikation abgelöst. Durch die Punkt-zu-Mehrpunktkommunikation konnten Steuerungen zunehmend dezentral realisiert werden. Dieser technologische Fortschritt verringerte den Verdrahtungsaufwand wiederum um ein vielfaches, da nun mehrere Systemteilnehmer über eine Leitung (Bus) miteinander kommunizieren.[Joa18a]

## 7.4 Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 diente zunächst als Name einer Arbeitsgruppe von Wissenschaftlern und Industrievetretern der acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften). Die gewonnen Ergebnisse der Arbeitsgruppe Industrie 4.0 wurden als konkrete Umsetzungsempfehlungen in ihrem Abschlussbericht formuliert und auf der Hannover Messe 2013 an Bundeskanzlerin Angela Merkel und dem russischen Präsidenten Vladimir Putin übergeben.[Win13] Aufbauend auf die gewonnen Technologien der dritten industriellen Revolution wird bei der vierten industriellen Revolution durch verstärkten Einsatz von Software und intelligenter Hardware, die Digitalisierung gesamter Firmenstrukturen und Produkten vorgenommen. Die digitalisierten Produkte werden über das Internet der Dinge (IoT - Internet of Things) untereinander vernetzt und sind in der Lage permanent Daten zu erzeugen, sammeln und zu analysieren. Die Daten werden als neuer Rohstoff und somit als vierter Produktionsfaktor neben der Arbeitskraft, Kapital und den üblichen Rohstoffen angesehen. [Hub18]

Durch diese gewonnenen Daten können nun Dienstleistung zu den Produkten angeboten werden, welche es bisher nicht gab. Nach der Programmierung der Automation, der Digitalisierung der Prozesse, folgt nun die Digitalisierung und Vernetzung der Produkte, was nicht nur eine Veränderung der Fertigungsmethoden hervorruft, sondern mit ihr auch eine disruptive Veränderung der gesamten Wertschöpfungskette. Mit dem Aufkommen des Internets wurden zunächst Dienstleistung, Werbung und Handel digitalisiert. Mit der Vernetzung gesamter Firmenstrukturen wird nun auch die Produktion und Produktentwicklung digitalisiert. Die Sichtweise der Industrie auf den Kunden ändert sich grundlegend. Im Mittelpunkt steht nun der Kunde und der Markt und nicht mehr die Hardware als Produkt. In Zukunft muss der Kundenwunsch bereits bei der Planung und Entwicklung eines Produktes bekannt und berücksichtigt werden, damit ein Produkt auch in Zukunft seinen Absatz findet.[Sen16]

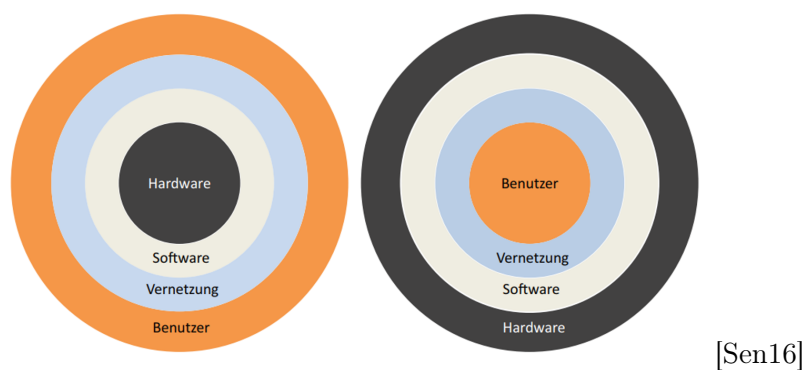


Abbildung 7.1: Sich ändernde Betrachtungsweise der Industrie auf den Kunden

## 7.5 Industrielle Internet der Dinge und Dienste

Der Begriff IoT - Internet of Things (Internet der Dinge), wurde erstmals 1999 von Kevin Ashton gebraucht und beschreibt die Vernetzung von Dingen (Anlagen, PCs, Handys, Fahrzeugen, Kaffeemaschinen etc.) über das Internet miteinander. Durch diese Vernetzung werden uns bekannte Produkte, Gebäude und die Mobilität schlau: „Smart Products“, „Smart Buildings“ und „Smart Mobility“.[Eig16] Für die Vernetzung von produzierenden Anlagen und Maschinen sowie daraus resultierende Services wird für den weiteren Verlauf dieser Arbeit die Begriffe Industrial Internet of Things (IIoT), sowie Industrial Internet of Service (IIoS) verwendet.

So wird es möglich, erzeugte Zustandsdaten einer Anlage in der realen Welt zu sammeln und im IIoT zur Verfügung zu stellen. Auf Basis dieser gesammelten Daten können nun, durch eine intelligente Auswertung der Daten, Dienste oder auch sogenannte Services zu einer Anlage angeboten werden (Industrial Internet of Services). Bei einer produzierenden Anlage ist es nun möglich, mithilfe ihres digitalen Zwillings, Abweichungen von Normal- bzw. Sollparametern zu erkennen und präventiv eine Instandhaltung (Service als Predictive Maintenance) anzubieten bzw. durchzuführen.[Gan16a] Das Industrial Internet of Services verändert das Geschäftsmodell der Dienstleistungen maßgeblich. Durch die Verknüpfung der Anlage mit dem Internet

kann nun eine Instandhaltung als Dienstleistung in erster Instanz von Spezialisten, die auf der ganzen Welt verstreut sind, angeboten werden. Erst in zweiter Instanz, wenn das Problem nicht aus der Ferne gelöst werden konnte, wird ein Servicetechniker vor Ort tätig. Durch solch einen präventiven Service (Instandhaltungsmaßnahmen), kann ein Fehler vor dem totalen Ausfall der Anlage erkannt und behoben werden, was die Anlagenverfügbarkeit erhöht und somit dem Betreiber Kosten spart.[Gan16b] Das Internet of Things and Services ermöglicht nicht nur eine präventive Instandhaltung von Industriemaschinen und -anlagen und der Produktionsfortschritte: Anlagenauslastung und Ressourcengebrauch kann nun Global von jeder Maschine in Echtzeit abgerufen und beeinflusst werden. So kann anhand einer Datenanalyse die Produktion angepasst werden.[Rai16]

## 7.6 CPS und CPPS: Cyber-Physische (Produktions)Systeme

Cyber-Physische Systeme (CPS) und Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) sind eingebettete Systeme und bestehen aus Sensorik, Aktorik, vernetzter Software, sowie Produktionsanlagen und Gebäuden welche über ein Netzwerk (IoT) miteinander verbunden sind und über eine bidirektionale Kommunikationsschnittstelle miteinander kommunizieren.[Ste17] Im Verlauf dieser Arbeit wird der Begriff Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) verwendet, um eine Abgrenzung zu nicht produzierenden Cyber-Physischen Systemen (CPS) zu setzen. CPPS können selbständig (autonom) Produktionsprozesse, gemessen am Produktionsfortschritt, dezentral anstoßen, indem sie Informationen mit anderen Teilnehmern über das Industrielle Internet der Dinge (IIoT) austauschen. So können Transportanforderungen abgesetzt werden die wiederum von autonomen Transportsystemen durchgeführt werden können. Cyber-Physische Systeme können Anlagen im laufenden Betrieb kontinuierlich optimieren, indem sie in Echtzeit Messwerte und Zustandsdaten der realen Welt sammeln und diese mit den, in einem digitalen Zwilling der Anlage abgespeicherten Optimalwerten vergleichen und anpassen, sowie im Einklang mit dem Menschen über multimodale Human-Machine-Interfaces (HMI) Probleme selbständig lösen.[Tho14][BGW18]

Solch eine Erfassung und Analyse von Prozessdaten benötigt eine hohe Rechenleistung. Cyber-Physische Systeme und Cyber-Physische Produktionssysteme werden daher häufig als Cloud-Lösungen realisiert.



[ISA18]

Abbildung 7.2: Darstellung der Komponenten eines Cyber-Physische Systeme

## 7.7 Smart Data, Big-Data und Big-Data-Analytics

Die vierte industrielle Revolution ist untrennbar mit dem englischen Begriff Big-Data verbunden. Durch die Digitalisierung und die damit verbundene Anbindung an das Internet von kleinen Anlagen und Maschinen über Produktionsstandorte und ganzer Firmen sowie deren Erzeugnisse generieren einen enormen Strom an Daten. Diese als Big-Data bezeichneten großen Datenmengen fallen nicht nur in strukturierter sondern vor allem auch in unstrukturierter Form an, wie sie beim durchsuchen des Internets oder von Produktionsanlagen generiert werden. Eine einzelne Produktionsanlage generiert täglich mehrere 10 Terabyte Daten, weshalb es nicht sonderlich verwunderlich ist, dass eine Fabrik jährlich einstellige Exabyte <sup>1</sup> Daten generiert.[SK16]

Mit Big-Data-Analytics kann nun diese Masse an unstrukturierten und strukturierten Daten, welche für den Menschen unverständlich erscheinen, analysiert und als wertschöpfende Information (Smart Data) dargestellt werden. Die Verarbeitung von Smart Data und die Big Data Analyse erfordert aufgrund der großen Mengen sehr hohe Rechenleistung. Die Bereitstellung dieser Rechenleistung als firmeninterne Lösung kann ausufernde Kosten erzeugen, weswegen sie zumeist als Cloud-Anwendungen realisiert wird. Durch Smart Data können verantwortliche Akteure eines Unternehmens die Auslastung, Effektivität der Produktion sowie die Zustände ihrer Produktionsanlagen analysieren und optimieren.[Dum16]

---

<sup>1</sup>1 Exabyte =  $1 \times 10^{18}$  Bytes

## 7.8 Cloud Computing in der Produktion

Anlagen bilden heute mit ihrer Steuerung ein in sich geschlossenes System. Die Rechenleistung der CPUs reicht aus, um Ihre Steueraufgaben in der Maschine ohne Überlastung zu absolvieren. Bei Optimierungs- und Diagnosevorgängen kommen die Rechenleistungen der eingesetzten Steuerungen durch die eingesetzten Algorithmen schnell an Ihre Grenzen. Eine Erhöhung der Rechenleistung ist nur mit einem Tausch der CPUs möglich. Aber nicht nur die begrenzte Skalierbarkeit der CPU ist ein limitierender Faktor für zukünftige Anforderungen, sondern auch die statische, hardwarebasierte Kommunikation zwischen Anlagen. Die Umsetzung von Selbstoptimierung und der permanenten Diagnose der Anlage, sowie eine hohe und unkomplizierte Konnektivität ist eine entscheidende Eigenschaft, die eine Anlage zur Realisierung von Wandelbarkeit und Cyber-Physischen Produktionssystemen erfüllen muss.[VL14a]

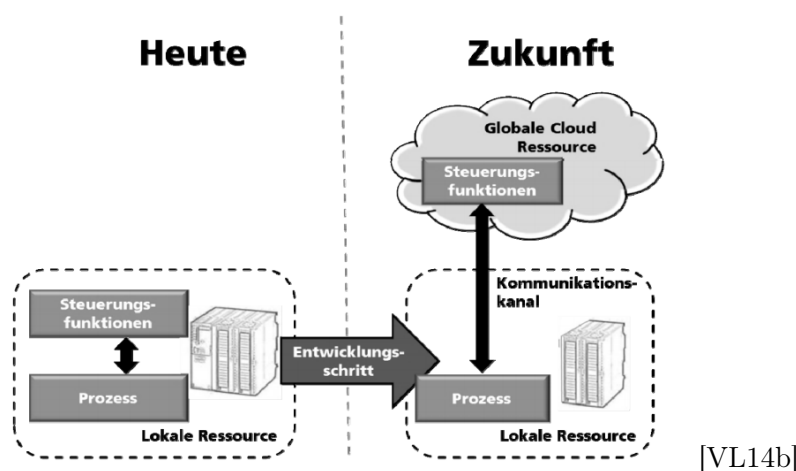


Abbildung 7.3: Entwicklung der zukünftigen Steuerungstechnik

Zukünftige Automatisierungsanforderungen können durch cloudbasierte Steuerungssysteme realisiert werden. Diese können situationsabhängig und sofort den erhöhten Bedarf an Rechenleistung zur Verfügung stellen. Die vertrauten Steuerungen gehen in ihrer Struktur verloren, da Teile von ihr als Service in die Cloud verlagert werden. Dabei werden sie mit globaler Datenverarbeitung und service-orientierte Softwarearchitekturen (SOA) ergänzt. Lokal bleibt nur die Sensorik und Aktorik vorhanden. Durch Cloud Computing in der Produktion sind Anlagen und Maschinen nun aufgrund ihrer Modularität und der unerschöpflichen Ressourcen an Rechenleistungen in der Lage, selbstständig auf sich ändernde äußere Einflüsse anzupassen und ermöglicht eine Änderung der Kommunikation ohne dabei Anforderungen an die Hardware zu stellen.[VL14b]



## 7.9 Vom Retrofit zum vierten industriellen Zeitalter

Die Anlage 1 wurde im Rahmen des Retrofits von einer abgekündigten Steuerungstechnologie aus dem vergangenen Jahrhundert auf den technologischen Zeitgeist der Gegenwart gebracht. Auf Basis dieser wird eine Zukunftsbetrachtung unternommen, welche sich an den Grundsätze des vierten industriellen Zeitalters orientiert.

In der vierten industriellen Phase unserer Produktionswelt werden produzierende Anlagen und Maschinen als voll vernetzte, sich selbst optimierende, prozessdatenkommunizierende Teilnehmer eines Firmennetzwerkes betrachtet. Hierfür müssen alle Ebenen der Automatisierungspyramide mit Technologien ausgestattet sein, die miteinander kommunizieren können.

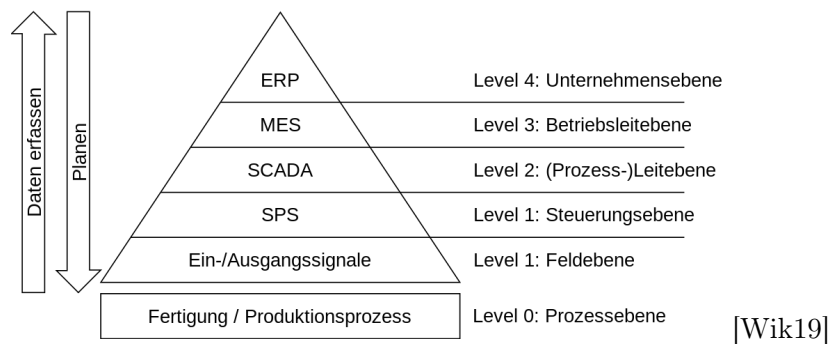


Abbildung 7.4: Klassische Automatisierungspyramiede

Aus dem Kapitel 4.2.4 ist bekannt, dass im Rahmen des Retrofits eine Kombination aus den beiden Bussen Profinet und AS-i eingesetzt wird. Der Profinet Bus organisiert die Kommunikation auf der Steuerungsebene, zwischen der SPS und den dezentralen Peripherien, und zwischen Steuerungs- und (Prozess-)Leitebene durch das Verbinden der HMIs mit der SPS. Die Feldebene bleibt in der Anlage durch das Retrofitprojekt unberührt und besteht aus binären Aktoren und Sensoren. Diese eingesetzten binären Sensoren und Aktoren bestehen in dieser Anlage aus induktiven und kapazitiven Sensoren, Motoren, sowie hydraulischen und pneumatischen doppelwirkenden Zylinder. Eine Produktionsanlage im Sinne der Industrie 4.0 besitzt die Fähigkeit, Zustandsdaten von Aktoren und Sensoren sowie Produktionsdaten zu erfassen. Die Feldebene der Anlage 1 muss im 1. Schritt konsequent mit intelligenten Sensoren und Aktoren ausgestattet werden. Eine kostengünstige Erschließung der Feldebene als intelligente Ebene der Automatisierungspyramide kann über den Einsatz von intelligenten Sensoren und Aktoren auf Basis der IO-Link Technologie erfolgen.

## 7.10 IO-Link als Brückentechnologie der Industrie 4.0

### 7.10.1 Was ist IO-Link?

Den Ursprung Entwicklung erfährt der IO-Link Ende 2005. Ziel dieser Bestrebung war es, konventionelle und intelligente Sensoren und Aktoren an einer SPS anzuschließen. Heute ist IO-Link nach IEC 61131-9 ein zertifizierter offener Kommunikationsstandard für die Feldebene. Die Grundidee hinter IO-Link war es, eine Methode zu finden, um intelligente Sensorik und Aktuatoren zu denselben Konditionen von herkömmlichen Sensoren und Aktoren herzustellen und anbieten zu können. Hierfür bediente man sich an herkömmlichen Sensoren und Aktoren und ergänzte diese preiswert um eine kommunikative Schnittstelle, um so das Gesamtsystem mit den Zusatzfunktionen eines intelligenten Sensors auszustatten. Dabei sind Sensoren und Aktoren herausgekommen, die neben bekannten 24V-Schaltschnittstellen einen Kommunikationsmodus (COM) auf der gleichen Leitung besitzen.[UWJ18f]

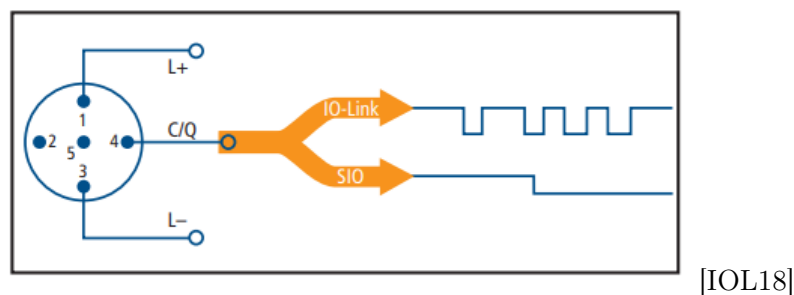


Abbildung 7.5: IO-Link Anschluss

Über den Pin 1 (+24V) und Pin 3 (0V) wird ein Aktor bzw. Sensor mit Spannung versorgt. Über den Pin 4 wird die Schalt- und Kommunikationsanforderung realisiert. Die Pins 5 und 2 sind für Hersteller von IO-Link basierten Aktoren und Sensoren zur Realisierung von Zusatzfunktionen frei verwendbar.[IOL18]

Durch diese zusätzliche Kommunikationsstelle und herstellerunabhängige Umsetzung von IO-Link Sensoren, stellen diese deutlich mehr und unterschiedliche Informationen zur Verfügung als herkömmlichen Sensoren. Zur Reduzierung dieser Prozessdatenvielfalt und der Klassifikation der Inhalte der Prozessdaten, werden mit dem SmartSensor Edition 2 unterschiedliche Profile etabliert, die immer den gleichen Inhalt und Funktionsumfang haben.[Joa18b] Hierbei sind drei herstellerübergreifende Profilgruppen entstanden:

Typ 1 Fixed Switching Sensors SSC	Typ 2 Adjustable Switching Sensors AdSS	Typ 3 Digital Measuring Sensors DMS
• Sensoren mit festem Schalterpunkt	• Sensoren mit einstellbarem Schalterpunkt	• Messende Sensoren

[Joa18b]

Abbildung 7.6: IO-Link Funktionsbausteine

Mit diesen Profilgruppen lassen sich nun Funktionsblöcke erstellen, die bei der Programmierung in der PLC zum Einsatz kommen. Diese Funktionsblöcke beinhalten die Prozessdatenstruktur und Inhaltsfestlegungen der jeweiligen Profile.

