



Westsächsische Hochschule Zwickau

University of Applied Sciences
Fakultät Elektrotechnik

DIPLOMARBEIT

Projektierung einer Anlage für den Abtransport von Abfällen in einer Druckerei

zur Erlangung des

akademischen Grades

Diplom-Ingenieur für Elektrotechnik (FH)

eingereicht von

Mießler, Max

geb. am 27. April 1999

Hochschullehrer:

Prof. Dr.-Ing. Gerald Zickert

Auftraggeber oder Firma:

Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Betreuer:

Dipl.-Ing. Jörg Koch

Ausführliche Aufgabenstellung

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis	III
1. Einleitung	1
2. Stand der Technik.....	3
2.1. Ist-Stand der Anlage	3
2.2. Entwurfsprozess / Konstruktionsschritte	5
2.3. Zusammenfassung mechanisches Konzept	8
3. Steuerungskonzept.....	12
3.1. Sicherheitskonzept	13
3.2. Variantenvergleich der SPS-Typen/-Bauformen	23
3.3. Finale Auswahl der CPU.....	29
3.4. Vergleich zentrale und dezentrale Peripherie	33
3.5. Auswahl des Peripheriekonzepts/-baugruppen.....	35
4. Antriebskonzept.....	42
4.1. Allgemeiner Aufbau moderner elektrischer Antriebe.....	42
4.2. Variantenvergleich Elektromotoren/-antriebe.....	45
4.3. Auswahl Motor und Umrichter.....	56
5. Kommunikationskonzept	71
5.1. Vergleich PROFINET und PROFIBUS	71
5.2. Netzwerktopologien	73
5.3. Auswahl passendes Kommunikationskonzept.....	78
6. Weitere Betrachtungen zu Betriebsmitteln	80
6.1. Schaltschrank	80
6.2. Absicherung der Stromkreise.....	83

7.	Dokumentation in EPLAN P8	87
7.1.	Referenzkennzeichnung	87
7.2.	Leiterfarben.....	89
8.	Fazit	90
8.1.	Zusammenfassung	90
8.2.	Ausblick	92
	Literaturverzeichnis	i
	Anlagenverzeichnis	iv
	Anlage 1: Übersicht Förderanlage	v
	Anlage 2: EPLAN	vi

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gebläse, Presscontainer, Rohre	3
Abbildung 2: Rohr mit Absaugöffnung zur Papieraufnahme	4
Abbildung 3: Staubauffangbehälter.....	4
Abbildung 4: Entwurfsprozess	5
Abbildung 5: Mögliche Anordnung des Motors am Förderband	9
Abbildung 6: Anordnung der Lichtschranken	9
Abbildung 7: Steigförderer mit Schwenkeinrichtung und Container.....	10
Abbildung 8: Anschlussbild des PNOZ	22
Abbildung 9: Verdrahtungsausführungen Sensoren	37
Abbildung 10: Anschlussbild Reflexionslichtschranke	39
Abbildung 11: Aufbau moderner elektrischer Antriebe	42
Abbildung 12: Aufbau Gleichstrommotor	46
Abbildung 13: Aufbau bürstenloser Gleichstrommotor.....	47
Abbildung 14: Stromrichterantrieb	48
Abbildung 15: Aufbau Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer.....	49
Abbildung 16: Aufbau Frequenzumrichter.....	51
Abbildung 17: Funktionsprinzip Synchronmotor	52
Abbildung 18: Aufbau Synchronantrieb mit Frequenzumrichter.....	53
Abbildung 19: Skizze Förderantrieb an schiefer Ebene.....	57
Abbildung 20: Skizze Zerlegung der Gewichtskraft	58
Abbildung 21: Beispielaufbau Sternstruktur.....	74
Abbildung 22: Beispielaufbau Baumstruktur	75
Abbildung 23: Beispielaufbau Linienstruktur.....	76
Abbildung 24: Beispielaufbau Ringstruktur.....	77
Abbildung 25: Netzwerktopologie Förderanlage	79
Abbildung 26: Schaltschrankfrontansicht.....	80
Abbildung 27: Schaltschranklayout.....	82
Abbildung 28: Anschlussbild 24V Potenzialverteilung	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Länge der Förderbänder	8
Tabelle 2: Betriebsmittel Not-Halt	16
Tabelle 3: Vergleich der Sicherheitskonzepte	19
Tabelle 4: Mögliche Sicherheitsschaltgeräte	21
Tabelle 5: Vergleich der CPU-Baureihen	30
Tabelle 6: Betriebsmittel Lichtschranke	39
Tabelle 7: Betriebsmittel Peripheriebaugruppen	41
Tabelle 8: mechanische Kriterien zur Auswahl der optimalen Antriebsart.....	45
Tabelle 9: Vergleich Antriebsarten	54
Tabelle 10: Vorgaben der mechanischen Konstruktion	56
Tabelle 11: Katalogwerte Motor	62
Tabelle 12: Betriebsmittel Antriebe	70
Tabelle 13: Stromaufnahme der Betriebsmittel an XF4	85
Tabelle 14: Auswahl Leitungsschutzschalter.....	86
Tabelle 15: Aspekte der Referenzkennzeichnung.....	87
Tabelle 16: Legende Leiterfarben	89

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
CM	Communication Module, Kommunikationsbaugruppe
CPU	Central Processing Unit (Zentrale Verarbeitungseinheit)
E/A	Ein-/Ausgang
EPLAN	Bezeichnung für elektrotechnisches Konstruktionsprogramm
F-CPU	Safety Central Processing Unit
IM	Interface Module, Anschaltungsbaugruppe
NC	normally closed (Öffnerfunktion)
NO	normally open (Schließerfunktion)
NPN	negativ-positiv-negativ, negativschaltend
PC	Personal Computer
PL	Performancelevel
PNP	positiv-negativ-positiv, plusschaltend
PROFIBUS	Process Field BUS
PROFINET IO	Bussystem zur Anbindung von dezentralen Peripherien
PROFINET	Process Field Net
SIL	Sicherheitsintegrationslevel
SMA	Sächsischer Maschinen- und Anlagenbau GmbH
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TIA	Totally Integrated Automationsystem

1. Einleitung

Die Welt unterliegt ständigem Wandel. In der heutigen Zeit stehen viele große Veränderungen an. Deutschland strebt einen Energiewandel hin zu erneuerbaren Energien an. Die Coronakrise hat die gesamte Weltwirtschaft zusätzlich schwer getroffen. Ganze Lieferketten brachen zusammen. Zudem war in diesem Jahr in Deutschland die Inflation höher als zur Ölkrise Anfang der 70er Jahre, also so hoch wie seit über 50 Jahren nicht mehr. Preise für Produkte aus allen Bereichen und vor allem für Energie stiegen stark an. Die Kostenentwicklung in den Industriebranchen ist eine Aufwärtsspirale, die durch innovative Lösungen gebremst werden muss, da die zukünftige Entwicklung noch nicht absehbar ist.

Es müssen also individuelle Lösungen in vielen Bereichen geschaffen werden, um zum Beispiel den Energieverbrauch zu senken, damit die Unternehmen zukünftig überlebensfähig und rentabel bleiben. Solche auf den Kunden zugeschnittenen Lösungen werden im Sondermaschinen- und Anlagenbau umgesetzt. Dabei gibt der Auftraggeber die genauen Rahmenbedingungen vor und diese werden den Wünschen entsprechend projiziert und konstruiert immer unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit.

In dieser Arbeit werden die elektrotechnische Projektierung und Konstruktion für solch eine kundenspezifische und zukunftsorientierte Anlage erstellt und beschrieben. Auftraggeberin ist die Stoba-Druck GmbH in Lampertswalde. Es soll in einer Halle eine Anlage für den Abtransport von Papierabfällen für diese Druckerei konstruiert werden. Damit wurde die SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH beauftragt.

Die SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH ist ein Unternehmen mit Sitz in Zwickau. Das Haupttätigkeitsfeld des Unternehmens liegt im Bereich Maschinen- und Anlagenbau, wie anhand des Namens bereits klar wird. Dazu zählt auch der Sondermaschinenbau. Das Unternehmen wurde im Jahr 1990 aus der Instandhaltung des VEB Sachsenring Zwickau als SASIT Industrietechnik GmbH Zwickau gegründet. Im Jahr 2019 kam es zu einem Inhaberwechsel und der Neugründung als SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH. Durch langjährige Arbeit im Bereich der Automobilindustrie, auch in Zeiten des VEB Sachsenring sowie der Nachfolgezeit als SASIT, wird heute auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgegriffen. Die Fähigkeiten des Unternehmens konnten jedoch auch in den Bereichen des Sondermaschinenbaus, der Automatisierungstechnik und der Fördertechnik erweitert werden und wurde damit führender Hersteller von Produktionsanlagen für Kfz-Batterien. [1]

Die in dieser Arbeit beschriebene neue Anlage wird bei der Auftraggeberin die bestehende Anlage ersetzen, da sie unübersehbare grundsätzliche Probleme aufweist. Die alte Anlage befindet sich im Dauerbetrieb während der Schicht. Der Energieverbrauch,

die Lärmbelastung und der Instandhaltungsaufwand sind hoch. Zielsetzung werden also die Reduktion des Energieverbrauchs, die Minderung des Geräuschpegels, eine möglichst einfache Instandhaltung und eine Automatisierung des Prozesses sein.

Die SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH möchte mit der Neuentwicklung der Papierabfallentsorgungsanlage auf Basis einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) den vorgenannten Zielsetzungen gerecht werden. Die vorliegende Diplomarbeit hat somit das Ziel der Projektierung und Konstruktion einer solchen Anlage. Die Grundlage für die elektrotechnische Projektierung wird dabei durch ein grob erarbeitetes mechanisches Konzept der Anlage gelegt, welches um nötige elektrische Komponenten erweitert werden soll.

Die Projektierung startet mit der Erarbeitung eines Konzepts der Steuerung der gesamten Anlage. Das Konzept enthält die Auswahl einer SPS sowie die notwendigen Peripheriegeräte. Auf der Grundlage des vorhandenen mechanischen Konzepts und des Steuerungskonzepts erfolgt sodann die Erstellung, Erläuterung und Diskussion des Antriebskonzept der Förderanlage. In den folgenden Schritten der Projektierung werden das Kommunikationskonzept sowie weitere Anlagenkomponenten erarbeitet und erläutert. Die Projektierung ist mit der gesamten Konzeption der Anlage abgeschlossen. Auf der Basis dieses Gesamtkonzepts werden die elektrotechnischen Konstruktionsunterlagen mit dem Konstruktionsprogramm EPLAN erarbeitet. Diese bestehen aus Übersichtsseiten und Stromlaufplanseiten.

2. Stand der Technik

2.1. Ist-Stand der Anlage

Im folgenden Abschnitt wird beschrieben in welchem Zustand sich die gegenwärtige Anlage bei der Stoba-Druck GmbH befindet und welche Probleme diese mit sich bringt, die in der neu konstruierten Anlage behoben werden sollen.

Die Anlage zum Entsorgen der Papierabfälle befindet sich in einer Halle und besteht aktuell hauptsächlich aus einem großen Absauggebläse mit einer Leistung von 15 kW, einem Presscontainer und einem Metallrohrsystem. Die Rohre des Systems werden von den Orten, an denen die Druckereimaschinen den Abfall ausgeben, unter der Decke entlang bis zum Absauggebläse, welches sich über dem Presscontainer befindet, geführt. Der beschriebene aktuelle Aufbau soll mit der folgenden Abbildungen 1 verdeutlicht werden. [2]



Abbildung 1: Gebläse, Presscontainer, Rohre [2]

In der Halle wird momentan an drei Maschinen gearbeitet. Dabei handelt es sich um einen Klebebinder, einen Sammelhefter und eine Schneidemaschine. Nach Kundenaussage fallen pro Jahr rund 500 t Papierabfall an. Dieser fällt nun an jeweils einer Seite der Maschinen entweder auf den Boden oder in einen Behälter. Es besteht das Problem, dass nicht der komplette Abfall angesaugt wird. Grund dafür ist, dass die Papierreste zu weit von der Rohröffnung entfernt liegen und nicht angesaugt werden können oder über die Öffnung hinaus rutschen. Das hat zur Folge, dass ein Mitarbeiter regelmäßig manuell eingreifen muss, damit alle Abfälle angesaugt werden können. In Abbildung 2 wird das Problem an der Ansaugöffnung dargestellt.