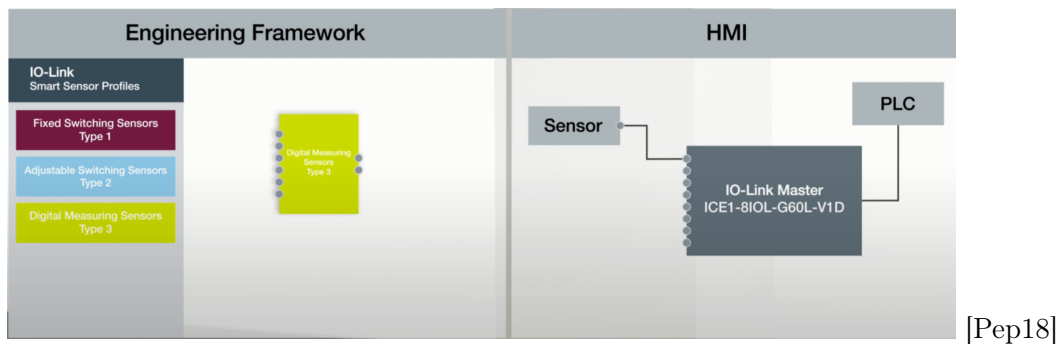


Abbildung 7.7: IO-Link Funktionsbausteine

Durch das Bilden von herstellerunabhängigen Funktionsbausteinen kann ein bereits parametrierter Sensor jederzeit ohne erneuten Programmieraufwand mit einem Sensor desselben Profils aber unterschiedlichen Herstellers durch Plug and Play getauscht werden.[Joa18b] IO-Link Sensoren und Aktuatoren sind zudem mit einer IO-Link-Device-Discription (IODD) ausgestattet. Die IODD dient dazu, die Devices (Sensoren und Aktuatoren) in Konfigurationstools und Softwareumgebungen einzubinden. Des Weiteren können der IODD neben den zur Identifikation wichtigen Parametern (Hersteller, Geräteart, Version, Spezifizierung des verfügbaren Datenbereich, Parameterdaten, Prozessdaten und Ereignisdaten) die wichtigsten Default-Werte für die Parametrierung von Antrieben entnommen werden, wodurch schnell ein sicherer Betrieb gewährleistet ist.[UWJ18a]

### 7.10.2 IO-Link-Diagnose

Ein großer Vorteil von IO-Link gestützten Sensoren und Aktoren ist, dass sie eine Diagnosefähigkeit besitzen, was es ermöglicht, den Anwender bei der Fehlerdiagnose zu unterstützen und schnell wieder eine Anlagenverfügbarkeit herzustellen. Eine Fehleranalyse kann durch Beobachtung der Kommunikation oder durch übertragene Fehlermeldungen erfolgen. Diese Diagnosefähigkeit ist ein entscheidender Baustein auf dem Weg zur Industrie 4.0. Die Anlagen sind durch IO-Link nun in der Lage, Diagnoseparameter in ein IIoT zu übertragen, wodurch ein Ist-Zustand der Anlage oder Teile der Anlage ermittelt werden kann.[UWJ18b]

### 7.10.3 Funktionsweise von IO-Link

Sehr häufig wird IO-Link als Feldbus und somit als Alternative zu Profinet, Profibus und ASi etc. angesehen. IO-Link ist für die Digitalisierung der Feldebene konzipiert und basiert auf einer Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen Aktor und Sensor, sowie smarte IO-Link Devices und IO-Link Master, weswegen es mit einem Feldbus nicht zu vergleichen ist.

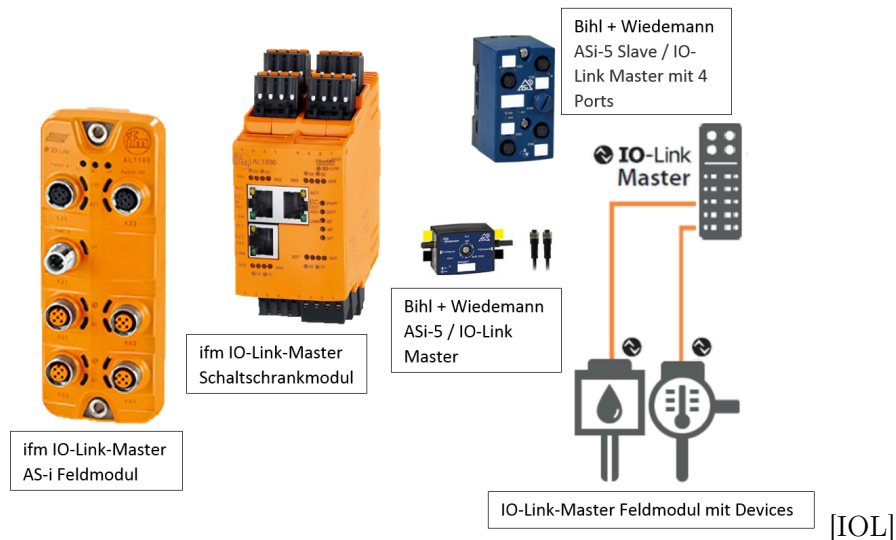


Abbildung 7.8: IO-Link Master für AS-i Bus und Schaltschrank

IO-Link Device, sind Geräte die an IO-Link Master oder IO-Link Ports angeschlossen werden. Die Kommunikation zwischen dem Master und den Devices erfolgt nach dem Master-/Slave-System, was bedeutet, dass ein Device nur auf Anfrage des Masters eine Kommunikation beginnt. Die maximale Kommunikationslänge zwischen Master und Device beträgt 20m. Da es kein Bus ist, kann immer nur eine halbduplexe Echtzeitkommunikation zwischen zwei Teilnehmer stattfinden ohne Kommunikationsmissverständnisse oder -konflikte. Durch die separate Zuweisung einer Kommunikationsschnittstelle (IO-Link-Port) je Device, nimmt die Anzahl der Kommunikationsteilnehmer keinen negativen Einfluss auf die Zykluszeit, da diese eine Kommunikationsschnittstelle nicht mit vielen Teilnehmern gleichzeitig teilen muss, wie es bei einem Bus der Fall ist. IO-Link bietet für unterschiedliche Anforderungen eine Mastervariante als Schaltschrankmodul, Feldmodul oder auch als Einschubkarte für eine SPS. Die Feldmodule sind aufgrund ihrer höheren Schutzklasse von IP67 besonders für den Einsatz in rauen Umgebungen geeignet. Neben dem Anschluss von IO-Link Sensoren und Aktoren sind IO-Link-Master in der Lage, auch gewöhnliche Sensoren in der Feldebene einzusammeln. Durch diese Eigenschaft kann bei Umrüstungen bestehender oder Neuplanung von Anlagen auf IO-Link Technik gänzlich auf gewöhnlich Ein- und Ausgangsbaugruppen verzichtet werden.[UWJ18c]

## 7.11 IO-Link und AS-interface

In dieser Anlage ist eine Kombination aus IO-Link und AS-interface 5 mit seiner bewährten Durchdringungstechnologie, die günstigste Variante zur Integration von intelligenten Sensoren auf der Feldebene. Die größte Schwachstelle von IO-Link stellt die maximale Kommunikationslänge von 20m dar. Diese Schwachstelle kann AS-i mit seinem maximalen Kommunikationsweg von 100m zwischen zwei Teilnehmer auffangen. Zudem bietet die Kombination aus IO-Link und AS-i 5 die Möglichkeit, durch spezielle (für das AS-i 5 Bussystem von der Firma Biehl+Wiedemann entwickelten) IO-Link Singleport-Master Peripherien einzelne verteilte Sensoren einzusammeln. Bei ethernetgestützten Feldbussystemen wie Profinet, würden IO-Link Master mit vier oder acht Ports für dieselbe Aufgabe zum Einsatz kommen, wovon nur einer genutzt werden würde. Mit den Singleport-IO-Link-Mastern kann die Kombination aus AS-i und IO-Link kostengünstig und einfach mit der Anlage wachsen.[Rön20]

## 7.12 IO-Link in der Anlage 1

Wie in Kapitel 4 gezeigt, besitzt die Anlage hydraulische pneumatische Positionierungsachsen und rotatorische Antriebe in unterschiedlicher Ausdehnung je Station. Für eine einfachere Ermittlung des möglichen IO-Link Einsatzes werden diese teilstationsübergreifend und nach ihren Antriebsmedien sortiert betrachtet.

### 7.12.1 IO-Link in der Pneumatik

In den Stationen Zulegesation, Bandsäge, Bohrstation und Frässtation sind auf der Feldebene pneumatische doppelwirkende Zylinder für Positionieraufgaben verbaut. Die Initiatoren auf den Pneumatikzylindern wurden im Rahmen des Retrofits nicht getauscht und besitzen über keine Diagnosefunktion. Ein Tausch der Näherungsschalter auf ein direkt vergleichbares IO-Link Produkt der Firma Festo ist nicht gegeben. Die Firma Festo bietet auf Basis von IO-Link den Positioniertransmitter SDAT an. Dieser Positioniertransmitter erfasst die Stellung der Kolbenposition über den gesamten Hub des Zylinders. [Fes18] Für die Positionieraufgaben der Pneumatik in dieser Anlage hätte der Betreiber der Anlage keinen Mehrwert durch den Positioniertransmitter, da die Zylinder für die Positionierung der Flanschrohlinge bis zu ihren physischen Endpunkten ein und ausfahren müssen. Des Weiteren würde eine Selbsterkennung des Sensorausfalls keine Reduktion der Instandhaltungszeit erzeugen, da ein Sensortausch, durch die sehr gute Zugänglichkeit der Maschine und der einfachen Steckweise des Initiators in der Eingangsbaugruppe der Anlage, schnell und einfach durchgeführt werden kann. Darüber hinaus sorgt ein defekter Endlagensensor nicht zu einem unbestimmten Zustand des Bearbeitungsprozesses, da in den Schrittketten der Anlagensoftware ein Erreichen der Endlage zeitlich abgefragt wird. Wird eine festdefinierte Zeit erreicht, in der ein Endlagensensor kein erwartetes High-Signal an die Schaltung übergibt, geht diese in Störung, mit einer entsprechenden Meldung über den Hinweis eines möglichen Defekts des Näherungsschalters (vgl. Kapitel 6.3.4). Aber nicht nur die Eigenschaft des Predictiv Maintenance soll für die Pneumatik betrachtet

werden, sondern auch die technische Möglichkeit, mit der eine selbstständige Optimierung der Anlage möglich wird. Ein Optimierungspotential für eine steigende Wirtschaftlichkeit wird für die Pneumatik nur in der Erhöhung der Positioniergeschwindigkeit gesehen. Hierfür muss in die Ansteuerung der Pneumatikzylinder eingegriffen werden.

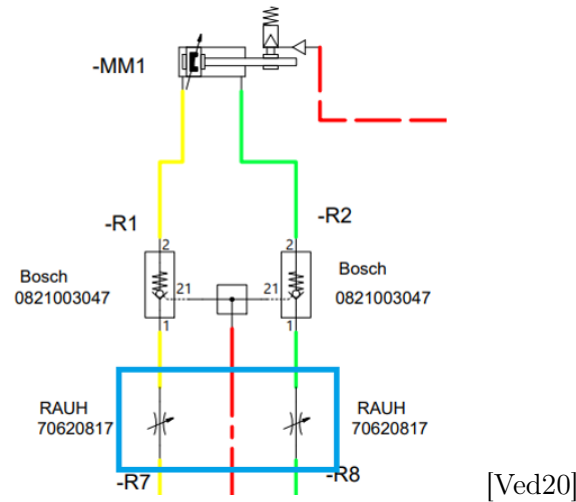


Abbildung 7.9: Drosselventile im Schaltplan des Retrofits

Im Schaltplan der Pneumatik ist erkennbar, dass ein Drosselventil (blaue Umrandung) mit einstellbarem Querschnitt den Luftzufuhrstrom in die Zylinder beeinflusst. Die Einstellung des Querschnittes erfolgt bei diesen Drosselventilen mechanisch am Verbauungsort mithilfe eines Werkzeuges. Dieses mechanische Drosselventil könnte zum Beispiel gegen ein Proportional-Druckregelventil getauscht werden.

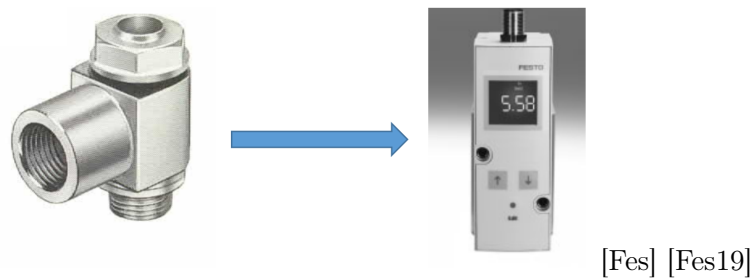


Abbildung 7.10: Tausch Drosselventil gegen IO-Link Drosselventil

Durch Einsatz eines solchen Proportionalventils kann nun im laufenden Betrieb der Druck erhöht oder verringert werden. Bei dem verwendeten Beispiel, dem Proportional-Druckregelventile VPPM/NPT der Firma Festo, sind in einer Singleanwendung drei Druckstufen von 0 bis 10 bar einstellbar.[Fes19]

Die Ansteuerungen der Pneumatikzylinder wird in der Anlage seit dem Retrofit über AS-i Airboxen der ifm realisiert. Diese besitzen ein 5/3-Wegeventil, welches keinerlei Regel- oder Diagnosefunktionen besitzt. Für einen zukünftigen Betrieb müssten die AS-i Airboxen gegen IO-Link gestützte Ventilinseln getauscht werden. Eine denkbarer Lösung, wäre der Einsatz der Ventilinseln MPA-L der Firma Festo.

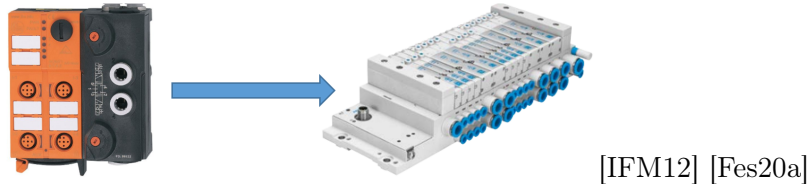


Abbildung 7.11: Tausch AS-i Airbox gegen Festo Ventilinsel MPA-L

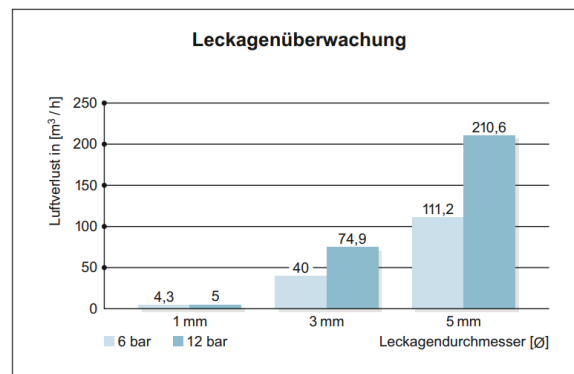
Die MPA-L Ventilinsel besitzt die positive Eigenschaft, dass sie mit 5/2, 5/3, 2x3/2, und 2x2/2 Wegeventilen ausgestattet werden kann, wodurch in Zukunft flexibel auf Veränderungen reagiert werden kann.[Fes20b] Zudem besitzt die IO-Link Ventilinsel die Möglichkeit der Funktionsüberwachung der Ventile, was ein Ausfall der Anlage durch Predictive Maintenance abgewendet werden kann. Der Einsatz dieser Proportional-Druckregelventilinsel hat aber wie jede Ventilinsel den deutlichen Nachteil, dass sich ihre Bauform mit jedem weiteren Ventil erhöht. Durch die Verwendung des 5/3 Wegeventil, kann die AS-i-Airbox getauscht werden. Der Tausch der AS-i Airbox gegen die Ventilinsel von Festo hat auch einen entscheidenden Nachteil. Die AS-i Airbox überzeugte durch ihre starke Flexibilität und sehr platzsparende Bauweise, wodurch sie in der näheren Umgebung der Zylinder verbaut werden konnte. Beim Einsatz einer Ventilinsel muss der Montageort gründlich ausgewählt werden, damit alle Zylinder gut erreicht werden können.

Neben der Ansteuerung der einzelnen Zylinder sollte eine Betrachtung der jeweiligen pneumatischen Teilbereiche erfolgen. Durch Einsatz von IO-Link gestützten Drucksensoren lassen sich die Luftdrücke in jedem Teilbereich überwachen. Hierüber kann eine Leckageüberwachung der Bereiche erzielt werden.



Abbildung 7.12: Thermischer Druckluftzähler der Firma ifm

Für diese Aufgabe ist der thermische Druckluftzähler der Firma ifm ein für dieses Projekt interessanter Sensor. Er erfasst neben dem Druck in den Teilbereichen auch den Durchfluss, die Temperatur sowie die Gesamtmenge an Luft, die in den jeweiligen Bereichen verbraucht wird. Durch die integrierte IO-Link Schnittstelle können die erfassten Werte an ein IIoT übermittelt und dort analysiert werden, wodurch ein Druckluft-Monitoring ermöglicht wird. Aber nicht nur in der Cloud sondern auch vor Ort kann ein Druckluft-Monitoring über das eingebaute Display erfolgen. Hierfür stellt das Gerät verschiedenen Layout-Grafiken zur Verfügung.[ifmb]



[ifmb]

Abbildung 7.13: Grafische Darstellung der Leckagenüberwachung

Eine endgültige Applikationslösung wird, im Falle einer Umrüstung auf eine Industrie 4.0-Fähigkeit der Anlage, durch Fachfirmen für Pneumatik übernommen.



### 7.12.2 IO-Link in der Hydraulik

Neben der Pneumatik zur Positionierung von Werkzeugen, findet Hydraulik in den Stationen D-Bohrstation, E-Frässtation und F-Verfahrwagen seine Anwendung zur Positionierung von Werkzeugen.



Abbildung 7.14: Erkennung der Endlagen in der Anlage 1

Hierbei werden die Endlagen der Werkzeuge oben und unten durch induktive Initiatoren erkannt. Ein mechanischer Endlagenschalter, welcher auf circa halbem Hubweg platziert ist, aktiviert bei Betätigung durch die herabfahrende Motoraufhängung den Schleichgang des Werkzeuges. Diese technische Umsetzung der Positionserkennung ist an jeder hydraulischen Achse in unterschiedlicher Ausdehnung wiederzufinden. Schleichgangfähigkeit besitzen dabei nur der Mitnehmerbohrer in der Bohrstation D, sowie die Schräglochfräsen oben und unten der Frästation. Diese Initiatoren werden für unterschiedliche Flanschdurchmesser in ihrer Position verschoben. Im Rahmen der Industrie 4.0 Betrachtung, sollten diese gegen IO-Link Seilzugsensoren getauscht werden.

Die Firma ifm bietet hierfür ein einen IO-Link gestützten Seilzug-Sensor an



Abbildung 7.15: IO-Link-Seilzug-Sensor

Hiermit kann die aktuelle Ist-Position in Echtzeit ermittelt werden, welche zum Ausführen weiterer Aktionen genutzt werden kann. Beispielsweise würde hier der Schleichgang in Abhängig-

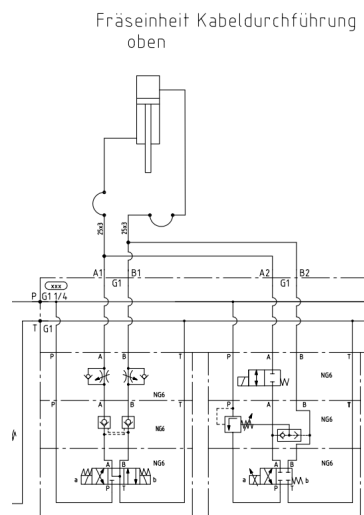
keit von Flanschstärke und aktueller Ist-Position eingeleitet werden. Dies bedarf in der Station der D-Bohrstation die Werkzeuge Achsplatte 1 und 2, Mitnehmer, Trommelbolzen rechts unten und links unten, für die Station E die Werkzeuge Nutfräse Wandseite, Nutfräse Pultseite, Schrägloch oben und unten sowie die Code-Karte. Bei Werkzeugachsen, die einen Schleichgang für den jetzigen Bearbeitungsvorgang nicht benötigen, kann diese Eigenschaft für ein schnelleres Heranfahren an das Werkstück genutzt werden, wodurch sich die Bearbeitungszeit der Flanschrohlinge verkürzen könnte. Zudem werden die Achsen dadurch universell einsetzbar und können bei eventuellen Produktänderungen bzw. -innovationen auch andere Werkzeuge betreiben, sofern die verwendeten Motoren die Voraussetzungen hierfür erfüllen. Des Weiteren kann, im Rahmen von Selbstoptimierungen der Anlage, der Zeitpunkt für den Schleichgang weiter herausgezögert werden. Was eine Verkürzung der Fräs- und Bohrvorgänge und zur Verkürzung der gesamten Zykluszeit bewirken würde. Im Bereich des Verfahrwagens, Station F, wird nur der rechte und linke Aufrichter mit Hydraulik verfahren. Dabei wird ein Aufrichter zwischen seinen Positionen (Grundstellungen und Arbeitsstellung) auf und ab bewegt. Im Rahmen der Zukunftsbetrachtung geht der Verfahrwagen in seiner bekannten Funktion verloren, da dieser in der Vergangenheit deutliche Probleme in seiner Positionierung gezeigt hat. Neben der Positionserfassung der Hydraulikachsen spielt dessen Ansteuerung eine weitere wichtige Rolle bei der Industrie 4.0-Betrachtung. Anlagen wandeln sich im vierten industriellen Zeitalter zu Cyber-Physischen Produktions Systemen (CPPS) und besitzen die Möglichkeit sich selbst zu optimieren. Im Rahmen des Retrofits werden Proportionalventile für die Realisierung der Schleichgänge eingesetzt. Der Durchfluss kann durch die Ansteuerung des Proportionalventils mit einem Analogssignal der Steuerung beeinflusst werden, wodurch die Geschwindigkeit der Hydraulikachse variiert wird. Damit eine Effizienzsteigerung durch eine selbständige Optimierung erfolgen kann, müssen die Geschwindigkeiten von allen Achsen einstellbar sein. Für das im Retrofit verwendete 4/2 Wege Proportionalventilen kann ein IO-Link gestützten Regel-Wegeventile getauscht werden.



[Rex19]

Abbildung 7.16: Bosch-Rexroth IO-Link Regel-Wegeventile

Das im Beispielbild gezeigte IO-Link Regel-Wegeventil der Firma Rexroth besitzt eine integrierte Elektronik (OBE), welche den Sollwert mit dem aktuellen Lage-Istwert vergleicht und über das ansteuern des Hubmagneten aneinander angleicht (regelt). Zudem meldet das IO-Link gestützte Ventil von Rexroth die Ist-Position der Ventilstellung an eine Steuerung zurück, was konventionelle Proportionalventile nicht leisten. Dies ist für die Optimierungsvorgänge der Anlage von Wichtigkeit, da so sichergestellt ist, dass ein Ventil nach den gegebenen Einstellparametern arbeitet. Das Ventil besitzt durch den Zusatz von IO-Link die Fähigkeit, sich selbst zu überwachen (Condition Monitoring) und im Sinne des Predictiv Maintenance eine längere Anlagenausfallzeit durch Ersatzteilbeschaffung zu umgehen.[Rex19]



[Sch20]

Abbildung 7.17: Derzeitige Realisierung des Schleichgangs

Im Schaltplan der geretrofitteten Anlage ist erkennbar, dass für die Realisierung des Schleichgangs das Proportionalventil parallel zum Wegeventil verschaltet ist. Diese Schaltungsanordnung kann durch das Proportional-Wegeventil optimiert werden, da das Proportional-Wegeventil

neben dem feinen Dosieren, wie ein Proportionalventil auch, die Fähigkeit besitzt sich wie ein normales Wegeventil schnell zu öffnen und zu schließen. Durch den Einsatz von Proportional-Wegeventilen entfallen die im Retrofit verwendeten 4/3 Wegeventile und das reine Proportionalventil. Hierdurch können für die Etablierung von Schleichgängen an weiteren Werkzeugachsen Entwicklungskosten für die Software, sowie Hardwarekosten eingespart werden. Ähnlich wie bei der Pneumatik wurde die Hydraulik in Teilbereiche realisiert, welche sich für die Industrie 4.0 Betrachtung nur noch auf die Bohrstation D und die Frässtation E erstrecken. Diese Teilbereiche, sollten ebenfalls eine Drucküberwachung erhalten.

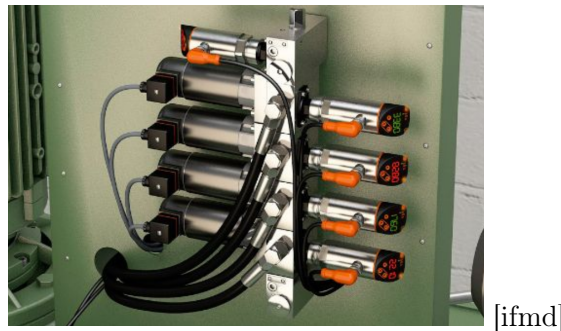


Abbildung 7.18: Leckagenüberwachung der Hydraulikbereiche

Hierfür könnte beispielsweise der Drucksensor PN7092 der Firma ifm eingesetzt werden. Dieser ist über eine IO-Link Kommunikationsschnittstelle ausgestattet, wodurch die erfassten Öldrücke direkt an eine höhere Intelligenz kommuniziert werden. Aus den gemessenen Werten kann nun durch Druckschwankungen oder starke Druckabfälle ein Istzustand der jeweiligen Bereiche abgeleitet werden und gegebenenfalls Handlungsmaßnahmen angewiesen werden. IO-Link typisch besitzt der Drucksensor die Möglichkeit sich selbst zu überwachen, sowie im laufenden Betrieb den Solldruck zu ändern. Ein Tausch der Ventile muss an dieser Stelle durch eine Fachfirma geprüft werden.[ifme]

## 7.13 Zukunftsbetrachtung der Antriebe

Aus dem Kapitel 2 ist bekannt dass zum Antreiben der Motoren Frequenzumrichter S120 und G120 sowie ET200SP Motorstarter zum Einsatz kamen. Die Motorstarter wurden im Rahmen des Retrofits für den Ersatz der Direkt- und Wendeschützschaltungen von Motoren eingesetzt. Für eine Industrie 4.0 Betrachtung sind diese ungeeignet, da sie nicht aktiv auf die Drehzahl der Motoren einwirken können. Für einen selbstständigen Optimierungsprozess der Anlage muss diese Eigenschaft für die Antriebe gegeben sein.

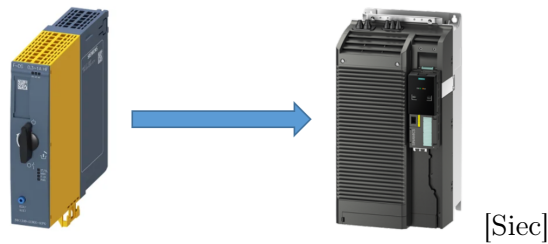


Abbildung 7.19: Tausch Motorstarter gegen Frequenzumrichter G120

Hierfür bietet sich ein Tausch der Motorstarter auf Frequenzumrichter an, wodurch die Drehzahl der Motoren im Betrieb aktiv geändert werden kann. Neben der Möglichkeit, dass die Antriebe über Frequenzumrichter in ihrer Drehzahl beeinflusst werden können, besitzt Frequenzumrichter die Voraussetzung zum Überwachen von Phasenströmen, welche an ein angeschlossenes IIoT übermittelt werden können. Werden nun im IIoT sehr häufig erhöhte Werte festgestellt, so kann aufgrunddessen eine vorrausschauende Instandhaltung veranlasst werden.

### 7.13.1 IO-Link Sensoren für Condition-Monitoring der Antriebe

Die eingesetzten Frequenzumrichter können mechanische Schäden an den Antriebsachsen nicht erkennen. Damit ein drohender Lagerschaden eines Motors noch vor seinem Eintritt erkannt und ein plötzlicher, längerer Anlagenstillstand vermieden werden kann, sollten die Motoren mit Vibrationssensoren ausgestattet werden. Diese Vibrationssensoren ermöglichen ein Condition Monitoring der Motoren, wodurch zum Beispiel eine übermäßige Vibration oder die Temperatur des Motors erfasst werden kann. Eine erhöhte Vibration der Werkzeugachsen kann auf einen Lagerschaden der Motorwelle (Läufer) oder des angebundenen Getriebes oder auf ein stumpfes bzw. beschädigtes Werkzeug hinweisen. Hierfür eignen sich beispielsweise die Condition Monitoring Sensoren von Balluff, welche leicht auf dem Gehäuse des Motors nachgerüstet werden können.[Bal20]

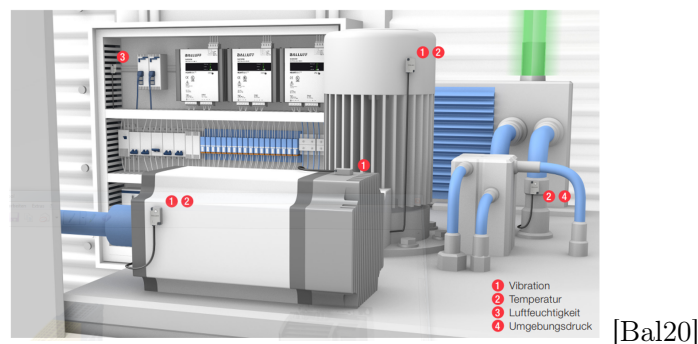


Abbildung 7.20: Beispielapplikationen des Condition Monitoring Sensors

## 7.14 Betrachtung der Zusatzfunktionen für eine Industrie 4.0-Fähigkeit

Aus Kapitel 3.1.7 ist bekannt, dass bei einem Produktwechsel die Werkzeuge mithilfe von Handkurbeln und Motoren in ihrer Position angepasst werden müssen. Diese Handkurbeln müssen auf dem Weg zur Industrie 4.0 durch Motoren ausgetauscht werden. Hierfür würden sich beispielsweise DRIVE-CLiQ Motoren der Firma Siemens anbieten. Diese Servomotoren bieten mit integrierten Absolutwertgebern und im Zusammenspiel mit ihren Frequenzumrichtern S120 oder S110, eine Closed Loop Lösung an.

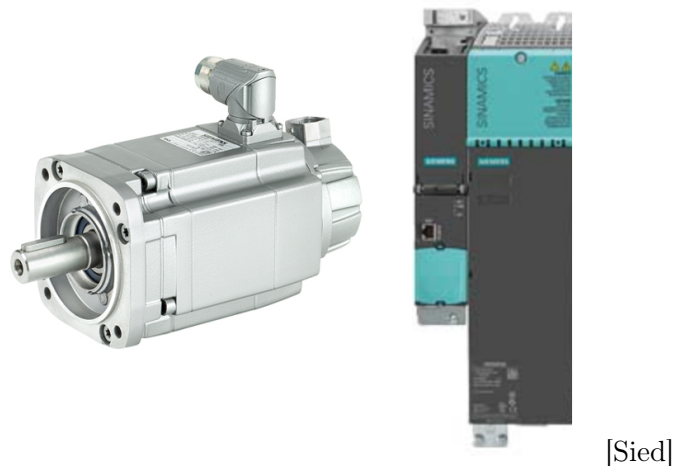


Abbildung 7.21: Beispiel eines DRIVE-CLiQ Motor mit FU S120

Durch diese Umrüstungen können nun alle verstellbaren Werkzeuge während eines Produktwechsels automatisch, gleichzeitig und, wo erforderlich, hochdynamisch ausgerichtet werden. Dieses bringt zudem eine deutliche Verringerung der Rüstzeit mit sich und bindet kein Personal. Der Einsatz von Frequenzumrichtern ermöglicht zudem die Möglichkeit, den Zustand des Motors auszulesen und dessen Parameter an ein überlagertes IIoT System zu übermitteln. Mit der Eigenschaft, dass ein Frequenzumrichter aktiv auf die Drehzahl einwirken kann, können Funktion zur Selbstoptimierung der Positionierantriebe genutzt werden. Im Falle einer realen Umrüstung werden die Werkzeugachsen, welche schon über Positioniermotoren verfügen, gegen DRIVE-CLiQ Motoren getauscht. Optional können die Positioniermotoren mit den bekannten Vibrationssensoren der Firma Balluff ausgetauscht werden. Hierdurch kann ein mechanischer Defekt durch erhöhte Vibration der Achsen festgestellt werden.

## 7.15 Industrie 4.0 und RFID

In der heutigen Marktsituation werden zunehmend steigende Anforderungen an die Produktion gestellt. Der Markt erfordert stetig unterschiedliche Produkte bis hin zu personalisierten Produkten.[Son04] Auch die Firma August Hildebrand spürt dieses schon heute, da jeder Flansch eine sehr hohe Individualisierbarkeit mit sich bringt und ein rein klassisches Modell des Lei-

tungstransportsystems nicht besteht. Dies führt nicht nur zu dem Umstand, dass bisher die meisten Werkzeugachsen händisch auf das neue Produkt eingestellt werden mussten, sondern auch, dass ein Bediener die Anlage händisch über ihre HMI mit Informationen zu Bohr- und Fräsvorgängen versorgen muss. Durch die in Kapitel 7.14 zuvor durchgeführte automatisierte Verstellung der Werkzeuge ist es nun möglich den Flanschen eine gewisse Intelligenz zu verleihen, wodurch sie der Anlage mitteilen, welches Produkt sie sind. Für diese Aufgabe bietet sich der Einsatz von RFID-Chips an.

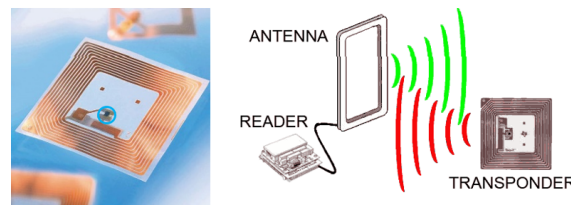


Abbildung 7.22: RFID-Sensor und RFID-Reader  
[Sch11] [Bri]

Ein RFID-Chip besitzt einen Speicher (blauer Kreis) auf dem eine Information über mehrere Jahre stromlos gespeichert werden kann. Ausgelesen wird dieser von einem RFID Reader. Der Reader besitzt eine Sende- und Empfangseinheit und sendet permanent ein Signal aus, welche ein vorhandenen RFID-Chip auffordert, sich zu melden. Empfängt die Antenne eines RFID-Chips dieses Signal, so wird er aus seinem Tiefschlaf geholt. Der RFID-Chip sendet seine gespeicherten Informationen als Antwort zurück. Die Empfangsantenne des Readers empfängt diese und übermittelt es an die nachgelagerte Intelligenz.[Son04] Auf den RFID-Chips können nun Produktinformationen zu den Flaschenrohlingen gespeichert werden, welche durch RFID-Reader in den Stationen der Anlage ausgelesen werden können. Die Steuerungseinheit der Anlage kann durch die Informationen der RFID-Chips die Werkzeuge für jeden Flanschrohling individuell verfahren. Hierdurch lassen sich Flanschrohlinge, im Rahmen des technisch Möglichen, nach individuellem Kundenwunsch und ab einer Losgröße von 1 produzieren. Ferner können priorisierte Aufträge mit einer geringen Losgröße bei großen Produktionsaufträgen zwischengeschoben werden, ohne diese dafür unterbrechen zu müssen. Durch diese neu gewonnene Möglichkeit der Produktion, lassen sich zudem Lieferzeiten verkürzen und sich ändernde Marktanforderungen flexibel bedienen.[Sch+14]

## 7.16 Schwachpunkt der Industrie 4.0 Betrachtung

### 7.16.1 Zulegetisch

Bei aller Euphorie einer Industrie 4.0 Betrachtung der Anlage 1 bedürfen die Zulegestation um ihren Zulegetisch, sowie die Montagelinie mit ihrer Endmontage den größten Aufwand. Auf dem Zulegetisch wird durch zwei Mitarbeiter der Flanschrohling aus vorbereiteten Brettern unterschiedlicher Länge zusammengefügt. Dabei werden die Bretter zweilagig im 90 Grad Winkel zueinander angeordnet und provisorisch mit einem Druckluftnagler aneinandergeheftet. Die händische Ausführung eines für den Produktionsvorgang essentiell notwendigen Arbeitsschrittes, findet in der Welt von Industrie 4.0 keinen Platz. Die Anlage muss durch die Automatisierung der händischen Arbeitsschritte von einer halbautomatischen zur einer vollautomatischen Produktionsanlage umgebaut werden.