Abbildung 2: Rohr mit Absaugöffnung zur Papieraufnahme [2]

Ein weiteres Problem ist der Dauerbetrieb der aktuellen Anlage während der gesamten Schicht. Es gibt kein System, um zu erfassen, ob tatsächlich Abfälle vorhanden sind. Sämtliche Komponenten der Anlage werden an einem zentralen Schaltschrank zum Beginn der Schicht eingeschaltet und am Schichtende wieder ausgeschaltet. Die komplette Absaugung und der Presscontainer verbrauchen somit in der gesamten Schicht Strom, egal ob Abfälle vorhanden sind oder nicht.

Weitere Probleme sind zum einen das eine hohe Lärmbelastung für die Mitarbeiter in der Halle durch das große Absauggebläse besteht. Und zum anderen wird neben den Papierresten viel feiner Papierstaub angesaugt, welcher vor dem Absauggebläse herausgefiltert werden muss. Die benutzen Filter müssen regelmäßig ausgetauscht werden und sind zudem kostenintensiv. In Abbildung 3 sind Auffangbehälter für den Papierstaub zu sehen. Diese müssen regelmäßig geleert werden.



Abbildung 3: Staubauffangbehälter [2]

2.2. Entwurfsprozess / Konstruktionsschritte

In diesem Kapitel wird der Entwurfsprozess der zu planenden elektrischen Anlage beschrieben. „Im Zentrum der Konstruktion steht der Entwurfsprozess. Dies ist ein zyklischer und sich der Lösung schrittweise nähernder (iterativer) Prozess der Bestimmung und ständiger Detaillierung einer Struktur (Synthese) bei gleichzeitiger Prüfung und Erfüllung der geforderten Funktion (Analyse).“ [3; S. 11] Dieser Prozess wird in Abbildung 3 dargestellt.

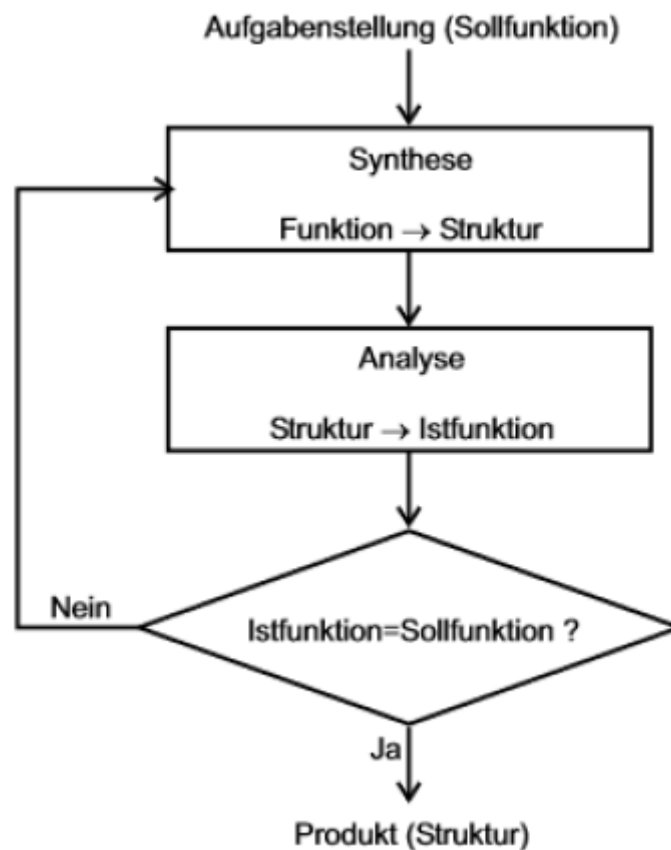


Abbildung 4: Entwurfsprozess [3, S. 11]

Am Anfang des Entwurfsprozesses steht immer die Aufgabenstellung (Sollfunktion). Im Prozess der Synthese wird auf der Basis dieser Aufgabenstellung ein erster Entwurf gefertigt. Dieser Entwurf ist die erste Struktur. Nun muss die Struktur geprüft werden, ob sie die Funktionen, die in der Aufgabenstellung gefordert werden, erfüllt. Dieser Vorgang nennt sich Analyse. Stellt die Analyse einen Fehler im Entwurf fest, wird der Entwurfsprozess so lange wiederholt bis die endgültige Struktur alle geforderten Funktionen fehlerfrei erfüllt. [vgl. 3; S. 11]

Die Struktur, die aus der Synthese hervorgeht, kann als Abbildung einer Funktion gesehen werden und ist damit mehrdeutig. Das heißt es gibt mehrere Lösungsvarianten, welche die Sollfunktion erfüllen. Der Konstrukteur hat einen gewissen

Entscheidungsspielraum. Dieser wird allerdings durch Anforderungen des Auftraggebers sowie durch Vorschriften, Normen und andere Randbedingungen eingeschränkt. [vgl. 3; S. 12]

Dieser gesamte Konstruktionsprozess kann nach der Norm VDI 2221 in fünf Konstruktionsphasen eingeteilt werden. [vgl. 3; S. 12]

Im folgenden Abschnitt werden die Konstruktionsphasen am Beispiel der für diese Arbeit durchzuführenden Konstruktion erklärt.

Die erste Phase ist das „Klären der Aufgabenstellung und Formulieren der Soll-Gesamtfunktion“ [3; S. 12]. Konkret für diesen Fall bedeutet das, dass die in Kapitel 2.1 beschriebene Anlage komplett durch eine neue Anlage ersetzt werden soll. Diese neue Anlage soll einen geringeren Energiebedarf aufweisen als die jetzige und auch die genannten Probleme beheben. In Kapitel 2.3. wird genauer auf die neue Funktionsweise eingegangen.

In Phase zwei geht es um das „Auflösen der Gesamtfunktion in ein Netz von Teilfunktionen“ [3; S. 12]. Für dieses Projekt werden drei große Teilfunktionen definiert. Dabei handelt es sich um die Erstellung eines Steuerungskonzepts, eines Antriebskonzepts und eines Kommunikationskonzepts.

Phase drei nennt sich „Erarbeitung der Wirkprinzipien für jede Teilfunktion“ [3; S. 12]. Wirkprinzipien beziehen sich dabei auf Lösungsmöglichkeiten für Teilfunktionen.

Für das Steuerungskonzept steht die Auswahl einer Steuerung und die dazugehörigen Peripheriebaugruppen im Vordergrund. Dabei wird sich die Auswahl auf Produkte des Herstellers SIEMENS beschränken, da dies vom Auftraggeber gewünscht wurde. Zusätzlich müssen benötigte Sensoren und Aktoren der neuen Anlage betrachtet werden.

Zur Entwicklung des Antriebskonzepts werden verschiedene elektrische Antriebsarten und elektrische Motoren verglichen. Für die ausgewählte Variante werden die Werte für die erforderlichen Mindestanforderungen berechnet. Anhand der berechneten Werte wird ein Motor final ausgewählt und hierbei werden Produkte des Herstellers SEW-EURODRIVE bevorzugt, weil auch das vom Auftraggeber gewünscht wurde. Passend zum Motor wird ein Umrichtersystem ausgewählt.

Es folgt die Erstellung des Kommunikationskonzepts. Dabei werden verschiedene Netzwerktypen und Netzwerktopologien verglichen und ausgewählt.

Die vierte Phase nennt sich „Gestaltung unter Berücksichtigung von Randbedingungen“ [3; S. 12]. „Zu den Randbedingungen gehören neben den Vorschriften und Normen die Umgebungs- und Aufstellungsbedingungen, aber auch wirtschaftliche Gesichtspunkte.“ [3; S. 12]

Hier wird der ursprüngliche Entwurf analysiert und somit auf Fehler und auf die Erfüllung aller Randbedingungen geprüft. Am wichtigsten ist dabei, dass der anerkannte Stand der Elektrotechnik beachtet wurde. Man kann gesetzliche Vorschriften und Normen zu Hilfe ziehen. Ebenfalls sollte auf Umgebungsbedingungen geachtet werden wie zum Beispiel klimatische Bedingungen. Diese beeinflussen, ob der Schaltschrank aufgrund unzureichender Wärmeabführung belüftet werden muss. Wirtschaftliche Aspekte wie die Anschaffungskosten, aber auch das Mitspracherecht des Auftraggebers sind zu beachten. In diesem Fall wurden sich - wie zuvor erwähnt - bestimmte Hersteller vom Auftraggeber gewünscht. Die Anlage soll zudem schlussendlich rentabel sein. [vgl. 3; S. 13]

Die letzte Phase ist die „Detaillierung und Erstellung der Dokumentation“ [3; S. 12] . In dieser Arbeit werden dabei letzte Details wie die Absicherung der Stromkreise geklärt. Im Ergebnis wird alles als technische Zeichnung in Form von Schaltungsunterlagen in EPLAN P8 dokumentiert. Dies umfasst Übersichtsseiten und Stromlaufpläne.

Die Konstruktion ist damit abgeschlossen.

2.3. Zusammenfassung mechanisches Konzept

Als Grundlage für die elektrische Konstruktion und Projektierung wurde zuvor ein mechanisches Konzept erstellt. Im folgenden Abschnitt wird dieses kurz erklärt und die gewünschte Funktionsweise beschrieben.

Die in Kapitel 2.1. beschriebene aktuelle Anlage am Standort der Stoba-Druck GmbH in Lampertswalde soll komplett rückgebaut und durch eine völlig neue ersetzt werden. Dabei kam es in Rücksprache mit dem Auftraggeber zu der Entscheidung für ein Förderbandsystem. Das vorhandene Rohrsystem entfällt damit auch vollumfänglich.

Wie in Anlage 1 zu sehen ist, wird die Anlage hauptsächlich aus vier Förderstrecken bestehen. Zusätzlich wird nach den Bändern noch ein Steigförderband stehen, um den Papierabfall in die Presscontainer zu leiten. Alle Förderbänder sind mit einem PVC-Gurt ausgestattet, damit selbst die kleinsten Papierreste mitgeführt werden können. Rückstände durch Hängenbleiben auf der Bandstrecke müssen weitestgehend vermieden werden. Die Bänder werden unterflur verbaut, d.h. sie werden in die Bodenplatte eingelassen. Das geschieht aus Gründen der Platzersparnis in der Halle. Unter Beachtung der Sicherheitsaspekte wird sich über den Bändern auf Bodenhöhe eine Metallkonstruktion befinden, damit sich die Mitarbeiter und schwere Maschinen wie z.B. ein Gabelstapler sicher darüber bewegen können. Die Förderstrecke Nummer zwei wird sich außerhalb der Halle befinden. Die Bänder, die auf der Anlage 1 zu sehen sind, mit der Nummer eins und zwei haben die Funktion des Abtransports des Abfalls. Über den Bändern drei und vier wird sich eine Öffnung befinden, da sich diese genau neben den Produktionsmaschinen befinden und dort der Abfall auf diese fällt. Sie transportieren das Papier auf die beiden Hauptbänder eins und zwei.

Tabelle 1: Länge der Förderbänder

Nummer der Förderstrecke	Länge in Meter
1	30
2	40
3	5
4	10

Wie man Tabelle 1 entnehmen kann, sind die ersten beiden Förderstrecken sehr lang konzipiert. Förderstrecke eins wird daher in zwei 15 m lange Förderbänder aufgeteilt und Förderstrecke zwei wird in drei 12 m lange Förderbänder aufgeteilt, weil der Transport von so langen zusammenhängenden Bändern zu aufwändig wäre.

Jedes Förderband wird mit einem speziell dafür ausgewählten Motor betrieben. Diese Auswahl findet in Kapitel 4.3. statt. Die Motoren werden sich wie in Abbildung 5 [4] dargestellt direkt am Band befinden. Dabei werden SEW-EURODRIVE Motoren bevorzugt. Passend dazu werden auch Umrichter ausgewählt, da vom Auftraggeber gewünscht wurde, dass die Bandgeschwindigkeit variabel sein soll.