Eine Option hierfür wäre der Einsatz von zwei Robotern am Zulegetisch.

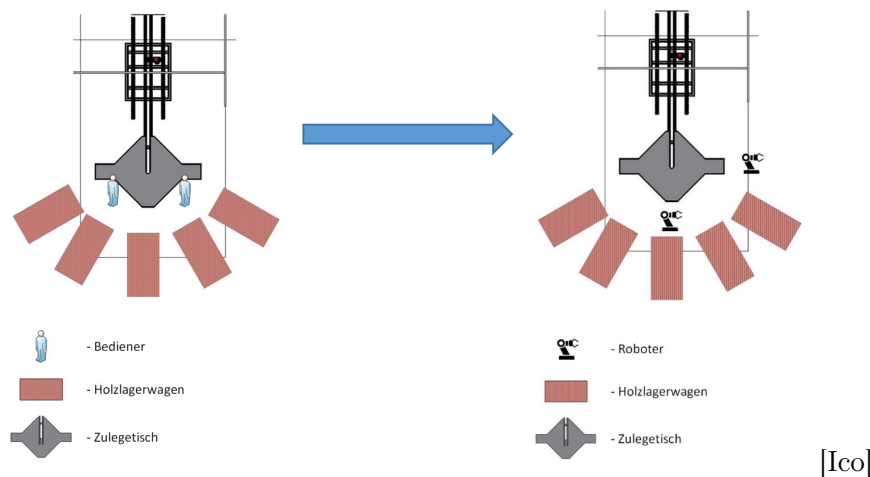


Abbildung 7.23: Möglicher Umbau der Zulegestation

Ein Roboter könnte dabei vor dem Zulegetisch stehen, welcher die Bretter von dem Holzlagerwagen entnimmt und sie ihren Bestimmungsorten auf dem Zulegetisch zuführt. Der zweite Roboter rechts neben dem Zulegetisch, übernimmt nach der vollständigen Zusammenstellung des Flanschrohlings die provisorische Nagelheftung des Flansches. Die Roboter von Herstellern wie Kuka, beherrschen ein vollständiges Condition Monitoring und gliedern sich unkompliziert in die Anlage und damit in das IIoT ein. Eine ständige Optimierung der Roboter in Abhängigkeit der Anlagenzykluszeit ist somit möglich.[Kuk]

Der zweite Roboter kann durch das IIoT angestoßen, auf wechselnde Flanschmodelle reagieren und die Nägel ohne das weitere Programmiervorgänge an eine andere Stelle setzen. Der Einsatz einer solchen Roboterlösung benötigt eine Überarbeitung der inhärenten Konstruktion und zusätzliche technische Schutzmaßnahmen der Zulegestation. Zum Schutz einer in den Gefahrenbereich eindringenden Person müssten vollautomatische Roboter mit einem Schutzzaun versehen werden.



Des Weiteren kann die Zulegesation mit einem Etikettiersystem ausgestattet werden. Ein solches Etikettiersystem kann, nach dem Entstehungsprozess des Flanschrohrlings, diesen mit seinem RFID-Etikett versehen, wodurch er in jedem Arbeitsschritt eindeutig erkannt werden kann siehe Kapitel (7.15)

Ein solches Etikettiersystem könnte beispielsweise von der Firma NOVEXX Solutions stammen



[Nova]

Abbildung 7.24: NOVEXX Etikettiersystem mit RFID-Writer

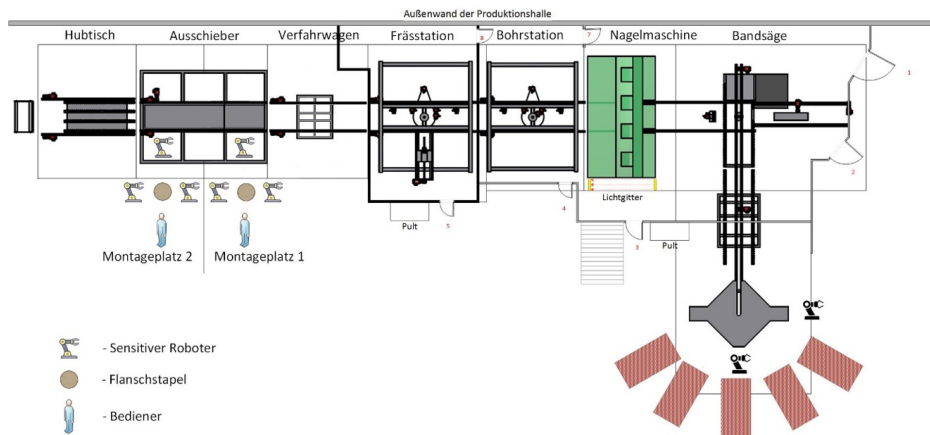
Mit diesem Etikettiersystem können die Flanschrohlinge nach dem Zusammenfügen mit ihrem persönlichen RFID- Etikett versehen werden. Außerdem besitzt der Etikettierer die Möglichkeit die RFID-Chips erst kurz vor dem Aufbringen, mit ihren Informationen zu beschreiben.[Novb]

### 7.16.2 Station I-Montage

Die bekannten Endmontageschritte aus Kapitel 2.2.10 erfolgen in dieser Station händisch. Dabei stellen die einzelnen Montageschritte erhöhte körperliche Beanspruchungen an einen Bediener. Für diesen Bereich würde sich in Zukunft ein sensibler Roboter anbieten, welche feinfühlig Gelenkmomentsensoren besitzen wodurch ein kollaboratives Arbeiten mit seinem menschlichen Arbeitskollegen möglich wäre.

Durch diese feinfühlig Gelenkmomentsensoren können die sensiblen Roboter während der Arbeit durch einen Bediener bewegt oder korrigiert werden, ohne den menschlichen Arbeitskollegen dabei zu verletzen. Darüber hinaus erkennen die Sensoren, ob Fehlgriffe erfolgen oder Objekte falsch herum gehalten werden und korrigieren dieses selbstständig. Nach dem Vorbild der Automobilindustrie, wo sensitive Roboter den Mensch kollaborativ unterstützen, kann in der Montagelinie der Bediener durch den Roboter unterstützt werden, wodurch ergonomisch ungünstigen Arbeitshaltungen entgegenwirkt werden können. Hierfür können zwei sensitive Roboter die Flansche anheben und drehen, wodurch eine ständige aufrechte Arbeitshaltung erreicht werden kann.[BHV14]

Eine solche Realisierung bedarf einer kompletten Umgestaltung der Station F-Verfahrwagen bis I der Montagelinie. Ein mögliche Umgestaltung könnte nach Bild 7.25 erfolgen.



[Ico]

Abbildung 7.25: Mögliche neue Gestaltung der Montagelinie

Die Montagelinie wird für eine Betrachtung nach Bild 7.25 komplett entfernt. Hierfür wurden der Anlage die Montageplätze 1 und 2 hinzugefügt. Der Verfahrwagen wird um seine Aufrichter links und rechts erleichtert, und bleibt in seiner Ruheposition stehen. Dieser hat nun nur noch die Aufgabe, den fertigen Flansch von der Frässtation in den Ausschieber zu überführen. Der Ausschieber wird um die Funktion des Verfahrwagens erweitert, sowie um seine Bürsten erleichtert. Der Kettenförderer des Ausschiebers besitzt nun die Haltepositionen Montageplatz 1 und Montageplatz 2. Der Hubtisch bleibt in seiner Funktion unberührt, wodurch ein Abstapeln wie gewohnt möglich ist. Die Bekannten drei Verwendungsarten (Abstapeln, in Montagelinie fahren und in Montagelinie fahren mit Überschuss abstapeln), der Station Verfahrwagen, Ausschieber, Hubtisch und der ursprünglichen Station Montagelinie bleiben in ihrer Funktion erhalten. Bei den Verwendungsarten wird die Bezeichnung Montagelinie im Rahmen eines Umbaus in Montageplatz umbenannt. Die Positionen des Kettenförderers Montageplatz 1 und 2 werden nun angefahren, wenn die entsprechenden Verwendungsarten dafür ausgewählt wurden. Ist ein Flansch an einer der Montagepositionen angekommen, so wird dieser dem Kettenförderer des Ausschiebers vom vorderen sensitiven Roboter entnommen und zwischen den beiden nachgelagerten sensitiven Robotern abgelegt. Sind mindestens zwei Flansche an einem Montageplatz abgelegt, so werden die vorderen beiden sensitiven Roboter aktiv. Jeder Roboter entnimmt sich einen Flansch und richtet diesen, mit der Nutfräsung innenliegend und zueinander gegenüberliegend sowie dem Bediener zugewandt, aus. Ein Bediener kann nun wie aus der vorherigen Montagelinie gewohnt, die Endmontage beginnen. Hierbei kann die Positionshöhe der Flanschplatten jederzeit an die Körpergröße des Bedieners angepasst werden, wodurch eine kontinuierliche aufrechte und körperschonende Arbeitshaltung erzielt werden kann.

### 7.16.3 Die Station C- Nagelmaschine

Die Nagelmaschine C ist, wie aus Kapitel 3 bekannt, als eigenständige Maschine in die Anlage 1 integriert. Diese sollte im Rahmen einer Umrüstung in Richtung Industrie 4.0 an die Steuerung der Anlage 1 angeschlossen werden. Durch die Integration der Station C an die Steuerung der Anlage 1 kann von einer zentralen einheitlichen Bedieneinheit auf alle Stationen gleichermaßen eingewirkt werden. Zudem besitzt die Nagelmaschine eine S7 315F, welche aus heutiger Sicht auf einem veralteten Stand der Technik ist und in Zukunft einen Tausch benötigt, was damit umgangen werden kann. Aber nicht nur die CPU sondern auch die Ansteuerungsperipherie sollte einem Tausch unterzogen werden. Im jetzigen Aufbau steuert die Nagelstation den Antrieb der Kettenförderer über Wendeschützschaltung. Diese sollten für die Möglichkeit der Selbstoptimierung im Sinne einer CPPS Applikation durch Frequenzumrichter getauscht werden.

## 7.17 Industrie 4.0 Betrachtung der Intralogistik

Nachdem die Anlage 1 auf mögliche Umbaumaßnahmen für einen Betrieb nach Industrie 4.0 betrachtet wurde, wird nun eine Betrachtung der Logistik in der Produktionshalle der Anlage 1 unternommen. Die Zulegestation hat an ihrem Zulegetisch mehrere Holzlagerwagen, welche unterschiedlich lange Bretter für die Erstellung der Flanschrohlinge tragen.

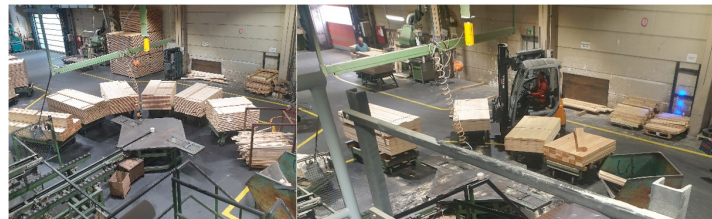


Abbildung 7.26: Bestückung der Holzlagerwagen

Die Auffüllung der jeweiligen Holzlagerwagen erfolgt durch bemannte Gabelstapler.

Ähnliches findet man am hinteren Hubtisch Station H



Abbildung 7.27: Station H-Hubtisch mit Rollenbahn

Über den Hubtisch werden die fertigen Flanschen unter bestimmten Voraussetzungen in verschieden große Stacks portioniert und verlassen über die Rollbahn die Anlage. Diese Flanschstacks werden über bemannte Gabelstapler den Rollbahnen entnommen. An dieser Stelle können langfristig fahrerlose Transportsysteme zum Einsatz kommen. Diese fahrerlosen Transportsysteme gliedern sich als eigenständige CPS Systeme in das IIoT an und können Fahraufträge von anderen CPS-Systemen erhalten.[Bub+14]

Als Beispiel könnte hierfür ein AGV-860.01 Transportsystem der Firma GEBHARDT Fördertechnik GmbH eingesetzt werden.



[GEB]

Abbildung 7.28: AGV-860.01 Transportsystem der Firma GEBHARDT Fördertechnik GmbH

Das AGV-860.01 Transportsystem ist bis zu einer Traglast von 1500Kg zugelassen[GEB]. Dieses Fahrersystem kann die Anlage Just-in-Time mit Material bestücken. Hierdurch können die Bretter am Zulegetisch, je nach Verbrauch, automatisch und durch die Anlage angestoßen nachgeliefert werden. Des Weiteren kann der Abtransport der fertigen Flansche über ein solches System organisiert werden. Durch den Einsatz von fahrerlosen Transportsystemen kann sichergestellt werden, dass die Maschine aufgrund fehlender Materialien oder Kapazitäten nicht mit dem Produzieren aufhören muss.

## 7.18 Die SPS im industriellen vierten Zeitalter

Der Einsatz von speicherprogrammierbaren Steuerungen hat mit dem Hintergrund der Industrie 4.0 den Nachteil, dass sie nicht auf die Kommunikation und Speicherung von großen Datenmengen der smarten Sensoren und Aktoren ausgelegt sind. In einer solchen vernetzten Anlagen- und Firmenstrukturen haben SPS-Steuerungen trotz dieses Nachteils nicht ausgedient, da die Verlegung einer SPS oder gar eines Motion Controllers in die Cloud in der heutigen Zeit nur bedingt möglich ist. Dieses rührt daher, dass die Steuerungsprozesse einer Anlage im Milisekundenbereich erfolgen, was je nach Standort von dessen Internetanbindung nicht gewährleistet werden kann. Gerade harte Echtzeitanforderungen verzeihen keine Verzögerungen in der Antwortzeit von Systemen.[Wag19] Um eine Überlastung der SPS durch die Flut an Daten dabei zu umgehen, hat die Firma ifm den Y-Weg der Sensordaten entwickelt.[UWJ18d]



Abbildung 7.29: Der Y-Weg der Sensordaten zum IIoT  
[ifmc]

Der Datenstrom wird bei dem Y-Weg in zwei Datenströme eingeteilt. Einer beinhaltet die Daten, die für die Steuerung der Anlage relevant sind und der zweite beinhaltet die Ströme, die für die Cloud von Relevanz sind. Der Datenstrom, der in der Cloud für Condition Monitoring gebraucht wird, nimmt direkt den Weg vom Sensor in ein ERP-System und umgeht die SPS. Hierdurch wird die Zykluszeit der SPS nicht beeinträchtigt.[UWJ18d]

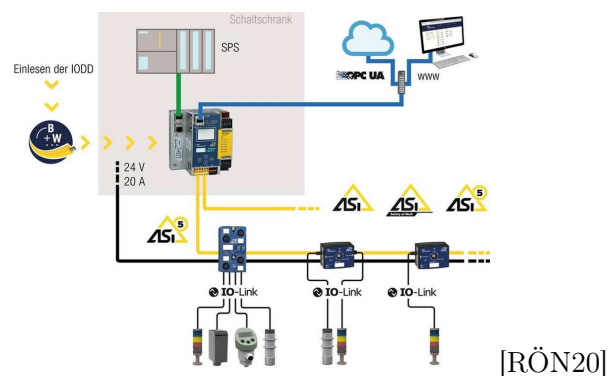


Abbildung 7.30: Technische Realisierung de Y-Weges der Sensordaten

Bild 7.30 zeigt beispielhaft eine mögliche Realisierung des Y-Weges für die Anlage 1 auf. In

dieser Applikation besitzt der AS-i 5 Master von Biehl und Wiedemann zwei IP Adressen. Eine SPS adressiert den AS-i 5 Master über die Profinet-Leitung (grüner Strich) und eine zweite IP-Adresse wird für die Kommunikation mit dem OPC-UA Server (blaue Leitung) des ERP-Systems verwendet. Über den OPC-UA Client werden alle Felddaten inklusive der für die Steuerung relevanten Daten an den OPC UA Server gesendet. Die Steuerung selber erhält nur die Daten, welche für ihre Aufgabe des Steuerns relevant sind. Dieser getrennte Aufbau mit zwei unterschiedlichen IP Adressen sorgt für weniger Konflikte zwischen der Automatisierung und der IT-Netzwerktechnik.[UWJ18e]

Im neuen industriellen Zeitalter ist die SPS durch die Vollvernetzung der Anlagen als zentrale Steuerintelligenz keineswegs überflüssig geworden. Die S7 1500 der Anlage kann beispielhaft nach Bild 7.31 mit einem IIoT verbunden werden.

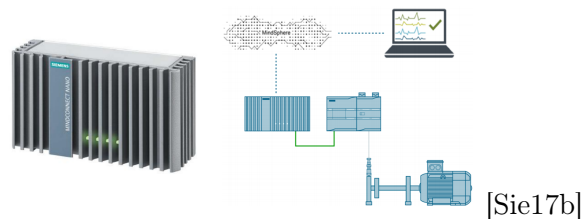


Abbildung 7.31: Mind Connect Nano zur Übertragung von SINAMICS Daten in die Cloud

Mit dem MindConnect Nano kann eine Siemens SPS mit einem IIoT verbunden werden. Hierdurch kann sie die aktuellen Steuerdaten der SINAMICS Antriebe an das IIoT senden ebenso wie sie Werte empfangen kann, wodurch sich die SPS-Daten und damit die Antriebe automatisch optimieren lassen. [Sie17b]

## 7.19 Die ERP- und MES- Ebene der Augustus Hildebrandt GMBH

Nachdem in den vergangenen Kapiteln durch den Einsatz von intelligenten Aktoren und Sensoren auf der Feld- und Steuerungsebene ein condition monitoring, sowie die Möglichkeit der Selbstoptimierung erreicht wurde, wird nun eine Betrachtung der verbleibenden Ebenen unternommen.