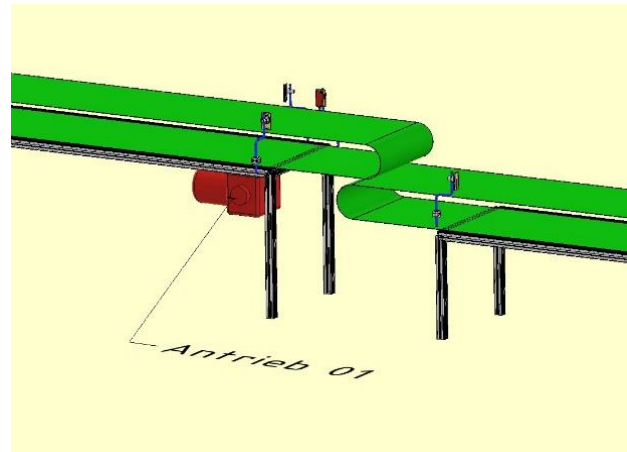


Abbildung 5: Mögliche Anordnung des Motors am Förderband [4]

Die einzelnen Förderstrecken werden zudem mit Lichtschranken zum Zwecke der Überwachung ausgestattet. Jedes einzelne Förderband wird dabei eigene Lichtschranken erhalten. Die Anordnung der Lichtschranken wird in Abbildung 6 beispielhaft an Förderstecke 3 dargestellt.

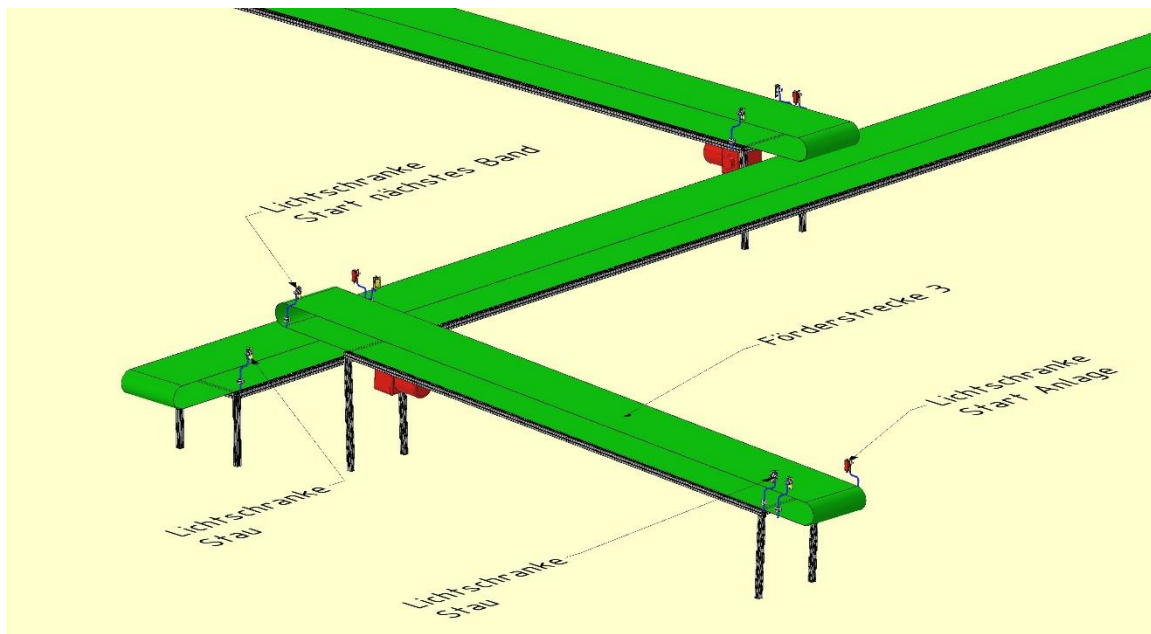


Abbildung 6: Anordnung der Lichtschranken [4]

An jedem Band werden mindestens zwei Lichtschranken angebracht. Am Steigförderer am Ende befinden sich keine Lichtschranken. Eine Lichtschranke wird am Ende des Bandes platziert, die dafür sorgt, dass das nächste Band anläuft. Eine weitere Lichtschranke wird quer über das Band ausgerichtet. Diese soll überwachen, ob ein Papierstau entstanden ist.

Bei den Bändern von Förderstrecke drei und vier ist zusätzlich noch eine weitere Lichtschranke unter den Öffnungen, in die der Papierabfall hineinfällt, angebracht. Diese zusätzliche Lichtschranke soll den initialen Start der Anlage auslösen. Insgesamt werden 16 Lichtschranken in der gesamten Anlage verbaut.

Am Ende der Förderstrecke befindet sich der Steigförderer. Dort wird oberhalb des Bandes eine Weiche aus einem Edelstahlblech angebaut. Das Blech ist mit einem Edelstahlstab verbunden und dieser Stab ist wiederum mit einer elektrischen Schwenkeinrichtung verbunden. Die Anordnung wird in Abbildung 7 dargestellt.

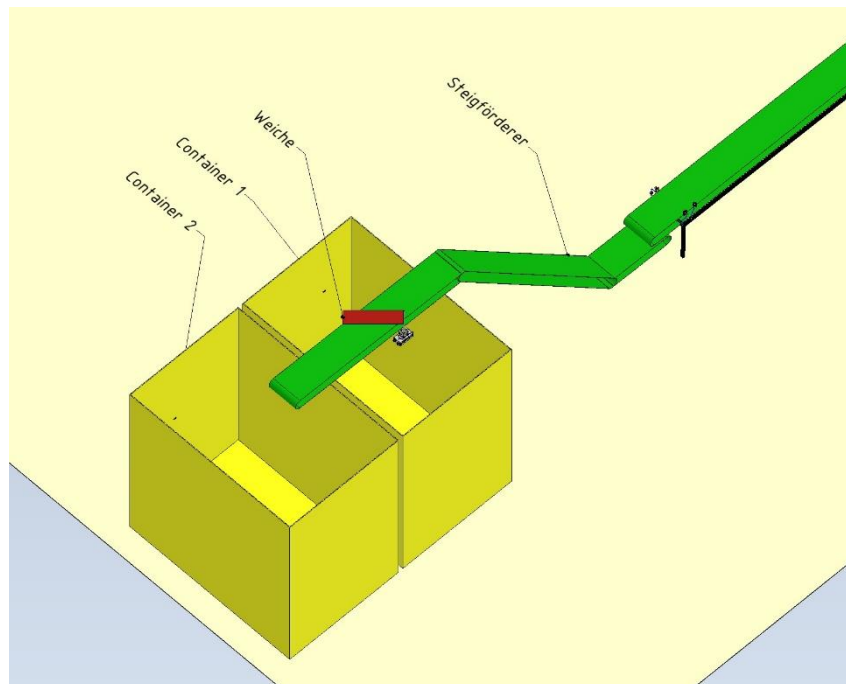


Abbildung 7: Steigförderer mit Schwenkeinrichtung und Container [4]

Da in dieser Arbeit die Programmierung der Anlagensteuerung nicht durchgeführt wird, folgt nur eine kurze Beschreibung der Funktionsweise.

Die Lichtschranken wurden so platziert, da der Energieverbrauch der Anlage optimiert werden soll. Jeder Abschnitt der Förderstrecke soll nur in Betrieb sein, wenn wirklich auch auf diesem Abschnitt Papierabfall transportiert wird. Dazu wird der Motor des jeweiligen Bandes nur gestartet, wenn die Lichtschranke für den Start des nächsten

Bandes vom Band davor Papier detektiert hat. Grundsätzlich wird die gesamte Anlage nur gestartet, wenn überhaupt etwas auf Förderstrecke drei oder vier gefallen ist.

Falls die Lichtschranke „Stau“ zu lange ein „Eins-Signal“ liefert, soll eine Meldung ausgegeben werden, dass auf dem jeweiligen Band ein Papierstau entstanden ist.

Am Ende der Förderstrecke werden unterhalb des Steigförderers zwei Presscontainer stehen. Welcher der Container mit den transportierten Papierabfällen befüllt wird, soll mit Hilfe einer elektrischen Schwenkeinrichtung gesteuert werden. Falls die Weiche mit der Schwenkeinrichtung geöffnet ist, wird Container zwei befüllt und falls die Weiche geschlossen ist, wird Container eins befüllt.

Die Beschreibung des mechanischen Konzepts und die grobe Erläuterung der Funktionsweise sind hiermit abgeschlossen.

3. Steuerungskonzept

In der heutigen Zeit wird für die Steuerung einer Anlage oder Maschine in der Industrie meist eine speicherprogrammierbare Steuerung, kurz SPS, eingesetzt. Dies hat sich als Stand der Technik etabliert.

Nach der DIN IEC 60050-351[6] versteht man „unter einer Speicherprogrammierbaren Steuerung eine rechnergestützte programmierte Steuerung, deren logischer Ablauf über eine Programmeinrichtung, zum Beispiel ein Bedienfeld, einen Hilfsrechner oder ein tragbares Terminal, veränderbar ist.“ [5; S. 311]

Eine solche SPS ist also ein Hardwaresystem, das eine Verbindung zwischen dem Prozess und anderen notwendigen Automatisierungseinrichtungen herstellt. Zusätzlich übernimmt das System die Programm- und Datenspeicherung sowie die Datenverarbeitung.

Hinzu kommt noch die Software als weiterer Bestandteil. Die Software ermöglicht als Betriebssystem den Zugriff auf die Hardware. Über sie wird der Aspekt der Veränderbarkeit realisiert. Es wird eine flexible Programmierung zur Verarbeitung der Signale für das Anwenderprogramm möglich.

Die heute verwendeten Speicherprogrammierbaren Steuerungen haben sich aufgrund vieler Vorteile gegenüber den früher verwendeten verbindungsprogrammierten Steuerungen (VPS) durchgesetzt.

Da die Steuerungen wie bei der VPS nicht mehr durch reine Hardware-Verbindungen realisiert werden, weisen die problemlos veränderbaren Programme eine hohe Flexibilität auf. Programme können außerdem problemlos gespeichert werden. Mit einer SPS können digitale und analoge Daten verarbeitet werden und Maßnahmen zur Fehlererkennung und -ortung werden einfach in der Software angelegt. [vgl. 5; S. 311–312]

Auch für die in dieser Arbeit zu konstruierende Anlage wird eine SPS ausgewählt. Als Hardware-Steuerung wird dafür eine Zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) mit passender Software benötigt. In den meisten Industrieanlagen, welche im Unternehmen SMA hergestellt wurden, kamen SPS des Herstellers SIEMENS zum Einsatz. Somit greift die Firma Sächsischer Maschinen- und Anlagenbau GmbH mit diesen Produkten auf langjährige Erfahrungen zurück. Außerdem ist dafür bereits passende Software für die spätere Programmierung im Einsatz und muss nicht extra beschafft werden. Aufgrund dieser Faktoren wird auch für diese Anlage eine Steuerung des Herstellers Siemens eingesetzt. Dem entsprechend werden Komponenten des Automatisierungssystems

SIMATIC betrachtet und das Totally Integrated Automation Portal (TIA-Portal) verwendet.

Allgemein sind einige Punkte bei der Auswahl einer SPS entscheidend. Zum einen welche Funktionen im Prozess überwacht und ausgeführt werden müssen. Zum anderen wie die Informationen der SPS zur Verfügung gestellt werden oder wie sie diese ausgeben muss, das heißt als binär, analog oder digital Ein- oder Ausgänge. Weiterhin muss die Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Programmumfang beachtet werden. Und zuletzt kommt es darauf an, welche Schnittstellen und Sicherheitsfunktionen benutzt werden. Diese Aspekte der Auswahl einer SPS werden in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert. [vgl. 5; S. 334–335]

3.1. Sicherheitskonzept

Als ersten Aspekt wird auf die nötigen Sicherheitsfunktionen eingegangen. Das Sicherheitskonzept der Anlage muss zuerst feststehen, um eine konkrete Auswahl einer CPU treffen zu können. Auf die Erstellung einer vollständigen Risikobeurteilung mit Auswertung des Performance Level (PL) und Sicherheitsintegritätslevel (SIL) wird verzichtet, da dies kein Schwerpunkt dieser Arbeit ist und den Umfang überschreiten würde.

Bei der Konstruktion von Maschinen muss sich seit 2006 in allen europäischen Staaten an die grundlegenden Anforderungen der Maschinenrichtlinie gehalten werden. [vgl. 6; S. 23]

Die Risiken der Maschine sind nach der Maschinenrichtlinie zu beurteilen. Für die Beurteilung der elektrischen Gefährdung ist die DIN EN ISO 12100 [19] zu Hilfe zu ziehen. Hierbei handelt es sich um eine Norm, also um eine Empfehlung für die technische Lösung von wiederkehrenden Problemen. Vom Gesetzgeber wird die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik gefordert. Der einfachste Weg dieser Forderung nachzukommen ist die Verwendung von Normen, da diese anerkannt sind. In dieser Arbeit werden somit Normen verwendet, um eine Konstruktion nach dem aktuellen Stand der Technik zu ermöglichen. Die Norm DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1) wird benutzt, um die Gefährdungen der elektrischen Ausrüstung der Maschine zu betrachten und damit notwendige Schutzmaßnahmen berücksichtigen und einplanen zu können. [vgl. 6; S. 47]

In diesem Kapitel werden nun nachfolgend verschiedene Möglichkeiten erklärt, ein Sicherheitskonzept umzusetzen. In der Folge wird ein Konzept ausgewählt mit den dafür passenden Betriebsmitteln. Außerdem wird der Einfluss auf die Auswahl der CPU

dargestellt. Zuerst wird jedoch die Auswahl der Betriebsmittel für die Schutzeinrichtung erklärt.

Durch die Abteilung mechanische Konstruktion des Unternehmens SMA wurde sichergestellt, dass von der zu projektierende Anlage keine weitere Gefährdung für den Menschen ausgeht, da diese zum Großteil unterflur verläuft und so abgedeckt ist, dass sie nicht von Menschen berührt werden kann. Das bedeutet, dass keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen benötigt werden.

Nach DIN EN ISO 13850 muss aber an jeder Steuerstelle, von der die Anlage gesteuert werden kann, mindestens ein Not-Halt-Befehlsgerät vorhanden sein. Zu unterscheiden sind dabei entweder ein Not-Halt oder ein Not-Aus, die angebracht werden können. Beim Betätigen eines Not-Aus wird entweder die Energiezufuhr der gesamten Anlage oder nur eines bestimmten Anlagenteils unterbrochen. Beim Betätigen eines Not-Halts wird dagegen nur der jeweilige laufende Prozess, welcher dem Not-Halt zugeordnet ist, angehalten und die Energiezufuhr zur Anlage bleibt bestehen. [vgl. 6; S. 296–300]

Eine Not-Aus-Einrichtung gilt als ergänzende Schutzmaßnahme, die nur in Sonderfällen benötigt wird. Als solche Sonderfälle gelten, wenn die Gefahr eines elektrischen Schlags durch Unaufmerksamkeit oder das Berühren von spannungsführenden Teilen möglich ist. Die Not-Aus-Geräte müssen an Orten angebracht werden, an denen der Schutz vor einem elektrischen Schlag nur durch Abstand oder Hindernisse realisiert wird. Im Normalfall ist dies innerhalb von elektrischen Betriebsstätten oder in der Nähe von Schleifleitungen oder Stromschienen der Fall. Für diese Anlage wurden jedoch Maßnahmen für den Berührungsschutz von unter Spannung stehenden Teilen getroffen. Es besteht keine Gefahr für einen elektrischen Schlag für die Arbeiter an der Anlage. Deshalb wird innerhalb der neuen Anlage kein Not-Aus vorgesehen, sondern es wird ein Not-Halt ausgewählt. [vgl. 6; S. 300]

Der ausgewählte Not-Halt muss für die Anwendung zweikanalig ausgeführt werden, um seine Sicherheitsfunktion in der Anlage zu erhöhen. Dies wird durch die Verwendung von zwei Öffnerkontakten möglich. Das angewendete Prinzip nennt sich Redundanz. Allgemein ist eine Redundanz vorhanden, wenn die Funktion mehrfach ausgeführt wird, obwohl dies nicht für die Erfüllung der Aufgabe notwendig ist. Redundanz wird angewendet, um zu verhindern, dass ein einziger Fehler zum Verlust der funktionalen Sicherheit führt. Dieses Prinzip nennt sich speziell in diesem Fall zweikanalige Redundanz. Der eingesetzte zweikanalige Not-Halt behält seine Sicherheitsfunktion, auch wenn ein Kanal durch einen äußeren Einfluss ausfällt. [vgl. 6; S. 266] [vgl. 7; S. 819]

Die Verwendung von Öffnerkontakten ist notwendig, um die sogenannte Drahtbruchsicherheit zu realisieren. Dieses Überwachungsprinzip wird in Sicherheitskreisen angewendet. Im Gegensatz dazu werden bei Steuerungskreisen hauptsächlich Schließerkontakte eingesetzt. Die verwendeten Öffner stellen sicher, dass immer ein Ruhestrom fließen kann. Im Fall eines Fehlers oder eines Drahtbruches wird der Ruhestrom unterbrochen. Diese Unterbrechung muss nun als Betätigung des Öffnerkontaktes verarbeitet werden. Das führt zum Abschalten der Anlagenfunktion, die vom jeweiligen Sicherheitskreis des Öffners überwacht wird. [vgl. 7; S. 819]

Mittels der vorhandenen Normen wurden die Notwendigkeit und die Ausführungsvariante des Not-Halt-Befehlsgerätes geklärt. Nun muss ein genaues Betriebsmittel festgelegt werden. Zunächst wird die Anzahl der Not-Halt-Geräte an der Anlage bestimmt. Wie bereits erwähnt muss an jeder Steuerstelle mindestens ein Not-Halt vorhanden sein. Als einzige Steuerstelle fungiert dabei der in Kapitel 6.1. ausgewählte Schaltschrank. Dieser Not-Halt muss von jeder handlungsfähigen Person, die sich in der Halle befindet, betätigt werden können unabhängig von Kenntnissen über die Anlage. Es darf sich keine Unsicherheit, über die sich ergebende Wirkung, nach der Betätigung des Befehlsgerätes ergeben. Dieser eine Not-Halt wird also die Funktion der gesamten Anlage unterbrechen. Da vom Schaltschrank die gesamte Anlage klar zu erkennen ist und kein Risiko für Personen besteht, wird sich auf das eine notwendige Not-Halt-Gerät beschränkt. Es wird zwischen drei Arten von Not-Halt-Geräten unterschieden, die eingesetzt werden können. Dabei handelt es sich um Drucktaster mit oder ohne mechanischen Schutz, Fußschalter ohne mechanischen Schutz und speziell bei Förderbändern werden öfter Reißleinenschalter eingesetzt. All diese Einrichtungen müssen passend farblich koloriert sein. Farblich muss das Bedienteil rot und der Hintergrund gelb abgesetzt werden. Für die Reißleine entfällt der Forderung nach einem gelben Hintergrund. Da das Bediengerät am Schaltschrank angebracht sein soll, um es der Anlage direkt zuzuordnen, fällt die Entscheidung auf einen Drucktaster. Das Not-Halt-Befehlsgerät wird dabei so platziert, dass ein unbeabsichtigtes irrtümliches Berühren nicht möglich ist. Somit entfällt die Erforderlichkeit des mechanischen Schutzes durch einen Schutzkragen. Der gewählte Not-Halt muss nun noch der Norm DIN EN 60947-5-5 (VDE 0660-210) entsprechen. Dafür müssen die Kontakte - wie zuvor ausgeführt - zwangsöffnend und mindestens zweikanalig ausgeführt sein. Es werden hierbei Betriebsmittel vom Hersteller SIEMENS bevorzugt, da in der kompletten Anlage bereits SIEMENS eingesetzt wird. Dies fördert die Konsistenz der Anlage und ein einheitliches Aussehen der Betriebsmittel. Aufgrund der aufgeführten Anforderungen erfolgt die folgende Auswahl an Betriebsmitteln für das Not-Halt-Befehlsgerät gemäß Tabelle 2. [vgl. 6; S. 297–299]:

Tabelle 2: Betriebsmittel Not-Halt

Betriebsmittel	Artikelnummer	Anzahl
Kontaktmodul mit Öffnerschaltglied	3SU1400-1AA10-1CA0	2
Halter für drei Module	3SU1500-0AA10-0AA0	1
Not-Halt-Pilzdrucktaster, rot	3SU1000-1HB20-0AA0	1
Unterlegschild rund, gelb	3SU1900-0BC31-0NB0	1

Nach der Festlegung der Betriebsmittel der Schutzeinrichtungen können nun die Varianten des Sicherheitskonzeptes erklärt und verglichen werden. Nach anerkanntem Stand der Technik stehen vor allem zwei Konzepte zum fehlersicheren manipulationsgeschützten Abschalten der Anlageprozesse zur Auswahl. Die erste Variante ist ein Sicherheitsschaltgerät und die zweite Variante ist eine sicherheitsgerichtete fehlersichere CPU, auch Safety-CPU genannt, mit den passenden fehlersicheren Peripheriebaugruppen.

Sicherheitsschaltgeräte oder auch Sicherheitskombinationen sind bereits einsatzfertige steuerungstechnische Betriebsmittel. Mit ihnen werden nicht die betriebsmäßigen Steuersignale der Maschine verarbeitet, sondern die durch die vorangegangene Risikoanalyse ermittelten Sicherheitsfunktionen umgesetzt. Zu ihren Aufgaben gehören die Überwachung der Befehlsgeräte im Sicherheitskreis und die zur Verfügungstellung von potenzialfreien Freigabekontakten. Diese Kontakte werden als fehlersichere Ausgänge in den Hauptstromkreis eingeschleift und können dort für das fehlersichere Abschalten der Maschine oder Anlage sorgen. Damit ein Sicherheitsschaltgerät eingesetzt werden kann, muss die Steuerungsaufgabe entsprechend aufgeteilt und strukturiert werden. Das bedeutet, dass die nicht sicherheitsgerichteten Abläufe und Prozesse über die einkanalig arbeitende Standard-SPS abgearbeitet werden. Alle kritischen Sicherheitsfunktionen werden über die Sicherheitskreise eines Sicherheitsschaltgeräts geführt. Als Sicherheitskreise werden dabei alle Stromkreise definiert, die hauptsächlich Befehlsgeräte wie einen Not-Halt oder einen Positionsschalter von Schutztüren beinhalten. Das Ziel ist die sichere Ausführung der geplanten Schutzmaßnahme. [vgl. 7; S. 821]