Die Firma August Hildebrandt setzt derzeit schon das ERP-System proALPHA vom gleichnamigen Hersteller ein. Dieses findet bis dato nur Anwendung auf der ERP-Ebene. Für die Produktionsfeinplanung und -steuerung auf der MES werden die vom ERP-System zur Verfügung gestellt und händisch in eine Excel-Tabelle überführt. Die Ergebnisse der Produktionsfeinplanung werden über Produktionszettel in die Produktion übergeben. Ein Bediener füttert die Anlage nun zum Beginn eines jeden Auftrages mit den Informationen des Produktionszettels. Diese Arbeitsabläufe müssen für eine Industrie 4.0 Betrachtungen aus der ERP-Ebene, über eine IT-Infrastruktur, angestoßen werden können. proALPHA kann die Firma August Hildebrandt auf dem Weg zum vierten industriellen Zeitalter unterstützend begleiten. Über die



integrierte CA-Link Technologie kann nahezu jedes marktübliches CAD-System an das ERP-System angeschlossen werden. Hierdurch lassen sich Digitale Zwillinge der Anlagen bilden und diese mit Daten aus der realen Welt versorgen.[pro18a]

Darüber hinaus ist proALPHA in der Lage mit der Integration Workbench (INWB) Anlagen, Maschinen, sowie deren Sensoren, standort- und länderübergreifend mit dem ERP-System zu verbinden. Wird proALPHA als Cloudlösung einheitlich in die Firma integriert, so ist der Workbench durch die flexible und kostengünstige Skalierbarkeit kein Limit für Schnittstellen gesetzt, was ein entscheidender Faktor für die Vernetzung von Anlagen, Produktionssystemen und Werkzeugen für die Industrie 4.0 darstellt.[pro18b]

Darauf aufbauend bietet proALPHA eine Plattformlösung an, mit welcher sich Cyber-Physikalsiche Produktionssysteme (CPPS), BIG Data Analytics von Proess-, Produktions- und Qualitätsdaten zum automatischen optimieren der Prozesse und vermeiden von Fehlern realisieren lassen.[pro18c]

## 7.20 Die Konsequenz für die Automatisierungspyramide

Die bisherige Automatisierungs- und Produktionswelt orientierte sich am klassischen und uns sehr vertrauten Bild der Automatisierungspyramide. Ihre einzelnen Ebenen von der Feldebene (Level0) bis zur Unternehmensebene (Level4) hat ihre klar abgesteckte Abgrenzung und konnte nur mit einer angrenzenden Ebene kommunizieren.

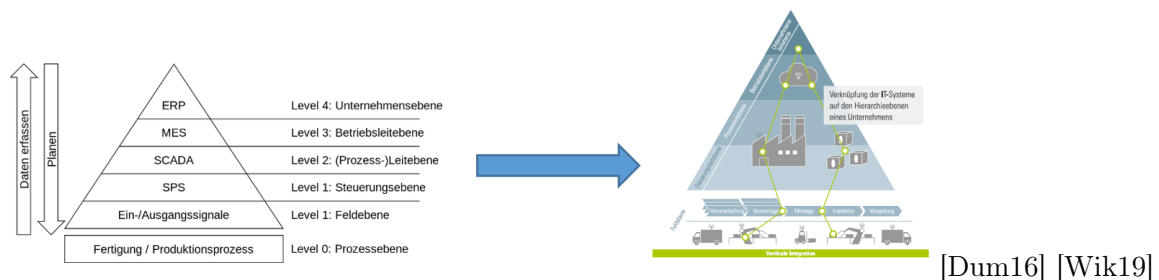


Abbildung 7.32: Auflösung der Automatisierungspyramide

Durch die Vollvernetzung der produzierenden Unternehmen, von der Feldebene (Level1) bis hin zur Unternehmensebene (Level 4), gehen Unternehmensbeschreibungen nach der klassischen Automatisierungspyramide verloren. Die Sensoren und Aktoren werden immer intelligenter und fangen an, immer mehr Prozessdaten zu senden.[Dum16]

Den Sensoren ist nun die Möglichkeit gegeben, direkt von der Feldebene in die MES- und ERP-Ebene zu kommunizieren, ohne dabei die anderen Ebenen zu berücksichtigen. Dies sorgt für eine Auflösung der bekannten hierarchisch geordneten Ebenen und erzeugt das Referenzmodell der vertikalen Integration. Die Produktion kann in der Vertikalen nun Informationen zwischen Maschinen, Produktionsanlagen und Lagersystemen selbstständig austauschen.

## 8 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

### 8.1 Zusammenfassung

In den vergangenen 25 Jahren, wandelte sich der Markt getrieben vom internationalen Wettbewerb, von einem national orientierten hin zu einem international orientierten Markt. Diese zunehmende Globalisierung der Märkte und Produktion ging an der August Hildebrandt GmbH nicht spurlos vorbei. Die Kunden der globalisierten Märkte forderten eine schnelle Verfügbarkeit der Waren, bei einem stetig steigenden Grad ihrer Individualisierbarkeit. Die globalen Märkte verlangen deshalb eine zunehmend durchgehende Anlagenverfügbarkeit in einer leistungsstarken Produktion, die die Wünsche der Kunden ab einer Losgröße von 1 unmittelbar erfüllen können. Produzierende Unternehmen sind nun gefordert, ständig in neue Technologien zu investieren, um den Anforderungen des Marktes gerecht zu werden. Mit der Zielsetzung dieser Bachelorarbeit wurde anhand einer Anlage der Firma August Hildebrandt aufgezeigt, wie ein Produktionsweg mit veralteter Steuerungstechnik für die Anforderungen der Gegenwart gerüstet werden kann. Davon ausgehend wurde eine Betrachtung der Anlage für eine mögliche Steuerungsrealisierung im vierten industriellen Zeitalter unternommen.

Zum Beginn dieser Bachelorarbeit wurde ein Istzustand der Anlage dokumentiert. Die Anlage umfasst 3 Steuerpulte und einen Hauptschaltschrank. Die Anlagensteuerung wird bisher mit ein Master-Slave Verbund aus drei Siemens S5-95U CPUs realisiert, wodurch in der Anlage eine sektionsweise Steuerung realisiert werden, deren Prozessabläufe durch die Master-CPU angestoßen werden. Die drei S5-95U CPUs teilen sich auf drei Steuerpulte der Anlage auf. Jede der S5 CPUs besitzt eine HMI über die ihre Sektion gesteuert wird. Über IO-Baugruppen, welche mittels Profibus DP mit der CPU kommunizieren, werden die Schütze der motorischen Aktoren geschaltet, sowie ein Auslösen von Motorschutzschaltern erkannt. Auf der Feldebene werden mittels AS-i Bus die pneumatischen und hydraulischen Aktoren angesteuert sowie die Initiatoren zum Erkennen von Endlagen und zur Positionierung der Flansche in den Stationen Frässtation und Bohrstation mit der Steuerung verbunden. Des Weiteren werden mit dem AS-i Bus die sicherheitsgerichteten Türen geschaltet und überwacht sowie das Betätigen eines Not-Halt Schalters eingelesen. Die Fräswerkzeuge der Frässtation, der Antrieb der Drehteller in der Bohrstation und der Verfahrantrieb des Verfahrwagens werden über KEB Frequenzumrichter realisiert welche über den Profibus DP mit der Steuerung kommunizieren. Der Drehteller der Frässtation wurde über ein SEW Frequenzumrichter mit Servomotor als Closed Loop Applikation realisiert, welche über den Profibus DP mit der Anlage kommuniziert. Während der Aufnahme der einzelnen Komponenten, wurde festgestellt, dass die S5-95U, die



IO-Baugruppen sowie die Frequenzumrichter der Firma KEB bereits schon einige Jahre von den Herstellern abgekündigt sind und ein erhebliches Risiko für die Anlagenverfügbarkeit darstellen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Berechnung zur Anlagenverfügbarkeit nach VDI 3423 durchgeführt. Es wurde für den Betrachtungszeitraum 2019 eine technische Nutzungszeit von 3139,85 Stunden errechnet, was 78,18% der Belegungszeit entspricht. Diese Berechnung und die Tatsache, dass viele Schaltungskomponenten abgekündigt sind, zeigte die dringende Notwendigkeit eines Retrofits auf.

Auf Basis des erfassten Anlagenzustandes wurde die neue Steuerungstechnik ausgelegt. Für die Realisierung der neuen Steuerungstechnik wird auf Frequenzumrichter, die SPS, die IO-Baugruppen sowie die Motorstarter als Ersatz für die Direkt- und Wendeschützsaltungen aus dem Hause Siemens zurückgegriffen. Der Einsatz von Steuerungshardware aus dem Hause Siemens resultiert daraus, da die Firma RK-Automation Siemens Solution Partner ist, wodurch ein Ausweichen auf andere Hardwarekomponenten zu einer teureren Umsetzung des Projektes führen würde. Darüber hinaus besitzt die Firma RK-Automation jahrelange Erfahrung in der Programmierung und Parametrierung von Siemens Peripherien, wodurch eine Softwareentwicklung und spätere Inbetriebnahme kostenoptimiert erfolgen kann. Der Profibus DP wird im Rahmen des Projektes durch Profinet getauscht. Für die neue Steuerung wurde eine S7-1500 ausgewählt um den Anforderungen einer Umsetzung des Automatikbetriebes mit Graph-Schrittketten des Pflichtenheftes nachzukommen. Für den Antrieb der Servomotoren der fräsenden Achsen in der Frässtation wurden auf S120 zurückgegriffen, da nur diese für diese Art der Oberflächenbearbeitung von Werkstücken aus dem Hause Siemens geeignet sind. Darüber hinaus wird der Drehteller der Frässtation von einer SEW Closed Loop Antriebsrealisierung auf eine Siemens Closed Loop, bestehend aus einem S120 Frequenzumrichter und einem Servomotor umgerüstet. Dieses beruht darauf, da der SEW nur eine Kommunikation über Profibus DP mit der Steuerung anbietet und weil eine Closed Loop Lösung aus dem Hause Siemens über das eingesetzte TIA-Portal leichter zu parametrieren ist. Die Wendeschütz- und Direktschützsaltungen werden durch ET200Sp Motorstarter als Direkt- oder Reversierstarter aus dem Hause Siemens getauscht. Die Motorstarter verfügen über eine Diagnosefähigkeit der Motoren, was eine Anschaltung der Motoren mit Schützen nicht bietet. Für die Feldebene wird weiterhin der AS-i Bus verwendet. Die Sensoren auf der Feldebene werden im Rahmen des Retrofit-Projektes nicht getauscht und kommunizieren weiterhin über den AS-i Bus mit der Anlage. Darüber hinaus wurde der vorhandene AS-i Bus durch das Retrofitprojekt nur für das Ansteuern der pneumatischen Achsen verwendet. Die Hydraulischen Achsen werden über ein eigenes Interfacemodul ET200SP geschaltet, welche fehlersichere und nicht fehlersichere digitale, sowie analoge Ein- und Ausgangsbaugruppen besitzt. Zusätzlich wird die Anlage um eine Fernbedienung, zum Verfahren von motorischen Antrieben in der Frässtation und Bohrstation ergänzt. Hierfür wurde der DOLD SAFEMASTER W ausgewählt, welcher eine einhändige Bedienung unterstützt. Die Anbindung der sicherheitsgerichteten Peripherien wurde im Rahmen des Retrofit-Projektes vom AS-i Bus losgelöst realisiert. Hierfür wurden auf den verwendeten Interfacemodulen fehlersichere digitale IO-Baugruppen verwendet, welche mittels Profinet mit

der SPS kommunizieren und die gesteuert werden können. Darüber hinaus wurden alle Sicherheitsschalter von Zugangstüren sowie die Not-Halt Schalter auf Basis einer Risikobeurteilung neu ausgelegt. Die Anlage erhält im Rahmen des Retrofit-Projektes zwei HMIs über die eine vollständige Steuerung der Anlage ermöglicht wird.

Für die Auswahl von sicherheitsgerichteten Peripherien wurden eine Risikobeurteilung der Anlage nach ISO12100 unternommen. Dabei wurden für jede motorische, pneumatische und hydraulische Achse der bestimmungsgemäße Gebrauch und mögliche Gefährdungen für den Bediener formuliert. Die erkannten Gefährdungen wurden nach DIN EN ISO 13849-1 durch das Verfahren des erforderlichen Performance Level PLr bewertet und durch Kleinbuchstaben von a bis e klassifiziert. Mit der Klassifizierung von Gefahren wird ein nötiger Aufwand zur Gefahrenminderung erkenntlich. Eine Klassifizierung mit a benötigt sehr wenig bis kein Aufwand und eine Klassifizierung von e hingegen den höchsten Aufwand. Nach der Bewertung der Risiken erfolgte eine Risikominderung durch drei Schritte nach DIN EN ISO 12100. Im ersten Schritt wurden durch eine externe Firma mit einer inhärenten Konstruktion versucht, die Gefährdungen zu minimieren. Der dabei entstandene Sicherheitszaun wurde mit Türen für Wartungs- und Reinigungsarbeiten versehen. Hierfür wurde im zweiten Schritt der Risikominderung nach der DIN EN ISO 12100 das Passieren der Türen mit technischen und ergänzenden Schutzmaßnahmen versehen. Auf Basis der zuvor ermittelten Klassifizierung der Gefahren und der Richtlinie zur Auswahl der Türsicherheitsschalter nach DIN EN ISO 14119 kommen hauptsächlich Sicherheitsschalter ohne Zuhaltung zum Einsatz. Einzig die Frässtation erhält Türsicherheitsschalter mit Zuhaltungen. Dies wurde losgelöst von DIN EN ISO 14119 entschieden, da eine erhebliche Gefährdung durch umher fliegende Splitter für den Bediener beim Betreten der Fräskabine entsteht. Durch die Zuhaltung wird gewährleistet, dass ein Bediener erst in die Kabine eintreten kann, wenn alle Antriebe stehen. Im Anschluss wurden die gewählten sicherheitsgerichteten Peripherien, sowie die hydraulische und die pneumatische Schaltungsrealisierung, welche von anderen Firmen projektiert wurden, validiert. Risiken, die nicht durch die ergriffenen Maßnahmen entschärft werden konnten, werden als Restrisiko in einer Benutzerinformation festgehalten. Für die Softwareentwicklung wird das TIA Portal V15.1 eingesetzt. Diese Entwicklungsumgebung der Firma Siemens unterstützt den programmierenden Anwender aktiv durch zusätzliche Erweiterungssoftware und eine Simulation der programmierten Software. Während der Programmierung wurde und wird ein direkter, kontinuierlicher Dialog mit dem Kunden geführt, sowie die Anforderungen des Pflichtenheftes berücksichtigt. Der Automatikbetrieb wurde nach den Anforderungen des Pflichtenheftes mit Graphschrittketten realisiert, was eine Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit des Programms erhöht und die Fehlersuche vereinfacht. Darüber hinaus erhält der Bediener durchgehend über die Meldeanzeige der Anlage eine anweisungs- und feedbackgestützte Bedienerführung. Somit entstehen keine Situationen, in der der Bediener nicht weiß was zu tun ist und in welchem Zustand sich die Anlage gerade befindet.

Ausgehend vom technischen Stand des Retrofits wurde die Anlage auf eine mögliche Umrüstung für die Anforderungen des vierten industriellen Zeitalter betrachtet. Dabei wurde verstärkt auf

IO-Link gestützte technische Peripherien geachtet. Bei der Auswahl möglicher Beispielperipherien wurde überlegt, welche Dinge einen Mehrwert für den Anlagenbetreiber bieten und welche nicht. Dabei wurde ein Augenmerk auf die Erreichung der Predictive Maintenance Fähigkeit und einer Fertigungsmöglichkeit ab der Losgröße 1 bei vollständiger Individualisierbarkeit der Produkte gelegt. Weiterhin konnte durch den Einsatz von Robotern, aufgezeigt werden, wie ein möglicher Lösungsansatz für den Wechsel von einer halbautomatischen Anlage hin zur einer vollautomatischen Anlage vollzogen werden kann. Zum Erhalt einer CPPS Struktur, welche über das IIoT weitere Prozesse anstoßen kann, wurde die Intralogistik für die Zu- und Abtransporte der Anlage 1 unternommen. Hierbei wurde ein möglicher Einsatz von fahrerlosen Transportsystemen (FTS) in Betracht gezogen, welche die Anlage kontinuierlich mit Brettern versorgen sowie von fertigen Flanschen befreien kann. Neben der Anlage und der Intralogistik wurde eine kleine Betrachtung des verwendeten ERP-Systems der Firma August Hildebrandt GmbH unternommen und auf eine mögliche Zukunftsfähigkeit untersucht. Hierbei ist herausgekommen, dass die Firma August Hildebrandt das ERP-System proALPHA vom gleichnamigen Hersteller verwendet. Dieses bietet eine Komplettlösung von der Bestellabwicklung und Grobplanung der Produktion der ERP-Ebene bis zur Produktionsdurchführung und Überwachung der Prozessleitebene und Steuerungsebene an. Darüber hinaus bietet es als cloudbasierte Version die Realisierung von Cloudcomputing, welches eine kostenoptimierte Errichtung von Big Data Analytics von strukturierten und unstrukturierten Daten der Produktionsanlage ermöglicht. Mit der CAD-Link Fähigkeit von proALPHA ist es möglich, die Anlage als digitalen Zwilling einzubinden, wodurch der Grundstein der Anlage für eine Selbstoptimierung sowie Predictive Maintenance im Sinne eines CPPS der Anlage errichtet werden kann. Bei der Firma August Hildebrandt wird dieses bisher nur auf der ERP-Ebene verwendet.

## 8.2 Fazit und Ausblick

Bei der Betrachtung einer optionalen Aufrüstung der Anlage 1 für einen Betrieb im vierten industriellen Zeitalter, müssen neben den in dieser Arbeit dargestellten notwendigen Anpassungen der Anlage, ein Ausbau des Breitbandinternets bis zur Anlage erfolgen. Darüber hinaus muss für die Etablierung einer unbemannten Intralogistik die Art der Lagerhaltung der Firma August Hildebrandt GmbH inspiziert und gegebenenfalls an die Anforderungen der neuen Transportsysteme angepasst werden. Die Einführung eines IIoT in der alle Anlagen des Produktionsstandorts Schwerin als CPPS-System eingebunden sind, bieten nun neben der Fähigkeit der Selbstoptimierung und des Predictive Maintenance den Vorteil, dass sie Transportanforderungen für Zu- und Abtransporte mit unbemannten Transportsystemen selbstständig anfordern können. Darüber hinaus sollten die Anlagen aller Standorte bei der Wegbeschreibung zur Industrie 4.0 auf Gemeinsamkeiten in der Produktionsdurchführung untersucht werden, wodurch erfolgreiche Optimierungen einer Anlage über das IIoT für ähnliche Anlagen, die europaweit und später auch an weltweiten Standorten verteilt sein werden, leicht übertragen werden können. Zudem kann eine nahezu vollständige automatische Produktion erreicht werden, wodurch sich die Belegungszeit der Anlagen erhöhen könnte. Für die Produktions-, Standortleitung und

die Geschäftsführung bietet das verwendete ERP-System von proALPHA die Möglichkeit, alle relevanten Betriebs- und Produktionsdaten schnell abzurufen und Grafisch darzustellen, was ihre Interpretation erleichtert. Schnell können ungewollte Zustände und zusätzliches Optimierungspotential erkannt und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Neben all den technischen Vorteilen die das vierte industrielle Zeitalter zur Steigerung der gesamten Produktivität bietet, dürfen die sozialen Aspekte dabei nicht vernachlässigt werden. Die Mitarbeiter können den neuen Technologien mit Ablehnung und Skepsis begegnen. Dieses kann darin begründet sein, dass um die Existenz des eignen Arbeitsplatzes gefürchtet wird und sich gerade ältere Produktionsmitarbeiter durch die neue Technik abgehängt fühlen können. Daher sollte sich das Management bereits vor dem Beginn eines solchen Projektes ein Konzept für die Integration, sowie Schulung der Mitarbeiter überlegen. Ein guter Ansatz für die Zukunft kann die Bildung von kollaborierende Systemen sein, wodurch eine Zusammenarbeiten von Mensch und Maschine bzw. Mensch und Anlage erreicht wird und nicht durch die Anlage oder Maschine ersetzt wird.

Aber nicht nur das Management von Unternehmen muss sich auf die verändernde Arbeitswelt und deren Konsequenzen einstellen, auch die Politik muss auf die kommenden Veränderungen reagieren. So müssen neue Bildungs- und Schulungsprogramme erschaffen werden, welche Fachkräften von aussterbenden Berufsfeldern neue Perspektiven in anderen Branchen bietet.

Bei der Umsetzung des Retrofits musste zu Beginn der Schaltplan der Anlage aus 1997 auf Konsistenz geprüft werden. Dabei hat sich herausgestellt, dass Änderungen in der Anlage vorgenommen wurden, die im Schaltplan nicht nachgetragen oder ausgetragen wurden. Dies hat zum Teil eine Änderung der bereits erstellten Programmsoftware erforderlich gemacht. Zudem haben Lieferzeiten von Komponenten, Bestellstatus des Kunden, die Produktionsplannungen des Kunden August Hildebrandt GmbH, sowie noch ausstehende Verkabelungs- und Umschwenkarbeiten vom alten Schaltschrank auf den neuen Schaltschrank die vollständige Inbetriebnahme der neuen Steuerungstechnik auf Mitte Oktober 2020 verschoben.

Das Projekt hat für den Autor dieser Arbeit viele Erkenntnisse im Bereich der Steuerungsprojektierung, Aufnahme von bestehenden Anlagen, Programmierung von Steuerungen und Parametrierung von Frequenzumrichter S120 und G120 eingebracht. Des Weiteren hat die Erstellung des Sicherheitskonzeptes sowie die Berechnung der Anlagenverfügbarkeit Erfahrungswerte im Umgang, Deutung und Anwendung von Normen für den Autor beinhaltet. Durch die Industrie 4.0 Betrachtung der Anlage konnte beispielhaft ein mögliche Anbindung der Anlage an ein ERP-System erstellt werden. Während der Betrachtung stellte die Kommunikation der Daten zwischen Sensoren, Sinamics Antriebe und der SPS im Sinne des Predictive Maintenance in ein ERP-System sowie das Empfangen von optimalen Werten aus dem ERP-System eine sehr erkenntnisreiche Rolle für alle Beteiligten. Die Firma RK-Automationen wird die, im Rahmen dieser Bachelorarbeit gewonnenen Erkenntnisse bei zukünftigen Projekten mit einfließen lassen.

Im weiteren Verlauf des Jahres 2020 wird die Anlage final in Betrieb genommen. Hierbei werden noch mit möglichen Änderungswünschen des Kunden gerechnet welche im Vorfeld nicht erkennbar sind. Darüber hinaus wird eine intensive Schulungsphase für die Bediener der Anlage erfolgen. Im Nachgang wird die Firma RK-Automation diese und weitere Anlagen technisch betreuen, sowie als ein beratender Partner für die Steigerung der Gesamtproduktivität der Firma August Hildebrandt GmbH erhalten bleiben.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Kapitelübersicht der Arbeit . . . . .	3
2.1	Übersicht Flanschplatten . . . . .	5
2.2	Anlagenübersicht . . . . .	6
2.3	Zulegetisch der Station A-Zulegestation . . . . .	7
2.4	Hubtisch Zulegestation und Einzug Bandsäge . . . . .	7
2.5	Obere Pinole B-Bandsäge . . . . .	8
2.6	Station B-Bandsäge . . . . .	8
2.7	Station C-Nagelmaschine . . . . .	9
2.8	Mitnehmerbohrer der Station D-Bohrstation . . . . .	10
2.9	Trommelbolzen-, Drehteller und Achsplattenbohrer der Station D-Bohrstation .	10
2.10	Übersicht der Werkzeuge in der E-Frästation . . . . .	11
2.11	Station F-Verfahrwagen . . . . .	12
2.12	Die Bürsten der Station G-Ausschieber . . . . .	13
2.13	Der Ausschieber der Station G-Ausschieber . . . . .	13
2.14	Station H-Hubtisch . . . . .	14
2.15	Ausschnitt Übersicht Station I-Montage . . . . .	15
2.16	Sicht auf die Montagelinie von der Fräskabine . . . . .	15
2.17	Transportsystem im Entstehungsprozess . . . . .	16
2.18	Vollendetes Leitungstransportsystem . . . . .	16
3.1	Verteilung der S5-95U CPUs in der alten Anlagensteuerung . . . . .	17
3.2	Dezentrale IO-Baugruppe ET200B . . . . .	19
3.3	Ausschnitt aus dem alten Schaltplan . . . . .	19
3.4	Querschnitt einer AS-i Busleitung . . . . .	22
3.5	Beispiel eines AS-i Dives (Slaves) in der Anlage 1 . . . . .	22
3.6	Technische Realisierung der Positionserkennung eines Pneumatikzylinders . . .	23
3.7	Technische Realisierung der Positionserkennung einer Hydraulikachse . . . . .	24
3.8	Siemens Simatic Operator Panel OP5 und Operator Panel OP27 . . . . .	25
3.9	Operator Panel Verteilung in der Anlage 1 . . . . .	25
3.10	Handkurbel und Bandmaß zur Verstellung der Werkzeugachsen . . . . .	26
3.11	Belegungszeit im Verhältnis zum Betrachtungszeitraum . . . . .	28
3.12	Wartungszeit im Verhältnis zur Belegungszeit . . . . .	28
3.13	Organisatorische Azufallzeit im Verhältnis zur Belegungszeit . . . . .	29
3.14	Nutzungszeit im Verhältnis zur Belegungszeit . . . . .	29

4.1	Interfacemodul Sinamic ET200SP . . . . .	33
4.2	Eingangsbaugruppe DI und Sicherheitsbaugruppe F-DQ mit Base-Unit . . . . .	33
4.3	Interfacemodul des Schaltschranks im TIA-Portal . . . . .	34
4.4	Interfacemodul des Pults im TIA-Portal . . . . .	35
4.5	AS-i Airbox AC5271 und AS-i Device AC5205 . . . . .	36
4.6	Hardwarekonfiguration im TIA-Portal aller Motorstarter . . . . .	38
4.7	Siemens Simatic CPU S7-1200 und S7-1500 . . . . .	39
4.8	Siemens SIMATIC HMI TP1200 Comfort Panel . . . . .	40
4.9	Neue Anordnung der HMI . . . . .	40
4.10	DOLD SAFEMASTER W . . . . .	41
5.1	Graph zum Ermitteln des erforderliche Performance Level PLr . . . . .	48
5.2	Bewertung des Verletzungsschweregrads der unteren Pinole . . . . .	49
5.3	Bewertung der Häufigkeit einer Gefahrensituation . . . . .	49
5.4	PLr-Ergebnis für die erste Gefährdungssituation der unteren Pinole . . . . .	50
5.5	PLr-Ergebnis für die zweite Gefährdungssituation der unteren Pinole . . . . .	50
5.6	Inhärente Konstruktion der Anlage . . . . .	52
5.7	Türen der inhärenten Konstruktion Station A und B . . . . .	54
5.8	Anordnungsmöglichkeiten des Euchner Türschalters CES-I-AP . . . . .	55
5.9	Anordnungsmöglichkeiten des Euchner Türschalters CES-I-AP . . . . .	56
5.10	Frässtation mit Fräskabine . . . . .	57
5.11	Türzuhaltung der Fräskabine der Frässtation . . . . .	57
5.12	Fangtasche mit Zuhaltebolzen . . . . .	58
5.13	Anschaltung des Türsicherheitsschalter mit Zuhaltung . . . . .	58
5.14	Anschaltung der Motorstarter zum Aktivieren der STO-Funktion . . . . .	59
5.15	Sicherheitsgerichtetes Pneumatik 5/2 Wegeventil . . . . .	60
5.16	Klemmkartusche am Pneumatikzylinder . . . . .	61
5.17	AS-i Airbox mit 5/3 Wegeventil . . . . .	61
5.18	Darstellung der Zweiwegerückschlagventile im Schaltplan der Pneumatik . . . . .	62
5.19	Pneumatik-Schaltplan des Hubtisches in der Zulegestation . . . . .	63
5.20	Hydraulik 4/3 Wegeventil zur Ansteuerung der Zylinder . . . . .	63
5.21	Doppelrückschlagventil im Hydraulikschaltplan . . . . .	64
5.22	Übersicht des Hydraulikschaltplans am Beispiel der Bohrstation . . . . .	64
5.23	Inhärente Konstruktion mit Not-Halt . . . . .	65
5.24	Redundante Not-Halt Anschaltung . . . . .	66
5.25	Dolt Zustimmtaster SAFEMASTER W . . . . .	67
5.26	Ansteuerungsperipherien Motorstart, Sinamics S120, Sinamics G120 . . . . .	68
5.27	Bewehrte pneumatische Beispielapplikation . . . . .	69
5.28	Pneumatikbeschaltung zur Positionierung des Reibrades B-Bandsäge . . . . .	70
5.29	Bewährte hydraulische Beispielapplikation . . . . .	71
5.30	Hydraulische Ansteuerung Trommelbolzen rechts . . . . .	72

6.1	Überischtsbild HMI . . . . .	78
6.2	Anmeldefenster für die Benutzer . . . . .	79
6.3	Ansicht der Teilstation E-Frässtation . . . . .	80
6.4	Ansicht für Automatikbetrieb . . . . .	80
6.5	Ansicht für Handbetrieb . . . . .	81
6.6	Ansicht für Einrichtbetrieb . . . . .	82
6.7	Ansicht der Rezeptur . . . . .	83
6.8	Ansicht der Meldungen und Diagnose . . . . .	84
6.9	Gruppierung der Ein- und Ausgänge . . . . .	85
6.10	Gruppierung der Ein- und Ausgänge . . . . .	86
6.11	Initialschritt der Schrittketten . . . . .	87
6.12	Schrittanweisung in einer Schrittkette . . . . .	87
6.13	Supervision in einer Schrittkette . . . . .	88
6.14	Realisierung von Hand- und Einrichtbetrieb . . . . .	89
6.15	Berechnung Gradzahl je Trommelbolzenbohrung . . . . .	90
6.16	Vergleich der Gradmaße von Bohrungen . . . . .	90
7.1	Sich ändernde Betrachtungsweise der Industrie auf den Kunden . . . . .	95
7.2	Darstellung der Komponenten eines Cyber-Physische Systeme . . . . .	97
7.3	Entwicklung der zukünftigen Steuerungstechnik . . . . .	99
7.4	Klassische Automatisierungspyramiede . . . . .	100
7.5	IO-Link Anschluss . . . . .	101
7.6	IO-Link Funktionsbausteine . . . . .	101
7.7	IO-Link Funktionsbausteine . . . . .	102
7.8	IO-Link Master für AS-i Bus und Schaltschrank . . . . .	103
7.9	Drosselventile im Schaltplan des Retrofits . . . . .	105
7.10	Tausch Drosselventil gegen IO-Link Drosselventil . . . . .	105
7.11	Tausch AS-i Airbox gegen Festo Ventilinsel MPA-L . . . . .	106
7.12	Thermischer Druckluftzähler der Firma ifm . . . . .	106
7.13	Grafische Darstellung der Leckagenüberwachung . . . . .	107
7.14	Erkennung der Endlagen in der Anlage 1 . . . . .	108
7.15	IO-Link-Seilzug-Sensor . . . . .	108
7.16	Bosch-Rexroth IO-Link Regel-Wegeventile . . . . .	110
7.17	Derzeitige Realisierung des Schleichgangs . . . . .	110
7.18	Leckagenüberwachung der Hydraulikbereiche . . . . .	111
7.19	Tausch Motorstarter gegen Frequenzumrichter G120 . . . . .	112
7.20	Beispielapplikationen des Condition Monitoring Sensors . . . . .	112
7.21	Beispiel eines DRIVE-CLiQ Motor mit FU S120 . . . . .	113
7.22	RFID-Sensor und RFID-Reader . . . . .	114
7.23	Möglicher Umbau der Zulegestation . . . . .	115
7.24	NOVEXX Etikettiersystem mit RFID-Writer . . . . .	116



7.25	Mögliche neue Gestaltung der Montagelinie . . . . .	117
7.26	Bestückung der Holzlagerwagen . . . . .	118
7.27	Station H-Hubtisch mit Rollenbahn . . . . .	119
7.28	AGV-860.01 Transportsystem der Firma GEBHARDT Fördertechnik GmbH . .	119
7.29	Der Y-Weg der Sensordaten zum IIoT . . . . .	120
7.30	Technische Realisierung de Y-Weges der Sensordaten . . . . .	120
7.31	Mind Connect Nano zur Übertragung von SINAMICS Daten in die Cloud . . .	121
7.32	Auflösung der Automatisierungspyramide . . . . .	122

# Tabellenverzeichnis

3.1	Übersicht Motoren der Station E-Frässtation . . . . .	21
3.2	Übersicht der zu verstellenden Werkzeugachsen . . . . .	26
4.1	Aktuelle Motoransteuerung . . . . .	37
4.2	Neue Motoransteuerung der fräsenden Werkzeuge . . . . .	37
4.3	Neue Motoransteuerung der Code-Karte und Vorschub Fasenfräser . . . . .	38
5.1	Tabellenübersicht zum Festlegen der Grenzen . . . . .	44
5.2	Tabellenübersicht Layout Motorstarter . . . . .	44
5.3	Tabellenübersicht Gefahrensituation Pneumatik . . . . .	46
5.4	Tabellenübersicht Gefahrensituation Hydraulik . . . . .	47
5.5	Tabellenübersicht erforderliches Performancelevel PLr der unteren Pinole . . . . .	48
5.6	PLr untere Pinole für Automatik- und Handbetrieb . . . . .	53
5.7	Erforderliches Performancelevel Antriebe Bandsäge für Automatik- und Hand- betrieb . . . . .	54
5.8	Erforderliches Performancelevel der Pneumatik in der Zulegestation . . . . .	60
5.9	PLr Handbetrieb und Einrichtbetrieb . . . . .	67



## Literatur

- [Bal20] Balluff. *Datenblatt Condition Monitoring Sensor mit integrierter Datenvorverarbeitung*. Balluff GmbH, 2020. [https://www.crautomation.com/imgsensoren/BCM\\_ConditionMonitoringSensor.pdf](https://www.crautomation.com/imgsensoren/BCM_ConditionMonitoringSensor.pdf), zuletzt abgerufen am: 22.07.2020.
- [Beh20] Sören Behr. *Schaltplan der Anlage 1*. RK-Automation e.K., Juni 2020.
- [Beh97] Christian Behrens. *Schaltplan Anlage 1*. Domino-Anlagenbau GmbH, September 1997.
- [BGW18] Uwe Bracht, Dieter Geckler und Sigrid Wenzel. *Digitale FabrikMethoden und Praxisbeispiele Basis für Industrie 4.0*. Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2018. Kap. Echtzeitdatenerfassung im Rahmen von Industrie 4.0, S. 98.
- [BH17] Thomas Bide und Dieter Hoffmann. *Projektierung von Automatisierungsamlagen - Ein effektive und anschauliche Einführung*. Auflage. 3. Springer Vieweg Wiesbaden, 2017. Kap. Einführung, S. 1.
- [BHV14] Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser, Hrsg. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und LogistikAnwendung · Technologien · Migration*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. 4.3 Sensitive Roboter, S. 50f.
- [Bri] Eli Bridge. *Radio Frequency IDentification (RFID) für Vögel*. Jeff Kelly, PhD. <http://www.animalmigration.org/RFID/index.htm>, zuletzt abgerufen am: 23.07.2020.
- [Bub+14] Alexander Bubeck u. a. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und LogistikAnwendung · Technologien · Migration*. Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser Thomas Bauernhansl Michael ten Hompel. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. Vom fahrerlosen Transportsystem zur intelligenten mobilen Automatisierungsplattform, S. 221f.
- [DGU17a] DGUV. *IFA Report 2/2017 Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen – Anwendung der DIN EN ISO 13849 –*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Berlin, Februar 2017. Kap. 8.2.25 Pneumatische Ventilsteuerung (Subsystem) – Kategorie 3 – PL e (Beispiel 25), S. 184f.
- [DGU17b] DGUV. *IFA Report 2/2017 Funktionale Sicherheit von Maschinensteuerungen – Anwendung der DIN EN ISO 13849 –*. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. DGUV Berlin, Februar 2017. Kap. 8.2.32 Hydraulische Ventilsteuerung (Subsystem) – Kategorie 4 – PL e (Beispiel 32), S. 204f.