Die Sicherheitsschaltgeräte können viele Funktionen übernehmen, um die Fehlersicherheit zu garantieren. Dies hängt jedoch von ihren Beschaltungsmöglichkeiten ab und ist von Gerät zu Gerät unterschiedlich. Sie können zum Beispiel ein- und zweikanalig beschalten werden. Die einkanalige Beschaltung mit nur einem Überwachungs-Öffnerkontakt für den Not-Halt erfüllt ebenso die Sicherheitsanforderungen der Norm DIN EN 60204-1 (VDE 0113). Jedoch führt die zweikanalige Beschaltung des Gerätes

mit zwei separaten Not-Halt-Öffnerkontakten dazu, dass bei einem Ausfall nur eines Kontaktes nicht die Sicherheitsfunktion vollständig verloren geht. Damit hat die zweikanalige Beschaltung alle Voraussetzungen für eine höhere Sicherheitskategorie nach DIN EN 954-1 und ist zu bevorzugen. Mit weiteren Beschaltungsmöglichkeiten ergeben sich verschiedene Freigabevarianten. Für diese muss ein zusätzlicher Bereit-Ein Taster eingesetzt werden, der vor Start der Anlage betätigt werden muss. Über diesen werden die potenzialfreien Freigabekontakte freigeschalten, welche in den Haupt- oder Steuerstromkreisen der Anlage eingebunden sind. Wichtig für den Einsatz bei Not-Halt-Funktionen ist vor allem die Variante der manuellen Bereitschaft. Bei dieser Variante muss die Eingangsbedingung für den zweikanaligen Betrieb erfüllt sein, das bedeutet, in dieser Anlage darf der Not-Halt nicht betätigt sein. Der Bereit-Ein Taster muss dagegen betätigt werden. Die zweite Variante ist die überwachte Freigabe. Diese unterscheidet sich darin, dass der Bereit-Ein Taster sowohl geschlossen als auch geöffnet werden muss, um die Freigabekontakte zu aktivieren. Dadurch wird eine Überbrückungsmanipulation, durch zum Beispiel dauerhaftes mechanisches Betätigen des Bereit-Ein Tasters vermieden, und es wird Überlistungssicherheit gewährleistet. Für die zu projektierende Anlage wird ein extra Taster jedoch nicht gewünscht. Die Betriebsfunktionen sollen nach Behebung der Störung und Lösen des Not-Halt automatisch wieder anlaufen. Ebenfalls kann das Sicherheitsschaltgerät so beschalten werden, dass ein Anlauftest durchgeführt wird. In diesem Anlauftest müssen vor der Freigabe alle Kontakte der eingesetzten Betriebsmittel geöffnet und geschlossen werden, um zu garantieren, dass deren Funktion noch gewährleistet ist. Eine wichtige letzte Beschaltungsvariante ist die Querschlusserkennung, da Querschlüsse relativ häufig auftreten können, wenn zum Beispiel ein direkter Kontakt zwischen den beiden Kanälen durch eine mechanische Verformung des Kabels entsteht. Ein Querschloss würde die gesamte Wirksamkeit der zweikanaligen Ausführung aufheben, da die Punkte an der Schadensstelle auf dem gleichen elektrischen Potenzial liegen. Im Fall dieser Anlage ist es ein 24 Volt Potenzial. Zwischen Punkten auf gleichem Potenzial fließt kein elektrischer Strom. Innerhalb des Sicherheitsschaltgerätes erfolgt dafür eine Reihenfolgenvertauschung von Öffnerkontakten und Schütz, damit sich im Querschlossfall ein auswertbarer Kurzschluss ergibt. [vgl. 7; S. 821–822]

Für die zweite Variante, die Safety-CPU, werden wieder die Produkte des Herstellers SIEMENS bevorzugt. Die Produktreihe der sicherheitsgerichteten SIMATIC-Systeme oder auch Safety Integrated bei SIMATIC S7 kommt dafür zum Einsatz. Diese Systeme können verwendet werden, wenn der sichere Zustand der Anlage durch unmittelbares Abschalten der Betriebsmittel erreicht werden kann. Eine sogenannte Safety-Steuerung oder Safety-SPS besteht dabei aus mehreren Komponenten, um die erhöhten Sicherheitsfunktionen zu gewährleisten. Zunächst wird eine fehlersichere CPU, auch F-CPU genannt, benötigt. Zusätzlich muss diese F-CPU mit passenden fehlersicheren Peripheriebaugruppen (F-Baugruppen) und durch das überlagerte Sicherheitsprofil PROFIsafe bei den Standard-Bussystemen PROFIBUS DP und PROFINET IO ergänzt werden. PROFIsafe wird nur benötigt, wenn über PROFINET IO sicherheitsgerichtet dezentral Peripherie zu steuern ist. Es können parallel zu den Safety-Baugruppen auch Standardbaugruppen für normale Anwendungen verbaut werden. Die F-CPU verarbeitet auch die normalen Steuerungsprozesse der Anlage. Somit können Standardbetrieb und Sicherheitsbetrieb gemischt eingesetzt werden. Um jedoch den Sicherheitsbetrieb, erhöhte Sicherheitsfunktionen und die sicherheitsgerichteten erhöhten Diagnosefunktionen der F-CPU benutzen zu können, muss ein sicherheitsgerichtetes Anwenderprogramm verwendet werden. Bei SIEMENS wird das über die Optionsoftware STEP 7 Safety oder STEP 7 Safety Advanced realisiert. Diese müssen zusätzlich zum allgemein benötigten Anwenderprogramm TIA Portal erworben und benutzt werden. Mit diesen Zusatzprogrammen werden neue F-Programmbausteine und zusätzliche Bibliotheken zur Verfügung gestellt, welche Maßnahmen zur Fehlererkennung und -beherrschung hinzufügen. Sie erfordern außerdem extra Kenntnisse über die jeweilige Programmierung, da sich diese vom normalen Programm unterscheidet. [vgl. 8; S. 51–53] [vgl. 9; S. 65]

In der nachfolgenden Tabelle 3 werden die Vor- und Nachteile der beiden vorgestellten Sicherheitskonzepte aufgeführt und verglichen, um anschließend das bevorzugte Konzept auszuwählen.

Tabelle 3: Vergleich der Sicherheitskonzepte

Sicherheitskonzept	Vorteile	Nachteile
Sicherheits-schalt- gerät	+ kostengünstiger in Anschaffung + unabhängig von Steuerung + keine zusätzliche Software notwendig + alles in einem Gerät mit verschiedenen Beschaltungsmöglichkeiten	- höherer Verdrahtungsaufwand für komplexere Sicherheitsfunktionen - zusätzliche CPU für Standardsteueraufgaben - erhöhter Platzbedarf - Längere Auslösezeiten durch externe Verdrahtung außerhalb der SPS
Safety-SPS	+ einfachere Verdrahtung ohne Beachtung verschiedener Beschaltungsmöglichkeiten + weniger allgemeiner Verdrahtungsaufwand + kürzere Auslösezeiten im Millisekunden-Bereich + einfache Änderbarkeit von Programmen und Sicherheitsfunktionen + einfache Diagnose und Fehleranalyse	- wesentlich höhere Anschaffungskosten - zusätzliches Programm für Programmierung - extra Programmierkenntnisse notwendig - verschiedene Betriebsmittel nötig

Wie aus der Tabelle 3 hervorgeht, haben beide Sicherheitskonzepte entscheidende Vor- und Nachteile. Es muss nun abgewägt werden, welche Punkte, für die hier zu projektierende Anlage, am meisten ins Gewicht fallen. Wie bereits beschrieben gibt es nur wenige Sicherheitsfunktionen, wie den Not-Halt, umzusetzen. Daher kommt es mit dem Sicherheitsschaltgerät nicht zu einem deutlich erhöhten Verdrahtungsaufwand. Es müssen nur einige Drahte innerhalb des Schaltschranks zwischen der zusätzlich ausgewählten SPS und dem Sicherheitsschaltgerät verlegt werden. Außerdem können

alle angestrebten Sicherheitsfunktionen mit den bereits beschriebenen Beschaltungsmöglichkeiten eines Sicherheitsschaltgerätes umgesetzt werden. Es werden nicht die zahlreichen zusätzlichen Diagnose- und Fehleranalysemöglichkeiten der Safety-SPS benötigt. Genau so werden die geringeren Auslösezeiten der F-Steuerung nicht benötigt, da die Anlage nicht zeitkritisch abgeschaltet werden muss. Die niedrigeren Auslösezeiten des Sicherheitsschaltgerätes genügen, um die Förderbänder rechtzeitig zu einem sicheren Stopp zu bringen. Am stärksten fällt jedoch das Augenmerk auf den Kostenfaktor, weil eine wirtschaftliche rentable Anlage projektiert werden soll. Um die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projektes sicherzustellen, werden die erhöhten Ausgaben für eine Safety-CPU im Vergleich zu einer Standard CPU vermieden. Außerdem müssen keine preislich intensiveren F-Peripheriebaugruppen wie die fehlersicheren Eingangs- und Ausgangsmodule und eine zusätzliche Safety-Lizenz zum Programmieren gekauft werden. Es wird also schlussendlich das Sicherheitsschaltgerät ausgewählt, da es durch einen wettbewerbsfähigen Preis hervorsteht, ohne dabei die erforderlichen Sicherheitsstandards zu vernachlässigen.

Nach dieser Entscheidung kann nun das konkrete Betriebsmittel, welches als Sicherheitsschaltgerät eingesetzt wird, ausgewählt werden. Für diese industrielle Anlage wird ein Sicherheitsschaltgerät der Firma PILZ GmbH & Co. KG aus der Produktfamilie der PNOZ präferiert. Mit den Geräten dieses Herstellers besteht bei dem Unternehmen SMA die meiste Erfahrung und sie wurden bereits zahlreich erfolgreich eingesetzt. Für die genaue Auswahl müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden: Anzahl der sicheren Eingänge, Anzahl der zwangsgeführten sicheren Relaisausgänge, Anzahl der Halbleiterausgänge, Ausführungsvariante der Anschlussklemmen, mögliche Beschaltungsvarianten für Sicherheitsfunktionen.

Speziell für diese Anwendung werden mindestens zwei sichere Eingänge zur zweikanaligen Ausführung der Not-Halt Funktion benötigt. Da keine weiteren Sicherheitsfunktionen geplant sind und für den Fall einer Erweiterung der Anlage um zusätzliche Not-Halte, diese in Reihe geschaltet werden, müssen keine weiteren Eingänge vorgesehen werden außer als Reserve für anderweitige Erweiterungen der Sicherheitsfunktionen. Es werden zwei zwangsgeführte Relaisausgänge vorgesehen. Diese sind potenzialfrei und werden in die Steuerkreise der Maschine eingebunden, um Sicherheitsfunktionen zu realisieren. Ein Relaisausgang wird für die sichere Abschaltung der in Kapitel 4.3. ausgewählten Motoren und Umrichter benötigt und ein weiterer wird als Reserve für eine mögliche Erweiterung der Anlage vorgesehen. Es wird zudem ein Halbleiterausgang als Verbindung zur SPS benötigt. Aufgrund dieser beschriebenen Kriterien kann die vielfältige Auswahl an Betriebsmitteln bei Hersteller PILZ auf folgende Produkte in Tabelle 4 beschränkt werden.

Tabelle 4: Mögliche Sicherheitsschaltgeräte

Betriebsmittel	Artikelnummer
PNOZ X2 24AC/DC 2n/o	774303
PNOZ X3 24AC/DC 3n/o 1n/c 1so	774310
PNOZ s2 24VDC 3n/o 1n/c	750102
PNOZ s2 C 24VDC 3n/o 1n/c	751102
PNOZ s3 24VDC 2n/o	750103
PNOZ s3 C 24VDC 2n/o	751103

Alle aufgeführten Betriebsmittel erfüllen das Kriterium der zwei Eingänge und können ein- oder zweikanalig beschalten werden. Außerdem können alle so beschalten werden, dass die Sicherheitsfunktion der Querschlosskennung und des manuellen oder automatischen Starts erfüllt ist. Sie unterscheiden sich nur in der Anzahl der Relaisausgänge. Die Abkürzung n/o steht für normally open und zeigt damit die Anzahl der Öffnerkontakte. Es werden nur zwei zwangsgeführte Kontakte benötigt. Somit sind alle, die mit mehr als 2n/o gekennzeichnet sind, ausgeschlossen. Die Baureihen PNOZ X und PNOZ s unterscheiden sich hauptsächlich in ihrer Baubreite. Die X-Serie hat eine Breite von 45mm und die s- oder Sigma-Serie hat eine Breite von 17,5mm. Um Platz einzusparen, wird sich für die schmalere Sigma-Serie entschieden. Die Abkürzung C im Namen einer der beiden letzten zwei verbleibenden Sicherheitsschaltgeräte der Variante PNOZ s3 steht für die Ausführung der verbauten Klemmen. Das Gerät ohne C-Kennung hat Klemmen mit Schraubtechnik verbaut und das Gerät mit C-Kennung hat Federkraftklemmen verbaut. Federkraftklemmen werden nur für besondere Anwendungsfälle benötigt. Somit fällt die finale Auswahl auf das Sicherheitsschaltgerät PNOZ s3 24VDC 2n/o.

Anschließend folgt die Beschreibung der Verdrahtung des ausgewählten Sicherheitsschaltgerätes, damit alle Sicherheitsfunktionen wie gewünscht umgesetzt werden können. Dafür wird die Abbildung 8 aus den angefertigten Schaltungsunterlagen in EPLAN P8 zur Veranschaulichung benutzt. Die Schaltungsunterlagen sind vollständig als Anlage 2 zu finden. Die Bedienungsanleitung für den Produkttyp PNOZ s3 wird zu Hilfe genommen.

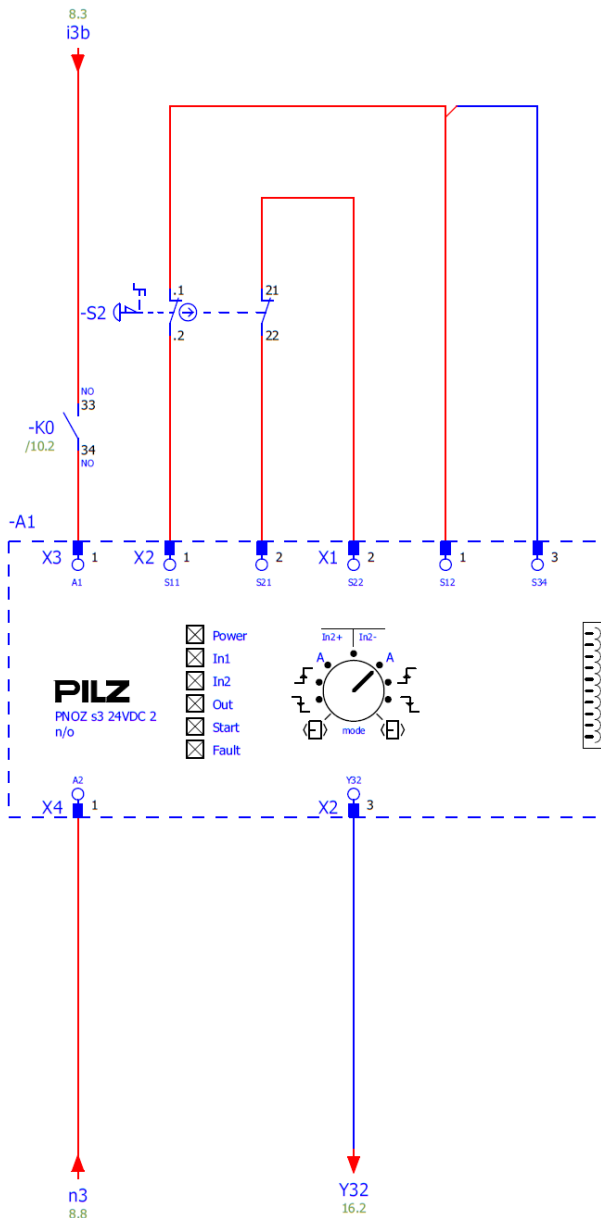


Abbildung 8: Anschlussbild des PNOZ [10]

Das Sicherheitsschaltgerät wurde mit der Betriebsmittelkennzeichnung -A1 versehen. Die Spannungsversorgung für das PNOZ wird über die Anschlüsse A1 und A2 bezogen. Das 24V Potenzial kommt von der Sammelklemme -XF3, die extra über den Leitungsschutzschalter -F3 abgesichert ist und führt auf den Anschluss X3:A1. Das 0V Potenzial kommt von der Sammelklemme -X0V und geht auf den Anschluss X4:A2. Mehr zur Auswahl dieser Klemmen und Absicherungen in Kapitel 6.2. Der zweikanalige Anschluss des Not-Halt wird über die Klemmen X1 und X2 des PNOZ realisiert. Der erste Kanal wird von den Kontakten S11 und S12 des PNOZ zu den Anschlüssen 1 und 2 des Not-Halt verdrahtet. Der zweite Kanal wird mit den Kontakten S21 und S22 über die Anschlüsse 21 und 22 des Not-Halt verbunden. Somit wurden beide zwangsführenden Öffnerkontakte des Not-Halts in den Eingangskreis des Sicherheitsschaltgerätes eingebunden. Entsprechend der Bedienungsanleitung des PNOZ s3 ist die Querschlusserkennung zwischen den

beiden verdrahteten Not-Halt Kanälen aktiviert solange der Anschluss S11 und S21 separat an den Not-Halt angeschlossen sind. Um den Start der Anlage nicht zu verzögern oder durch das Vergessen der Betätigung des Tasters ganz zu unterbinden, wurde sich gegen eine Bereit-Ein Taster entschieden. Der Taster wäre eine zusätzliche Quittierung am Schaltschrank um zu bestätigen, dass alle Fehler behoben wurden. Dieser Taster würde zwischen den Anschlüssen S12 und S34 eingebunden werden. In der Anlage wird S12 und S34 direkt miteinander verbunden und damit ein automatischer Start der Anlage nach Entriegelung des Not-Halt Tasters ausgeführt. Unten am PNOZ wird der Halbleiterausgang Y32 direkt mit der SPS verdrahtet. Dieser wird direkt auf einen SPS-Eingang geführt, um Signale an die CPU weiterzuleiten. [10] [vgl. 11; S. 9–15]

3.2. Variantenvergleich der SPS-Typen/-Bauformen

Controller oder auch CPU steuern als zentraler Hardwareteil einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) die fertigungstechnischen Anlagen oder verfahrenstechnischen Prozesse. Sie sind damit einer der wichtigsten Bestandteile der Anlage. Die CPU, welche perfekt zum Projekt passt, ist daher ein elementarer Teil der Konstruktion. Nach der Betrachtung zum Sicherheitskonzept können bereits fehlersichere F-Controller und dazugehörige F-Baugruppen aus dem zukünftigen Auswahlverfahren ausgeschlossen werden. Doch der Hersteller SIEMENS bietet mit der Produktreihe SIMATIC S7 eine breite Auswahl aus vier Bauformen allein für die CPU an. Dabei handelt es sich um:

- SIMATIC S7-1200
- SIMATIC S7-1500
- SIMATIC S7-300
- SIMATIC S7-400

Zusätzlich werden noch eine dezentrale Controllervariante und ein Automatisierungssystem auf Basis eines Personal Computers (PC) angeboten.

- SIMATIC ET 200
- PC-based Automation

In diesem Kapitel werden die einzelnen Bauformen der CPU genauer betrachtet, um im folgenden Kapitel die geeignete kompatible Steuerung für diese Anlage auszuwählen. Außerdem können aufgrund dieser Entscheidung passende Peripheriegeräte herausgesucht werden. Dazu zählen unter anderem digitale oder analoge Eingangs- und Ausgangsmodule zur Signalverarbeitung, Kommunikationsmodule und Technologiemodule. Des Weiteren muss beachtet werden, ob PROFIBUS IO oder PROFIBUS DP verwendet wird. [vgl. 8; S. 19]

Der Basic Controller SIMATIC S7-1200

Unter dieser Bezeichnung werden fünf verschiedene CPU-Baugruppen in der Kompaktbauform mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit angeboten. Allgemein gesehen bewegen sich die S7-1200 Controller im unteren und mittleren Leistungsbereich. Die CPU-Baugruppe wird in diesen Stationen zusammen mit den Peripheriebaugruppen, die die Verbindung zur gesteuerten Anlage herstellen, auf einem Baugruppenträger angebracht. In der CPU sind schnellere Zähler integriert und es können im Zusammenspiel mit zusätzlichen Technologieobjekten und MotionControl einzelne Achsen, maximal zwei, für zum Beispiel einen Schrittmotor oder Servomotor gesteuert werden.

Die CPUs der 1200 Reihe besitzen je nach Modell bereits Onboard-Peripherie. Das bedeutet, dass Steuersignale von Ein- und Ausgängen direkt an der CPU angeschlossen werden können ohne zusätzliche Module zu benötigen. Die Anzahl der Onboard-Peripherie Anschlüsse variiert zwischen den unterschiedlichen Modellen. Alle Modelle können jedoch mit zusätzlichen Signalbaugruppen erweitert werden. Die CPU 1212 kann nur mit 2 Baugruppen erweitert werden, alle anderen Modelle mit mehr Leistungsfähigkeit, wie die 1214, 1215 oder 1217, können mit bis zu acht Signalbaugruppen erweitert werden. Zur Verfügung stehen dabei vor allem Digitalbaugruppen mit 8 oder 16 Binärkanälen für 24 Volt Eingangs- oder Ausgangsspannung. Ebenfalls möglich ist die Erweiterung mit Analogeingabebaugruppen, die ebenso mit 8 oder 16 Analogkanälen ausgestattet sind. Die CPU 1200 Varianten sind alle mit einer PROFINET-Schnittstelle ausgestattet, um sie mit anderen Geräten über Industrial Ethernet zu verbinden. Sollten mehrere Anschlüsse benötigt werden, muss ein Schnittstellenvervielfacher verwendet werden. Diese werden beim Hersteller SIEMENS unter dem Begriff Switch geführt. Wenn andere Schnittstellen benötigt werden, kann ein zusätzliches Kommunikationsmodul angebracht werden. [vgl. 8; S. 21–26]

Der Advanced Controller SIMATIC S7-1500

Das Automatisierungssystem SIMATIC S7-1500 ist sehr gut modulierbar und skalierbar. Damit ist es universell in der Fertigungsindustrie einsetzbar, wird jedoch vom Hersteller SIEMENS für den mittleren und oberen Leistungsbereich angegeben. Insgesamt stehen sechs Standard-Controller mit abgestufter Leistungsfähigkeit zur Verfügung. Eine S7-1500 Station wird wie auch bei der S7-1200 auf einem einzigen Baugruppenträger zusammengesetzt. Je nach Bedarf können alle Modelle der CPU-Baugruppe durch eine Vielzahl von unterschiedliche Signal-, Technologie- und Kommunikationsbaugruppen ergänzt werden. Maximal können 32 Steckplätze belegt werden. Bei dieser Anordnung wird die CPU auf den ersten Steckplatz platziert und an eine 24V Gleichspannung angeschlossen. Die CPU versorgt dann alle Baugruppen rechts von ihr mit Spannung. Vor die CPU auf Steckplatz Null kann eine Systemstromversorgung gesteckt werden, die dann anstatt der CPU das gesamte System mit Spannung versorgt. Die Spannungsversorgung und der Datenaustausch zwischen den Baugruppen erfolgt über den Rückwandbus, der an der Profilschiene angebracht ist. Zusammen bilden sie bei dieser Modellreihe den Baugruppenträger. Für dieses Automatisierungssystem steht eine größere Auswahl an Signalbaugruppen als bei der S7-1200 zur Verfügung. Es stehen zusätzlich zu den im vorherigen System beschriebenen Signalbaugruppen auch 16- und 32-kanalige Baugruppen zur Verfügung. Sie können Eingangssignale entweder mit 24 Volt Gleichspannung oder mit 230 Volt Wechselspannung lesen und zu internen Signalen umwandeln. Für die Ausgangsbaugruppen gibt

es äquivalente Baugruppenausführungen wie für die Eingänge. Mit dieser CPU können verschiedenste Technologiefunktionen umgesetzt werden. Mit Technologieobjekten können unter anderem ein PID-Regler erstellt werden, der Istwert mit Sollwert in einem Regelkreis vergleicht, High Speed Zähler erstellt werden und Frequenz- und Periodendauermessungen durchgeführt werden. Über die Onboard-Peripherie kann mit MotionControl Positionserfassung ausgeführt werden. Außerdem gibt es MotionControl Funktionen für Drehzahl-, Positionier- und Gleichlaufachsen sowie externe Geber. Jede 1500 CPU hat mindestens eine PROFINET-Schnittstelle für den Anschluss von Programmiergeräten oder für den Datenaustausch mit anderen Bedien- oder Automatisierungsgeräten. Ab CPU 1515 gibt es noch eine zusätzliche PROFINET-Schnittstelle mit separater IP-Adresse. Leistungsstärkere Varianten besitzen noch mehr Schnittstellen. In diesen Modellen kann auch eine PROFIBUS DP-Schnittstelle integriert sein. Die CPU kann damit der Master in einem DP-Mastersystem sein. [vgl. 8; S. 27–35]

Die modulare Kleinststeuerung SIMATIC S7-300

Hierbei handelt es sich um ein modulares Kleinststeuersystem. Es ist für den mittleren Leistungsbereich geeignet. Wie der Name vermuten lässt, sind diese Stationen kleiner als die anderen von SIEMENS angebotenen. Eine S7-300 Station besteht aus einem Zentralgerät und bis zu drei Erweiterungsgeräten. [vgl. 8; S. 36]