- [Die05] Günther Wellenreuther und Dieter Zastrow. *Automatisierung mit SPS Theorie und Praxis*. Vieweg Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/wiesbaden, September 2005, S. 601.
- [DIN11a] DIN. *DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen -Allgemeine Gestaltungsleitsätze- Risikobeurteilung und Risikominderung*: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 2011. Kap. 6. Risikominderung, S. 29.
- [DIN11b] DIN. *DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen -Allgemeine Gestaltungsleitsätze- Risikobeurteilung und Risikominderung*: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 2011. Kap. 6.2.11.8 Grundsätze zu handbetätigten Befehlseinrichtungen (Handsteuerung), S. 39f.
- [DIN13] DIN. *DIN EN ISO 1849-2 Sicherheit von Maschinen-Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen- Teil2: Validierung (iso 13849-2)*. Deutsche Institut für Normung e.V., Februar 2013. Kap. 4 Validierungsverfahren, S. 6ff.
- [DIN14a] DIN. *DIN EN ISO 14119: Sicherheit von Maschinen-Verriegelungseinrichtungen in verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen- Leitsätze für Gesatlting und Auswahl (ISO 14119:2013)*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 2014. Kap. 4 Arbeitsprinzipien und typische Bauformen von Verriegelungseinrichtungen inVerbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen, S. 12.
- [DIN14b] DIN. *DIN EN ISO 14119: Sicherheit von Maschinen-Verriegelungseinrichtungen in verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen- Leitsätze für Gesatlting und Auswahl (ISO 14119:2013)*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 2014. Kap. Nachlauf des gesamten Systems und Zugangszeit, S. 25.
- [DIN16a] DIN. *DIN EN ISO 13850 Sicherheit von Maschinen-Not-halt-Funktion-Gestaltungsleitsätze*. DeutschesInstitutfürNormunge.V., Mai 2016. Kap. 4.3 Not-Halt-Geräte, S. 14–16.
- [DIN16b] DIN. *DIN EN ISO 13850 Sicherheit von Maschinen-Not-halt-Funktion-Gestaltungsleitsätze*. DeutschesInstitutfürNormunge.V., Mai 2016. Kap. 4.6.1 Not-Halt-Funktionen auf tragbaren Bedienstationen, S. 17f.
- [DIN16c] DIN. *DIN EN ISO 13849-1: Sicherheit von Maschinen- sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen-Teil1: Allgemeine gestaltungsleitsätze*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 2016. Kap. A.2 Anleitung für die Auswahl der Parameter S, F und P zur Einschätzung des Risikos, 60f.
- [DIN19a] DIN. *DIN EN 60204-1 Sicherheit von Maschinen- Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil1: Allgemeine anforderungen*. Deutsches Institut für Normungen e.V., Juni 2019. Kap. 5.4 Einrichtungen zur Unterbrechung der Energiezufuhr zur Verhinderung von unerwartetem Anlauf. S. 42.
- [DIN19b] DIN. *DIN EN 60204-1 Sicherheit von Maschinen- Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil1: Allgemeine anforderungen*. Deutsches Institut für Normungen e.V., Juni 2019. Kap. 10.9 Zustimmeinrichtungen, S. 81.

- [DOLa] DOLD. *ANWENDERHANDBUCH SAFEMASTER W Wireless Safety System*. E. Dold Söhne KG Furtwangen. Kap. 3.1.1 Übersicht Zustimmtaster Frontansicht, S. 19. <https://de.dold.com/produkte/schaltgeraete/sicherheitstechnik/wireless-safety-system/kabelloser-zustimmtaster/index.html> zuletzt abgerufen am: 24.05.2020.
- [DOLb] DOLD. *ANWENDERHANDBUCH SAFEMASTER W Wireless Safety System*. E. Dold Söhne KG Furtwangen. Kap. 2 Systemvorstellung, 12f. <https://de.dold.com/produkte/schaltgeraete/sicherheitstechnik/wireless-safety-system/kabelloser-zustimmtaster/index.html>, zuletzt abgerufen am: 02.06.2020.
- [DOLc] DOLD. *Kabelloser Zustimmtaster*. E. Dold Söhne KG. <https://de.dold.com/produkte/schaltgeraete/sicherheitstechnik/wireless-safety-system/kabelloser-zustimmtaster/index.html>, zuletzt abgerufen am: 02.06.2020.
- [DOL13] DOLD. *SAFEMASTER W Wireless Safety System, Zustimmtaster Systemübersicht*. E. DOLD SÖHNE KG, Juli 2013, S. 1. [https://pim.dold.com/api/download/SAFEMASTER\\_W\\_Systemuebersicht\\_Zustimmtaster\\_de.pdf#de](https://pim.dold.com/api/download/SAFEMASTER_W_Systemuebersicht_Zustimmtaster_de.pdf#de), zuletzt abgerufen am: 12.06.2020.
- [Dum16] Roman Dumitrescu. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 12.2 Strategiefindung im Netzwerk, S. 203f.
- [Eig16] Martin Eigner. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 9 Das Industrial Internet Engineering Prozesse und IT-Lösungen, 137f.
- [Euc] Euchner. *Transpondercodierter Sicherheitsschalter CTP-AR, M23, Not-Halt, 2 Drucktaster*. EUCHNER GmbH + Co. KG. Kap. Beschreibung. <https://www.euchner.de/de-de/produkte/transpondercodierte-sicherheitsschalter-mit-zuhaltung/sicherheitsschalter-ctp-ar/ctp-l1-ar-u-ha-aze-sh-126874/#description-tab>, zuletzt abgerufen am: 28.05.2020.
- [Euc19a] Euchner. *Transpondercodierter Sicherheitsschalter CTP-AR, M23, Not-Halt, 2 Drucktaster*. EUCHNER GmbH + Co. KG, Mai 2019. Kap. 6. Funktion, S. 9–10. <https://www.euchner.de/de-de/produkte/transpondercodierte-sicherheitsschalter-mit-zuhaltung/sicherheitsschalter-ctp-ar/ctp-l1-ar-u-ha-aze-sh-126874/#description-tab>, zuletzt abgerufen am: 28.05.2020.
- [Euc19b] Euchner. *Transpondercodierter Sicherheitsschalter CTP-AR, M23, Not-Halt, 2 Drucktaster*. EUCHNER GmbH + Co. KG, Mai 2019. Kap. 6. Funktion, S. 9. URL: <https://www.euchner.de/de-de/produkte/transpondercodierte-sicherheitsschalter-mit-zuhaltung/sicherheitsschalter-ctp-ar/ctp-l1-ar-u-ha-aze-sh-126874/#description-tab>. zuletzt abgerufen am: 27.05.2020.

- [Euc20a] Euchner. *Betriebsanleitung Berührungsloser Sicherheitsschalter CES-I-AP-.C04/C14-... (Uni-/Multicode)*. Euchner GmbH + Co. KG, März 2020. Kap. 8. Montage, S. 10. <https://www.euchner.de/de-de/a/116504/#downloads-tab>, zuletzt abgerufen am: 27.05.2020.
- [Euc20b] Euchner. *Betriebsanleitung Berührungsloser Sicherheitsschalter CES-I-AP-.C04/C14-... (Uni-/Multicode)*. Euchner GmbH + Co. KG, März 2020. Kap. 6. Funktion, S. 6. <https://www.euchner.de/de-de/a/116504/#downloads-tab>, zuletzt abgerufen am: 27.05.2020.
- [Euc20c] Euchner. *Betriebsanleitung Berührungsloser Sicherheitsschalter CES-I-AP-.C04/C14-... (Uni-/Multicode)*. Euchner GmbH + Co. KG, März 2020. Kap. 12.1.1. Maßzeichnung Sicherheitsschalter CES-I-AP-C04-... S. 21. <https://www.euchner.de/de-de/a/116504/#downloads-tab>, zuletzt abgerufen am: 27.05.2020.
- [Fes] Festo. *Datenblatt Drosselventil GRLO-...-B*. Festo Vertrieb GmbH Co. KG, S. 1. [https://www.festo.com/net/de\\_de/SupportPortal/default.aspx?documentId=147445&cat=1697](https://www.festo.com/net/de_de/SupportPortal/default.aspx?documentId=147445&cat=1697), zuletzt abgerufen am: 19.07.2020.
- [Fes18] Festo. *Startklar für die Automatisierung mit IO-Link®*. Festo Vertrieb GmbH Co. KG, Mai 2018. Kap. Positionstransmitter SDAT (Port-Typ A, V1.1), S. 9. [https://www.festo.com/net/DE\\_DE/SupportPortal/default.aspx?cat=4857&documentId=368478&tab=4&s=t](https://www.festo.com/net/DE_DE/SupportPortal/default.aspx?cat=4857&documentId=368478&tab=4&s=t), zuletzt abgerufen am: 01.08.2020.
- [Fes19] Festo. *Proportional-Druckregelventile VPPM, NPT*. Festo Vertrieb GmbH Co. KG, 2019, S. 6. [https://www.festo.com/cat/de\\_de/data/doc\\_de/PDF/DE/VPPM-NPT\\_DE.PDF](https://www.festo.com/cat/de_de/data/doc_de/PDF/DE/VPPM-NPT_DE.PDF), zuletzt abgerufen am: 19.07.2020.
- [Fes20a] Festo. *Datenblatt Ventilinsel MPA-L*. Festo Vertrieb GmbH Co. KG, Juni 2020, S. 2.
- [Fes20b] Festo. *Datenblatt Ventilinsel MPA-L*. Festo Vertrieb GmbH Co. KG, Juni 2020. Kap. Merkmale – Pneumatik, S. 14ff.
- [Fri17] Thomas W. Frick. *Industrie 1.0 bis 4.0 – Industrie im Wandel der Zeit*. 15. August 2017. <https://industrie-wegweiser.de/von-industrie-1-0-bis-4-0-industrie-im-wandel-der-zeit/>, zuletzt abgerufen am: 12.07.2020.
- [Gan16a] Christopher Ganz. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 11.5 Data Scientists und Prozesswissen, 196f.
- [Gan16b] Christopher Ganz. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 11.3 Verschiebung der Systemgrenzen, 192f.
- [GEB] GEBHARDT. *AGV-860.01*. GEBHARDT Fördertechnik GmbH. <https://www.gebhardt-foerdertechnik.de/de/produkte/fahrerlose-transportsysteme/agv-86001/>, zuletzt abgerufen am: 24.07.2020.

- [Ger] Stefan Hesse und Gerhard Schnell. *Sensoren für die Prozessund Fabrikautomation-Funktion – Ausführung – Anwendung*. Springer Vieweg Wiesbaden 2018. Kap. 2.3 Induktive Positionserfassung, S.38.
- [Hil] August Hildebrandt. August Hildebrandt GmbH. Kap. Unternehmen SCHAFFEN SIE SICH EINEN ÜBERBLICK. <https://www.cabledrum.com/de/unternehmen>, zuletzt abgerufen am: 25.07.2020.
- [Hil20a] August Hildebrandt. *Anlagenübersicht*. August Hildebrandt GmbH, 2020.
- [Hil20b] August Hildebrandt. *Inhärente Konstruktion*. August Hildebrandt GmbH, 2020.
- [HS] Stefan Hesse und Gerhard Schnell. *Sensoren für die Prozessund Fabrikautomation-Funktion – Ausführung – Anwendung*. Springer Vieweg Wiesbaden 2018. Kap. 1.2 Einteilung und Begriffe, S.12.
- [Hub18] Walter Huber. *Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern Transformation und Veränderung des gesamten Unternehmens*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2018. Kap. 4.1 Daten, Software und Smart Data, S. 18f.
- [Ico] Icons8. *Roboter Icon*. Icons8 LLC. URL: <https://icons8.de/icons/set/roboter>.
- [ifma] ifm. *AC5271 AS-Interface AirBox mit SchnellmontagetechnikAirBox 5/3 closed 4DI-Y AUX, AC5205 AS-Interface Modul ClassicLine mit SchnellmontagetechnikClassicLine 4DI IP67*.  
AS-I Airbox AC5271 <https://www.ifm.com/ch/de/product/AC5271>  
AS-i Device AC5205: <https://www.ifm.com/de/de/product/AC5205>  
zuletzt abgerufen am: 18.05.2020.  
ifm electronic ag.
- [ifmb] ifm. *Datenblatt Strömungssensoren / Durchflusssensoren*. ifm electronic ag. <https://www.ifm.com/de/de/shared/technologien/stromungssensoren/stromungssensoren-startseite>, zuletzt abgerufen am: 20.07.2020.
- [ifmc] ifm. *Der Y-Weg*. ifm electronic ag. <https://www.ifm.com/ch/de/shared/technologien/der-y-weg/der-y-weg>, zuletzt abgerufen am: 24.07.2020.
- [ifmd] ifm. *Hydraulik macht Schweres leicht*. ifm electronic gmbh. <https://www.ifm.com/at/de/applications/090/hydraulik.html#!/content/documents/de/shared/applications/090/1010/druckuberwachung-am-hydraulikaggregat>, zuletzt abgerufen am: 21.07.2020.
- [ifme] ifm. *PN7092Drucksensor mit DisplayPN-100-SER14-QFRKG/US/ /V*. ifm electronic gmbh. Kap. BedienungsanleitungElektronischer DrucksensorPN7xxx. URL: <https://www.ifm.com/at/de/product/PN7092?tab=documents>.
- [IFM12] IFM. *AS-Interface AirBox mit SchnellmontagetechnikAirBox 5/3 closed 4DI-Y AUX AC5271*. ifm electronic gmbh, September 2012.



- [ifm19] ifm. *Video Prozesskommunikation in Echtzeit: IO-Link -Multiturn- Drehgeber*. Youtube Video bei Wiedergabezeit 1:00 <https://youtu.be/WE3ogiTNGxE?t=60>, zuletzt abgerufen am: 20.07.2020. ifm group of companies ifm electronic ag, November 2019.
- [IOL] Bihl + Wiedemann und ifm und IO-Link.  
 ifm IO-Link-Master AS-i Feldmodul: <http://eval.ifm-electronic.com/ifmch/web/news/4-port-io-link-master-intelligenter-anschluss-von-sensoren.html>  
 ifm IO-Link-Master Schaltschrankmodul: [https://www.ifm.com/mx/es/category/055/055\\_010/055\\_010\\_020#!/S/BD/DM/1/D/0/F/0/T/24](https://www.ifm.com/mx/es/category/055/055_010/055_010_020#!/S/BD/DM/1/D/0/F/0/T/24),  
 Bihl + Wiedemann AS-i IO-Link-Master: <https://www.bihl-wiedemann.de/de/applikationen/io-link.html>,  
 IO-Link-Master Feldmodul mit Devices: <https://io-link.com/de/Download/Download.php?thisID=8>. Bihl+Wiedemann GmbH und ifm electronic gmbh und IO-Link Firmengemeinschaft/o PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO). zuletzt abgerufen am: 01.08.2020.
- [IOL18] IO-Link. *IO-Link Systembeschreibung –Technologie und Anwendung*. IO-Link Firmengemeinschaft/o PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO), März 2018. <https://io-link.com/de/Download/Download.php?thisID=8>, zuletzt abgerufen am: 19.07.2020.
- [ISA18] ISAP. *Cyber-physische Systeme*. ISAP AG, November 2018. <https://viernull.blog/detail/Blog/Post/zeige/cyber-physische-systeme/>, zuletzt abgerufen am: 17.07.2020.
- [Joa18a] Dr. Myriam Jahn Joachim R. Uffelman Peter Wienzek. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 2.1 Der elektronische Sensor - Industrie 3.0, S. 5f.
- [Joa18b] Dr. Myriam Jahn Joachim R. Uffelman Peter Wienzek. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 11.3 SmartSensor Edition 2, S. 328ff.
- [Joh] Moritz Johannsen. *Feiertage Mecklenburg-Vorpommern 2019*. ferienkalender.com. [https://www.ferienkalender.com/ferien\\_deutschland/Mecklenburg-Vorpommern/2019-ferien-mecklenburg-vorpommern.htm](https://www.ferienkalender.com/ferien_deutschland/Mecklenburg-Vorpommern/2019-ferien-mecklenburg-vorpommern.htm), zuletzt abgerufen am: 14.05.2020.
- [KG] KEB Automation KG. *KEB Vertriebsbüro Northwest: +49 521 946764-10*. zuletzt angerufen am: 20.05.2020.
- [Kuk] Kuka. *KUKA SmartProduction*. KUKA Aktiengesellschaft. <https://www.kuka.com/de-de/future-production/industrie-4-0/industrie-4-0-smartproduction>, zuletzt abgerufen am: 23.07.2020.

- [Nova] Novexx. *ETIKETTIERSYSTEME*. Novexx Solutions GmbH. <https://www.novexx.de/produkte/etikettierer-2/>, zuletzt abgerufen am: 24.07.2020.
- [Novb] Novexx. *RFID*. Novexx Solutions GmbH. <https://www.novexx.de/applikationen/rfid/>, zuletzt abgerufen am: 24.07.2020.
- [Pep18] Pepperl+Fuchs. *IO-Link / Smart-Sensor-Profile / Der nächste Schritt in Richtung Standardisierung*. Youtube Video bei Wiedergabezeit: 1:42 [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=102&v=z3ccEJXJrI8&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=102&v=z3ccEJXJrI8&feature=emb_logo), zuletzt abgerufen am 31.07.2020. Pepperl+Fuchs Group, Dezember 2018.
- [pro18a] proALPHA. *proALPHA ERP Komplettlösung für den Mittelstand*. proALPHA Business Solutions GmbH, Juni 2018. Kap. Brückenschlag zwischen CAD und ERP, S. 25. <https://b2b-knowhow.com/assets/3114-proalpha-erp-komplettloesung-fuer-den-mittelstand?locale=de>, zuletzt abgerufen am: 26.07.2020.
- [pro18b] proALPHA. *proALPHA ERP Komplettlösung für den Mittelstand*. proALPHA Business Solutions GmbH, Juni 2018. Kap. proALPHA aus der deutschen BusinessCloud: Mittelstandserpobt, bedarfsgerecht, flexibel, S. 28. <https://b2b-knowhow.com/assets/3114-proalpha-erp-komplettloesung-fuer-den-mittelstand?locale=de>, zuletzt abgerufen am: 26.07.2020.
- [pro18c] proALPHA. *proALPHA ERP Komplettlösung für den Mittelstand*. proALPHA Business Solutions GmbH, Juni 2018. Kap. Von der Idee zur Praxis: Industrie 4.0 im Mittelstand, S. 30. <https://b2b-knowhow.com/assets/3114-proalpha-erp-komplettloesung-fuer-den-mittelstand?locale=de>, zuletzt abgerufen am: 26.07.2020.
- [Rai16] Thomas Damerau und Kai Lindow Rainer Stark. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 10.2.3 pICASSO – Cloudbasierte Steuerungen, 173f.
- [Rex19] Rexroth. *Regel-Wegeventile, direktgesteuert, mit elektrischer Wegrückführung und integrierter Elektronik (OBE) Typ 4WRPE*. Bosch Rexroth AG, Juli 2019. [https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/mediadirectory?language=de-DE&publication=NET&filterMediatype=1584&search\\_query=29122&search\\_action=submit&edition\\_enum=rd29122](https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/mediadirectory?language=de-DE&publication=NET&filterMediatype=1584&search_query=29122&search_action=submit&edition_enum=rd29122) zuletzt abgerufen am: 20.07.2020.
- [RÖN20] THOMAS RÖNITZSCH. “DATEN-PIPELINE IM FELD”. In: *Automation und Digitalisierung* (Februar 2020).
- [Rön20] Thomas Rönitzsch. “AS-i 5: der perfekte Zubringer für Industrie 4.0 und IIoT, Use IO-Link perfectly”. In: *elektro AUTOMATION, Konzepte, Systemlösungen, Komponenten* (Ausgabe 05 2020).

- [Sch+14] Jochen Schlick u. a. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung · Technologien · Migration*. Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser Thomas Bauernhansl Michael ten Hompel. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. 2.1 Das intelligente Produkt, S. 60f.
- [Sch11] Peter Schmitz. *Security Insider*. Hrsg. von Vogel IT-Medien GmbH. Mai 2011. Kap. Selbstverpflichtung zum Datenschutz bei RFID. <https://www.security-insider.de/selbstverpflichtung-zum-datenschutz-bei-rfid-a-311170/>, zuletzt abgerufen am: 23.07.2020.
- [Sch20] Schröder. *Hydraulikschaltplan - Fa August Hildebrandt*. Hydraulik Schwerin GmbH, 2020.
- [Sen16] Ulrich Sandler. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 1.1 Die Geschichte der industriellen Revolution(en), S. 6f.
- [Sia] Siemens. *3RK1308-0CD00-0CP0 Fehlersicherer Direktstarter High Feature; elektronisch schaltend; elektronischer Überlastschutz bis 4kW / 400V; Einstellbereich 2,8 .. 9A; PROFIenergy; Option: 3DI/LC-Modul*. SINAMICS Motorstarter: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/3RK1308-0CD00-0CP0>, SINAMICS S120: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109480497/vertriebs-und-lieferfreigabe-sinamics-s120-booksize-c-d-type-\(neue-motor-modules\)?dti=0&lc=de-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109480497/vertriebs-und-lieferfreigabe-sinamics-s120-booksize-c-d-type-(neue-motor-modules)?dti=0&lc=de-WW), SINAMICS G120: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/antriebstechnik/umrichter/niederspannungsumrichter/standard-performance-frequenzumrichter/sinamics-g120.html>, zuletzt abgerufen am: 06.06.2020.
- [Sieb] Siemens. *Einfach sicher - doppelt so effizient!* Siemens AG. Kap. Sicheres Drehmoment aus (STO). <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/topic-areas/safety-integrated/factory-automation/offering/sinamics-safety.html>, zuletzt abgerufen am: 01.06.2020.
- [Siec] Siemens. *Fehlersicherer Direktstarter High Feature; elektronisch schaltend; elektronischer Überlastschutz bis 0,25kW und Der modulare multifunktionale Frequenzumrichter G120*. ET200SP Motorstarter: [https://de.rs-online.com/web/p/direkt-stern-dreieck-motorstarter/1847089?cm\\_mmc=DE-PLA-DS3A--google--CSS\\_DE-DE-Automation\\_Whoop--\(DE:Whoop!\)+Direkt-+%26+Stern-/Dreieck-Motors-tarter--1847089&matchtype=&aud-813230962291:pla-369223521724&gclid=EAIaIQobChMI79DyYeSp6gIVklQYCh25xgCbEAQYAIAABEgJfd\\_D\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://de.rs-online.com/web/p/direkt-stern-dreieck-motorstarter/1847089?cm_mmc=DE-PLA-DS3A--google--CSS_DE-DE-Automation_Whoop--(DE:Whoop!)+Direkt-+%26+Stern-/Dreieck-Motors-tarter--1847089&matchtype=&aud-813230962291:pla-369223521724&gclid=EAIaIQobChMI79DyYeSp6gIVklQYCh25xgCbEAQYAIAABEgJfd_D_BwE&gclsrc=aw.ds) Frequenzumrichter G120: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/antriebstechnik/umrichter/niederspannungsumrichter/standard-performance-frequenzumrichter/sinamics-g120.html>, zuletzt abgerufen am: 21.07.2020. Siemens AG.

- [Sied] Siemens. *Gebersystemanbindung Motoren mit DRIVE-CLiQ-Schnittstelle und Vertriebs- und Lieferfreigabe SINAMICS S120 Booksize C-/D-Type (neue Motor Modules)*. DRIVE-CLiQ Motoren: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Products/10354643>  
Frequenzumrichter S120 [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109480497/vertriebs-und-lieferfreigabe-sinamics-s120-booksize-c-d-type-\(neue-motor-modules\)?dti=0&lc=de-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109480497/vertriebs-und-lieferfreigabe-sinamics-s120-booksize-c-d-type-(neue-motor-modules)?dti=0&lc=de-WW), zuletzt abgerufen am: 22.07.2020. Siemens AG.
- [Sief] Siemens. *SIMATIC ET 200SP, Digitales Eingangsmodul, SIPLUS ET 200SP Fehlersichere Digitales Ausgangsmodul, SIPLUS ET 200SP, Base-Unit*. F-DQ <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AG1136-6DB00-2CA0>  
Base-Unit: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AG1193-6BP00-7BA0>  
DI: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES7131-6BF01-0BA0>  
Überischt: <https://new.siemens.com/global/de/produkte/automatisierung/systeme/industrie/io-systeme/et-200sp.html>. Siemens AG. zuletzt abgerufen am: 18.05.2020.
- [Sief] Siemens. *SIMATIC ET 200SP, PROFINET Interface-Modul IM 155-6PN Basic*. Siemens AG. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES7155-6AR00-0AN0>, zuletzt abgerufen am: 17.05.2020.
- [Sieg] Siemens. *SIMATIC S7-1200; SIMATIC S7-1500*. SIMATIC S7-1200: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES7211-1AE40-0XB0>  
SIMATIC S7-1500: <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES7516-3FN02-0AB0>, zuletzt aufgerufen am: 15.07.2020. Siemens AG.
- [Sief] Siemens. *SIPLUS HMI TP1200 Comfort für mediale Belastung mit Conformal Coating based on 6AV2124-0MC01-0AX0*. Siemens AG. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AG1124-0MC01-4AX0>, zuletzt abgerufen am: 24.05.2020.
- [Sief] Siemens. *Tia Selection Tool*. <https://mall.industry.siemens.com/spice/tstweb/#/Start/>, zuletzt abgerufen am: 20.05.2020,  
Eine Konfiguration über das TIA Selection Tool für die Auswahl der S120 ist dem Anhang A zu entnehmen.  
Eine Konfiguration über das TIA Selection Tool für die Auswahl der G120 ist dem Anhang B zu entnehmen. Siemens AG.

- [Sie10a] Siemens. *SIMATIC S5, KOMPAKTGERÄTE S5-95U*. Siemens AG, Mai 2010. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES5095-8MA03>, zuletzt abgerufen am: 02.05.2020.
- [Sie10b] Siemens. *OPERATOR PANEL OP5/A1 4-ZEILIG*. Siemens AG, Oktober 2010. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AV3505-1FB01>, zuletzt abgerufen am: 14.05.2020.
- [Sie14] Siemens. *OPERATOR PANEL OP27 STN-FARB-LC-DISPLAY*. Siemens AG, Oktober 2014. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AV3627-1LK00-1AX0>, zuletzt abgerufen am: 14.05.2020.
- [Sie16] Siemens. *SINAMICS S120 Safety Integrated Funktionshandbuch*. Siemens AG Digital Factory Motion Control Erlangen, Julie 2016. Kap. 4.2.9 Safely-Limited Speed (SLS), S. 110f. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109740018/sinamics-s120-funktionshandbuch-safety-integrated?dti=0&lc=de-DE>, zuletzt abgerufen am: 29.05.2020.
- [Sie17a] Siemens. *\*\*\*Ersatzteil\*\*\* SIMATIC DP, Terminalblock TB2/DC (ET 200B) für digitale Elektronikmodule mit 3-Leiter-Schraubkl., B=235mm*. Oktober 2017. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6ES7193-0CB10-0XA0>, zuletzt abgerufen am: 13.05.2020.
- [Sie17b] Siemens. *Anbindung eines SIPLUS CMS1200 SM 1281 an die MindSphere*. Hrsg. von Siemens Aktiengesellschaft. September 2017. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109750010/anbindung-eines-siplus-cms1200-sm-1281-an-die-mindsphere?dti=0&lc=de-WW>, zuletzt abgerufen am: 25.07.2020.
- [Sie17c] Siemens. *SIMATIC S7-1200/S7-1500 Vergleichsliste für Programmiersprachen in internationaler Mnemonik*. Dez. 2017, S. 9. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aqCWKa28COMJ:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/86630375/s7\\_1500\\_compare\\_table\\_int\\_mnemo.pdf%3Fdownload%3Dtrue+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=de](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aqCWKa28COMJ:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/86630375/s7_1500_compare_table_int_mnemo.pdf%3Fdownload%3Dtrue+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=de), zuletzt abgerufen am: 23.05.2020.
- [Sie17d] Siemens. *SIMATIC S7-1200/S7-1500 Vergleichsliste für Programmiersprachen in internationaler Mnemonik*. Dez. 2017. Kap. Meldungen, S.45. [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aqCWKa28COMJ:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/86630375/s7\\_1500\\_compare\\_table\\_int\\_mnemo.pdf%3Fdownload%3Dtrue+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=de](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:aqCWKa28COMJ:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/86630375/s7_1500_compare_table_int_mnemo.pdf%3Fdownload%3Dtrue+&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=de), zuletzt abgerufen am: 23.05.2020.
- [Sie19a] Siemens. *ET 200SP Motorstarter (3RK1308-0\*\*00-0CP0)*. Siemens AG, August 2019. Kap. 6.8.2 Verhalten bei sicherheitsgerichteter Abschaltung, S. 100. [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479973/geraetehandbuch-et-200sp-motorstarter-\(3rk1308-0-00-0cp0\)?dti=0&lc=de-DE](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479973/geraetehandbuch-et-200sp-motorstarter-(3rk1308-0-00-0cp0)?dti=0&lc=de-DE), zuletzt abgerufen am: 29.05.2020.

- [Sie19b] Siemens. *Gerätehandbuch - ET 200SP Motorstarter (3RK1308-0..00-0CP0)*. [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479973/ger%C3%A4tehandbuch-et-200sp-motorstarter-\(3rk1308-0-00-0cp0\)?dti=0&lc=de-DE](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479973/ger%C3%A4tehandbuch-et-200sp-motorstarter-(3rk1308-0-00-0cp0)?dti=0&lc=de-DE), zuletzt aufgerufen am: 21.05.2020. Siemens AG, November 2019.
- [Sie19c] Siemens. *HMI Design mit der HMI Template Suite*. Siemens AG, März 2019. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/91174767/hmi-design-mit-der-hmi-template-suite?dti=0&lc=de-WW>, zuletzt abgerufen am: 12.11.2019.
- [SK16] Rainer Stark und Thomas Damerau und Kai Lindow. *Industrie 4.0 grenzenlos*. Hrsg. von Ulrich Sendler. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. Kap. 10.4 Informationsfabriken – die neuen digitalen Werkbänke, 179f.
- [Son04] Monika Sonntag. *3. Wie funktionieren intelligente Etiketten?* Infineon Technologies AG Technology Communications, März 2004. Kap. Die 15 häufigsten Fragen zu RFID, S. 2.
- [Ste17] Nico Litzel Stefan Lubert. *Was ist ein Cyber-physisches System (CPS)?* Dezember 2017. <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-cyber-physisches-system-cps-a-668494/>, zuletzt abgerufen am: 15.07.2020.
- [Tho14] Birgit Vogel-Heuser Thomas Bauernhansl Michael ten Hompel. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung · Technologien · Migration*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. 2.2 CPS als Basis der Smarten Fabrik, S. 15f.
- [UWJ18a] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Dr. Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 12.1 Die IO-Link IODD, S. 36, S. 359ff.
- [UWJ18b] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Dr. Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 9 IO-Link-Diagnose, S.237ff.
- [UWJ18c] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Dr. Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 2.4.1 IO-Link als geniale Idee, S.23ff.
- [UWJ18d] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Dr. Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 3.4.2 Der Y-Weg-Umgehung der SPS, S.59ff.
- [UWJ18e] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Dr. Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 14.8 Der Y-Weg-, S.424ff.

- 
- [UWJ18f] Joachim R. Uffelmann, Peter Wienzek und Myriam Jahn. *IO-Link Brückentechnologie für die Industrie 4.0*. 2. Auflage. DIV Deutscher Industrieverlag GmbH Essen, 2018. Kap. 2.4 IO-Link als weltweiter Standard für intelligente Sensorik, S. 21ff.
- [VDIa] VDI. *VDI 3423 Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung*. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Kap. 3.1.6 Belegungszeit  $T_B$ , S. 9.
- [VDIb] VDI. *VDI 3423 Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung*. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Kap. 3.1.3 Wartungszeit  $T_W$ , S. 9.
- [VDIc] VDI. *VDI 3423 Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen, Begriffe, Zeiterfassung und Berechnung*. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Kap. Organisatorische Ausfallzeit  $T_O$ , S. 5f.
- [VDI11] VDI. *DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsgrundsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung*: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., März 2011, S. 8.
- [VDI14] VDI. *VDI/VDE 3850, Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagenkonzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen*. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) Fachbereich Industrielle Informationstechnik, April 2014. Kap. 3.2.2. Nutzungskontext verstehen und beschreiben, S. 9–10.
- [Ved20] Vedder. *Pneumatikschaltplan - August Hildebrandt GmbH*. Technicon – Technik mit System GmbH, 2020.
- [VL14a] Alexander Verl und Armin Lechler. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung · Technologien · Migration*. Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser Thomas Bauernhansl Michael ten Hompel. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. Steuerung aus der Cloud, S. 235.
- [VL14b] Alexander Verl und Armin Lechler. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung · Technologien · Migration*. Hrsg. von Birgit Vogel-Heuser Thomas Bauernhansl Michael ten Hompel. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. Kap. 3 Cloudbasierte Steuerungssysteme, S. 238f.
- [Wag19] Roland Wagner. *Steuerungstechnik in der Cloud - Sinnvoll oder nicht?* TeDo Verlag GmbH, Januar 2019. <https://www.it-production.com/automation-und-robotik/steuerungstechnik-cloud-zukunft/>, zuletzt abgerufen am: 25.07.2020.
- [Wie] Bihl und Wiedemann. *IO-Link mit Bihl+Wiedemann: einfach, flexibel, kostengünstig*. <https://www.bihl-wiedemann.de/de/applikationen/io-link.html?slider=io-link-de&cHash=67361ba44bc10b9ebe2600dada1a0b82>, zuletzt abgerufen am: 14.05.2020.

- [Wik19] Wikipedia. *Beispiel einer Automatisierungspyramide*. Wikimedia Deutschland – Gesellschaft zur Förderung Freien Wissens e. V., Oktober 2019. <https://de.wikipedia.org/wiki/Automatisierungspyramide#/media/Datei:Automatisierungspyramide2.svg>, zuletzt abgerufen am: 19.07.2020.
- [Win13] Johannes Winter. *Industrie 4.0*. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Mai 2013. <https://www.acatech.de/projekt/industrie-4-0/>, zuletzt abgerufen am: 15.07.2020.
- [WZ02] Günther Wellenreuth und Dieter Zastrow. *Automatisierung mit SPS Theorie und Praxis*. Auflage. 2. Vieweg Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/wiesbaden, August 2002, S. 604.





# Anhang

## Anhang A: Auswahl des SINAMICS S120 Frequenzumrichters mit dem TIA Selection Tool anhand des Beispiels der Motoren der Schräglochfräsen:

**Auswahlhilfe typische Applikationen**

- ☐ Verwendung Pumpen/Lüften/ Verdichten
- ☐ Bewegen
- ☐ Verarbeiten
- ☒ Bearbeiten

---

**Verfügbare Produktreihen**

Produktreihen

- ☒ SINAMICS S120 ACJAC

---

**Netzdaten**

Phasenanzahl	3/AC
Netzfrequenz	60 Hz (50 Hz Leistung)
Netzspannung	400 V

---

**Unrichter Dimensionierung**

Motorstrom	0,10 ≤	30,00	≤ 250,00 A
------------	--------	-------	------------

---

**Motorstromermittlung**

Leistung des Motors	16,00	kW
Drehmoment	16,2	Nm
Drehzahl	9420	1/min
Wirkungsgrad	90,0	%
Leistungsfaktor		

## Anhang B: Auswahl des SINAMICS G120 Frequenzumrichters mit dem TIA Selection Tool anhand des Beispiels des Motors der Code-Karte:

**Auswahlhilfe typische Applikationen**

Verwendung: ☐ Antrieb ☒ Antrieb mit Lastverändern ☐ Verarbeiten

Bewegungsart: ☐ Bewegung ☒ Verarbeiten

Bewegungstyp: ☐ Punktgenaue Bewegung ☒ Kontinuierliche Bewegung ☐ Nicht kontinuierliche Bewegung

Güte:

---

Nezzaten	
Phasenanzahl	3AC
Neffrequenz	50 Hz
Netzspannung	400 V

Umrichter Dimensionierung	
Motorstrom	0,10 = 11,50      < 477,00 A

Motorstrommittlung	
Leistung des Motors	kW
Drehmoment	Nm
Deitzeit	1390
Wirktungsgrad	%
Leistungsaktor	

Umrichter Spezifikation	
Norm	<input type="radio"/> IEC <input type="radio"/> NEMA
Motorart	
Aufbauform	
Schutzart (Nennschutzhinderung)	
Kühlverfahren	

## Anhang C: Gegenüberstellung von Comfort und Basic Panel mit dem TIA Selection Tool:

Industrial Ethernet		
Anzahl Ports des integrierten Switches	---	2
PROFINET IO	Nein	Ja
IRT	Nein	Ja
PROFIBUS	Nein	Ja
MPI	Nein	Ja
Rezeptverwaltung		
Anzahl Rezepturen	50	300
Datensätze pro Rezeptur	100	500
Einträge pro Datensatz	100	1000
Größe interner Rezepturspeicher	256 kbyte	2 Mbyte
Rezepturspeicher erweiterbar	Nein	Ja