Das Zentralgerät enthält immer eine CPU-Baugruppe und bis zu acht Peripheriebaugruppen. Die CPU-Baugruppe benötigt eine 24 Volt Gleichspannung als Versorgungsspannung. Diese Spannung wird von der links neben der CPU auf der Profilschiene angeordneten Stromversorgung geliefert. Maximal hat ein Zentralgerät 11 Steckplätze. Die ersten drei Steckplätze sind immer für folgende Baugruppen von links nach rechts abgeordnet reserviert: die Stromversorgung, die CPU und die Anschaltungsbaugruppe. Die Anschaltungsbaugruppe wird auch als IM-Baugruppe bezeichnet. IM steht hierbei für Interface Modul. Ihr Steckplatz darf nicht mit anderen Baugruppen belegt werden, auch wenn sie nicht vorhanden ist. Auf den nächsten Steckplätzen folgen bis zu acht Peripheriebaugruppen. Ein serieller Rückwandbus verbindet die Baugruppen miteinander. Er wird mittels Busverbindern zwischen den Baugruppen weitergeleitet und über ihn werden Peripheriesignale und Parametrierdaten übermittelt. [vgl. 8; S. 36]

Ein Erweiterungsgerät der S7-300 wird eingesetzt, wenn weitere Peripheriebaugruppen benötigt werden, weil die der Zentraleinheit nicht ausreichen. Der Aufbau eines Erweiterungsgerätes entspricht dem der Zentraleinheit, nur die ersten drei Steckplätze werden anders belegt. Steckplatz 1 wird hier von der CPU belegt. Auf Steckplatz 2 wird ein Empfänger-IM und auf Steckplatz 3 wird ein Sende-IM platziert. Danach folgen wie bei der Zentraleinheit bis zu acht Peripheriebaugruppen. Beim ersten

Erweiterungsgerät stellt die Empfänger-IM die Verbindung zum Zentralgerät über die Anschaltungsbaugruppe her. Die Sende-IM stellt dann die Verbindung zu der Empfänger-IM des nächsten Erweiterungsgerätes her. [vgl. 8; S. 37]

Bei dieser Station ist der mögliche mehrzeilige Aufbau besonders interessant. Falls nur ein Zentralgerät vorhanden ist, handelt es sich um einen einzeiligen Aufbau. Mit jedem Erweiterungsgerät wird eine weitere Zeile zum Aufbau hinzugefügt. Maximal ist ein vierzeiliger Aufbau mit dann insgesamt 32 Peripheriebaugruppen möglich. Die Standard CPUs dieser Baureihe decken den gesamten mittleren Leistungsbereich durch die breite Produktpalette von sieben unterschiedlich leistungsstarken Modellen ab. Die Kommunikation bei S7-300 variiert je nach CPU. Jede CPU hat eine MPI-Schnittstelle für den Anschluss an ein Programmiergerät oder den Datenaustausch mit anderen CPUs. Je nach bestellter Variante kann entweder keine weitere Schnittstelle vorhanden sein oder eine PROFIBUS DP-Schnittstelle oder eine PROFINET IO-Schnittstelle. Am PROFIBUS DP kann die CPU als DP-Master oder DP-Slave fungieren. An PROFINET IO kann die CPU ein IO-Controller oder ein IO-Device sein. Wenn weitere Schnittstellen benötigt werden, die nicht an der CPU vorhanden sind, können zusätzliche Kommunikationsbaugruppen angeschlossen werden. Mit den Technologiefunktionen der Kompakt-CPU's können wie bei der S7-1500C verschiedenste Technologiefunktionen umgesetzt werden. Jedoch sind hier die Technologiefunktionen fest den Eingängen und Ausgängen auf der CPU zugeordnet. Teilweise überschneiden sich die Zuordnungen jedoch, weshalb nicht alle Funktionen gleichzeitig wie bei der 1500 benutzt werden können. Möglich sind hier die gesteuerte Positionierung von Antrieben, Zählen, Frequenzmessungen, Pulsweitenmodulation und Regelfunktionen. [vgl. 8; S. 37–42]

Die leistungsfähige SIMATIC S7-400

Die SIMATIC S7-400 Controller sind die leistungsstärksten Controller, die von SIEMENS angeboten werden und decken damit den kompletten oberen Leistungsbereich ab. Diese Stationen sind modular aufgebaut ähnlich wie bei der S7-300. Sie zeichnen sich durch ihre großen Leistungsreserven aus. Auch hier besteht die Station aus einem Zentralgerät, aber es können je nach Bedarf bis zu 21 Erweiterungsgeräte ergänzt werden. [vgl. 8; S. 42]

Die Baugruppenträger haben bei diesem Automatisierungssystem eine feste Länge und sind universell als Zentral- und Erweiterungsgruppenträger einsetzbar. Die Baugruppenträger können in unterschiedlichen Längen bestellt werden, mit 18, 9, oder 4 Steckplätzen für Baugruppen. Im Gegensatz zur S7-300 können die Steckplätze der

Baugruppen frei gewählt werden und es können auch Lücken gelassen werden. Baugruppen wie die CPU oder die Stromversorgung können auch mehr als einen Steckplatz belegen. Der Rückwandbus wird bei den S7-400 Stationen in einen parallelen P-Bus für die Peripheriesignale und einen seriellen K-Bus für die Übertragung von Datensätzen aufgeteilt. Auf einem Baugruppenträger können auch zwei CPUs mit geteilter Stromversorgung funktionsmäßig getrennt betrieben werden. Der K-Bus verbindet die CPUs miteinander, doch sie haben einen völlig getrennten P-Bus für ihre eigenen Peripheriebaugruppen. Falls das Zentralgerät nicht genug Platz für Peripheriebaugruppen bietet, können - wie bereits erwähnt - bis zu 21 Erweiterungsgeräte angebaut werden. Diese Erweiterungsgeräte werden wunschgemäß angeordnet. Sie sind nicht an einen Zeilenaufbau gebunden wie bei der S7-300. Die Erweiterungsgeräte können auch räumlich entfernt also dezentral aufgebaut werden. Für die optimale Anpassung an alle steuerungstechnischen Aufgaben im oberen Leistungsbereich stehen 10 verschiedene Standard-CPU 400 zur Verfügung. Die Kommunikation fällt wie bei der S7-300 aus. Jede CPU hat eine MPI-Schnittstelle. Einige Varianten sind auch mit PROFINET IO oder PROFIBUS DP-Schnittstelle ausgestattet. Kommunikationsbaugruppen für andere Schnittstellen sind als Erweiterung möglich. [vgl. 8; S. 42–48]

Dezentrales Peripheriesystem ET 200

Unter ET 200 wird vom Hersteller SIEMENS eine ganze Gerätefamilie zusammengefasst. Die Geräte sind als dezentrale Peripherie, welche vor Ort an der Maschine oder im Prozess direkt eingesetzt wird, gedacht. Sie unterscheiden sich stark in ihren mechanischen Eigenschaften und in ihrem Aufbau. Es gibt folgende ET-200-Stationen:

- SIMATIC ET 200M
- SIMATIC ET 200MP
- SIMATIC ET 200SP
- SIMATIC ET 200S
- SIMATIC ET 200iSP
- SIMATIC ET 200pro
- SIMATIC ET 200AL
- SIMATIC ET 200eco

Für die zu projektierende Anlage soll die CPU im Schaltschrank eingebaut sein. Einige ET 200 Stationen können aber auch außerhalb des Schaltschranks direkt an der Maschine angebracht werden und haben damit die Schutzart IP65. Diese sind für das Projekt irrelevant. Es werden nur Stationen mit Schutzart IP 20 für den Einbau im Schaltschrank betrachtet. Von diesen Stationen passt die SIMATIC ET 200SP am besten zu dieser Anlage. Diese ist ein modulares dezentrales Peripheriesystem. Sie kann

zusätzlich zu einer bereits vorhandenen CPU eingesetzt werden oder auch selbständig agieren. Dies ist abhängig vom eingesetzten Interface Modul. Für dieses Projekt soll die CPU selbständig agieren. Das bedeutet, es wird eine intelligente Interface-Baugruppe mit CPU-Funktionalität benötigt, damit die ET 200SP als sogenannter Distributed Controller mit einem eigenen Anwenderprogramm „stand alone“ arbeiten kann. An den Interface-Modulen ist eine PROFINET IO-Schnittstelle mit zwei Ports eingebaut, damit eine Linienstruktur ohne zusätzliche Geräte wie einen Switch aufgebaut werden kann. Die Erweiterung um eine Kommunikationsbaugruppe ermöglicht auch eine Verbindung zum PROFIBUS DP. [vgl. 8; S. 73–79]

SIMATIC PC-based Automation

Bei dieser Automatisierungsvariante werden die Funktionalität einer speicherprogrammierbaren Steuerung und ein Personal Computer (PC) miteinander vereint. Somit können auf den eingebauten Geräten PC-Anwendungen zum Einsatz kommen, um zum Beispiel Datenverarbeitung, Kommunikation oder Visualisierung umzusetzen. Es gibt zwei mögliche Gerätearten, die eingesetzt werden können. Die erste Art sind Open Controller der ET 200SP Bauform und die andere sind SIMATIC Industrie-PCs in den Ausführungen Rack-PC oder Box-PC. Es muss zur aufgezählten Hardware ein Software-Controller auf Basis einer CPU 1500 im Anwenderprogramm TIA-Portal angewendet werden. Passend dazu ist die Ergänzung durch ein Display in Form eines externen Monitors oder eines Panel PCs. Auf die ausgewählte Bauform des Controllers bzw. PCs muss ein Betriebssystem installiert werden. Großer Vorteil dieser PCs ist, dass eigene Funktionen in der Programmiersprache C++ programmiert werden können, welche in das SPS-Anwenderprogramm eingebunden werden können. Bei der ET 200SP Bauform wird diese als zentrale Peripherie eingesetzt und kann mit 64 ET 200SP Modulen erweitert werden, wie auch bei der normalen ET 200 SP. Die Rack- und Box-PCs sind eher wie ein konventioneller Computer aufgebaut. Sie eignen sich besonders gut für die platzsparende Realisierung von schnellen Rechen- und Visualisierungsaufgaben. Damit können z.B. Bild- und Datenverarbeitung oder industrielle Serveranwendungen umgesetzt werden. Sie sind mit der höchsten Performance ausgestattet. [vgl. 8; S. 66–73]

3.3. Finale Auswahl der CPU

Nachdem nun alle möglichen angebotenen CPU-Varianten genauer betrachtet wurden, muss das am besten auf das Projekt zugeschnittene CPU-Modell ausgewählt werden. Zunächst wird grob selektiert durch die Überlegung in welchen Leistungsbe- reich die Anlage gehört. Nach Betrachtung des Sicherheitskonzeptes wurde bereits klar, dass keine fehlersichere CPU benötigt wird und keine weiteren Sicherheitsfunktio- nen umgesetzt werden müssen. Die vorhandenen werden durch das ausgewählte Sicherheitsschaltgerät ausgeführt. Wie beim mechanischen Konzept beschrieben sol- len Motoren vom Hersteller SEW-EURODRIVE eingesetzt werden. Passend dazu wer- den, um später eine bessere Kompatibilität und einfachere Inbetriebnahme zu gewähr- leisten, SEW-EURODRIVE Umrichter bevorzugt. Mehr zu der Auswahl dieser Kompo- nenten in Kapitel 4. Damit entfällt die MotionControl Funktion, die benötigt wird, um die SIEMENS Umrichter direkt mit dem Anwenderprogramm TIA-Portal zu programmieren und einzustellen. Der allgemeine Aufbau der Anlage gestaltet sich relativ einfach mit wenigen notwendigen Ein- und Ausgängen. Eine ausführlichere Betrachtung zu den notwendigen Betriebsmitteln erfolgt bei der Auswahl der Peripheriebaugruppen und in späteren Kapiteln. Eine Notwendigkeit besteht nur für Zähler- und Timer-Funktionen, die bereits in den Standard CPUs vorhanden sind. Damit fällt auch die Notwendigkeit der meisten Technologieobjekte der verschiedenen CPUs weg. Es wird keine T-CPU mit extra Technologiemodul und den beschriebenen Technologiefunktionen notwen- dig. Nach Ausschluss all dieser Kriterien muss angenommen werden, dass die CPU nur ein einfaches Programm, welches mit TIA-Portal erstellt wird, verarbeiten und zyklisch durchlaufen muss. Da acht Motoren und 16 Lichtschranken ausgewertet werden müssen, wird der Leistungsbereich, in dem die Steuerung arbeiten muss, zwischen einem hohen unteren und niedrigem mittleren Leistungsbereich festgelegt. Zusätzlich soll in Betracht gezogen werden, dass die Anlage in der Zukunft perspektivisch um mehr Förderbänder erweitert wird, da vom Auftraggeber mehr Produktionsmaschinen angeschafft werden.

Somit können alle Steuerungen ausgeschlossen werden, die im hohen mittleren Leis- tungsbereich und im oberen Leistungsbereich liegen. Außerdem kann ein PC-based Automatisierungssystem ausgeschlossen werden, da keine aufwändigen Rechen- und Visualisierungsaufgaben anstehen und keine großen Datenmengen schnell verarbei- tet werden müssen.

In Zusammenarbeit mit dem SIEMENS Supportteam und nach Schilderung der Anlage kann festgelegt werden, dass die besten Auswahlmöglichkeiten eine S7-1200 CPU mit hoher Leistungsfähigkeit, eine S7-1500 CPU mit niedriger Leistungsfähigkeit oder eine ET 200SP Station sind. In Tabelle 5 werden diese drei Baureihen durch die Auflistung der Vor- und Nachteile miteinander verglichen. [12]

Tabelle 5: Vergleich der CPU-Baureihen

CPU-Baureihe	Vorteile	Nachteile
S7-1200	+ kostengünstigste CPU + abgestuft leistungsfähige CPU-Varianten kann passend ausgewählt werden	- Peripheriemodule vergleichsweise teuer - keine dezentrale Anordnung - nur ein PROFINET-Port - begrenzte Anzahl von Ein- und Ausgängen - begrenzte Prozessorleistung
S7-1500	+ leistungsstärker und skalierbarer + mehrere PROFINET-Ports + höhere Anzahl von Ein- und Ausgängen + fortschrittlichere Prozessorleistung + erweiterte Diagnose- und Sicherheitsfunktionen	- teuerste CPU und Peripheriemodule - keine dezentrale Anordnung - vermutlich etwas überdimensioniert - eignet sich für umfangreichere Automatisierungsprojekte
ET 200SP	+ dezentrale Anordnung möglich + günstigere Peripheriemodule als S7-1200 + mehrere PROFINET-Ports	- zusätzliche IM-Baugruppe benötigt für Distributed Controller

Die CPU wird zentral im Schaltschrank angeordnet. Das bedeutet, dass für die ET 200SP das zusätzliche Interface Modul benutzt werden muss und der Preis im Vergleich zur S7-1200 deutlich höher wird. Da aber bekanntlich nur wenige Ein- und Ausgänge benötigt werden, kommt ihr Vorteil der günstigeren Peripheriemodule nicht zum Tragen. Ebenso wird die höhere Leistungsfähigkeit und Erweiterbarkeit der S7-1500 vermutlich nicht benötigt. Zudem sind die Vielzahl an Diagnosefunktionen und Fehleranalysemöglichkeiten der S7-1500 irrelevant, da nur wenige Sicherheitsfunktionen in der Anlage umgesetzt werden müssen. Nach den bereits betrachteten Kriterien müsste eine S7-1200 Steuerung alle Anforderungen des Projektes erfüllen. Einer der wichtigsten Faktoren zur finalen Auswahl der CPU-Baureihe ist jedoch die Wirtschaftlichkeit der Anlage und damit die Anschaffungskosten der CPU. Somit kann auch die S7-1500 außenvor gelassen werden, da sie teurer ist.

Die Baureihe S7-1200 wird also final ausgewählt. Somit muss nur noch eine konkrete CPU 1200 festgelegt werden. Falls die fünf verschieden leistungsstarken CPU-Baugruppenausführungen nicht leistungsfähig genug sind, um die Anforderungen der Anlage zu erfüllen, kann noch auf eine S7-1500 zurückgegriffen werden.

Das entscheidende Auswahlkriterium bei der Auswahl der CPU-Ausführung ist die Auslastung. Die Auslastung der CPU sollte niemals 80% beim Projektieren übersteigen. Falls die 80% Auslastung überstiegen werden, muss eine leistungsstärkere CPU ausgewählt werden. Außerdem muss noch festgelegt werden mit welcher Ausführung die ausgewählte CPU-Baugruppe bestellt wird. Es gibt für jede Leistungsstufe die Varianten DC/DC/DC, AC/DC/RLY und DC/DC/RLY. Die erste Angabe steht für die Versorgungsspannung der CPU, die mittlere Angabe steht für die Betriebsspannung der Onboard-Peripherie und die letzte Angabe beschreibt die Art der Digitalausgaben Gleichspannung. In dieser Anlage soll alles mit 24 Volt Gleichspannung versorgt werden. Damit fällt die Auswahl auf die DC/DC/DC Variante. Für die finale Auswahl wird das TIA Selection Tool verwendet. Dabei handelt es sich um eine frei zugängliche Software vom Hersteller SIEMENS, um die Auswahl von Betriebsmitteln zu erleichtern. In der aktuell neusten Version des TIA Selection Tools 2023.11.0.3575 wird jedoch keine genaue Angabe mehr zur Auslastung ausgegeben, da es sich um theoretische Berechnungen handelt, die von der realen praktischen Anwendung abweichen können. [vgl. 9; S. 63]

Im Austausch mit dem Supportteam von SIEMENS konnten die folgenden groben Werte für die Auslastung der CPU festgehalten werden. Für das in TIA-Portal erstellte Programm muss ein Wert von 10% bis 20% angenommen werden. Würde MotionControl verwendet werden, um die Antriebe zu steuern, wird dafür grob 40% Auslastung angenommen. Die Zyklusauslastung der CPU durch die Kommunikation kann sich am meisten von Anlage zu Anlage unterscheiden, da sie sehr abhängig von Art und Anzahl

der Netzteilnehmer ist. Der Wert 25% Auslastung ermöglicht eine großzügige Auslegung des Kommunikationskonzept, sodass keine Probleme auftreten sollten. Im TIA Selection Tool müssen die wichtigsten Rahmenbedingungen der Anlage eingegeben werden. Das beinhaltet unter anderem die Auswahl der CPU-Baureihe, die Auswahl der zentralen Module, ob dezentrale Module benötigt werden, die Anzahl der Eingänge und Ausgänge, die Stromversorgung und das bevorzugte Netzwerk. [12]

Mit Hilfe des TIA Selection Tools wird somit konkret die CPU 1214C DC/DC/DC ausgewählt. Die Artikelnummer lautet 6ES7214-1AG40-0XB0.

Die final ausgewählte CPU ist noch mit den vom Support erhaltenen theoretischen Werte auf das Kriterium der Auslastung zu überprüfen. Es wird vom schlimmsten Fall mit einem anspruchsvollen Programm und einer voll ausgelasteten Kommunikation ausgegangen. Es wird jedoch auch davon ausgegangen, dass die Regelung der Motoren der Förderbänder nicht in der CPU mit MotionControl abläuft, sondern in den SEW-EURODRIVE Umrichtern. Damit gilt die Formel (1):

$$Last_{prog} + Last_{Kom} = Last_{Ges} \quad (1)$$

$$20\% + 25\% = 45\%$$

Es gilt nun die Bedingung in Formel (2) und der Wert der gesamten Auslastung wird in diese eingesetzt.

$$Last_{Ges} \leq 80\% \quad (2)$$

$$45\% \leq 80\%$$

Es ist zu erkennen, dass die Bedingung eindeutig erfüllt ist. Folglich ist die ausgewählte CPU 1214C DC/DC/DC für diese zu projektierende Anlage geeignet.

3.4. Vergleich zentrale und dezentrale Peripherie

Da der Controller der Steuerung jetzt feststeht, müssen anschließend passende Peripheriemodule ausgewählt werden. Je nach technologischer Aufgabe, Art und Umfang des Produktionssystems treten in der Industrie aber unterschiedliche Systemkonfigurationen für die Automatisierungstechnik auf. Vor allem bei den Peripheriebaugruppen, wie den Eingangs- und Ausgangsmodulen der Steuerung, gilt zu beachten, ob diese zentral oder dezentral angeordnet werden sollen. [vgl. 9; S. 596] [vgl. 13; S. 333]

Zentrale Steuerung

Obwohl sich heutzutage das Prinzip der Dezentralisierung immer mehr zunehmender Beliebtheit erfreut, dominiert die SPS-Konfiguration mit nur einer einzigen zentralen Steuerung in einem Schaltschrank immer noch das Feld der kleinen bis mittleren Maschinen. Eine zentrale Steuerung zeichnet sich durch die folgenden Aspekte aus. Es handelt sich um eine SPS mit einem klassischen modularen Aufbau, der aus der CPU und den Eingangs- und Ausgangsmodulen besteht. Allein die CPU bestimmt in diesem System die Reaktionszeiten und sie werden nicht durch ein serielles Bussystem beeinträchtigt. Es lassen sich durch den Einsatz von Kompaktsteuerungen mit integrierten Eingangs- und Ausgangsmodulen deutlich preisgünstigere Varianten konfigurieren. Hier fehlt jedoch der echtzeitfähige Feldbus. Damit kann keine intelligente Servotechnik eingesetzt werden, es sei denn, es werden selbstständig arbeitende Komponenten verwendet. Bei dieser Aufbauform kommt es zu einem erhöhten Verkabelungsaufwand zu den Feldgeräten. Speziell wird der zentrale Aufbau deswegen eher in geometrisch kleineren Maschinen eingesetzt oder in Anlagen, die sich nicht über größere Weiten erstrecken. Außerdem müssen die sicherheitstechnischen Funktionen über separate Sicherheitsschaltgeräte, wie z.B. ein PNOZ, realisiert werden. Diese Geräte müssen zusätzlich mit der SPS verdrahtet werden. [vgl. 13; S. 333–335]

Dezentrale Steuerung

Heute sind auch dezentrale Automatisierungssysteme, die mit Feldbus arbeiten, fest etabliert. Besonders wenn Antriebstechnik und intelligente Feldgeräte in der Anlage eingebunden werden, kann die Verwendung eines Feldbusses nicht vermieden werden. Die dezentrale Steuerung zeichnet sich durch die folgenden Aspekte aus. Die SPS ist auch modular aufgebaut, jedoch befinden sich nicht alle Komponenten gebündelt an einem Ort wie dem Schaltschrank. Die CPU ist im Schaltschrank eingebaut und ist sowohl mit lokalen Komponenten als auch mit über einen Feldbus gekoppelte Komponenten verbunden. Diese gekoppelten Komponenten befinden sich extern vom Schaltschrank, und sind z.B. an weiter entfernten Anlageteilen angebracht oder es handelt sich um intelligente Komponenten für spezielle Funktionen. Damit eignet sich die dezentrale Anordnung für alle Maschinen- und Anlagengrößen, egal ob groß, klein, weitläufig oder nicht. Bei Verwendung von standardisierten Feldbussen wie PROFINET IO oder PROFIBUS DP können herstellerübergreifend unzählige Komponenten eingebunden werden. Der Verkabelungsaufwand reduziert sich enorm. Es wird außerdem Schaltschrankvolumen eingespart, da die Komponenten, die sich sonst beim zentralen Konzept im Schaltschrank befinden würden, auf den Maschinenkörper oder sogar direkt in den Arbeitsbereich montiert werden können. Intelligente Servotechnik kann auch ohne Probleme über einen echtzeitfähigen Feldbus angeschlossen werden. Auch hier werden zusätzliche Sicherheitsschaltgeräte zur Verwirklichung der Sicherheitsfunktionen eingesetzt. Die Verbindung zur SPS kann aber je nach Modell des Sicherheitsschaltgerätes über eine Feldbuseinbindung erleichtert werden. Bei dieser Anordnung hängen die Reaktionszeiten nicht mehr nur von den technischen Möglichkeiten der CPU ab, sondern werden von der Feldbustechnologie und deren Übertragungsraten bestimmt. Eine weitere Möglichkeit in dieser Anordnung ist die Anbindung von autonomen oder integrierbaren Modulen. Autonome Module sind eine selbstständig arbeitende geschlossene Einheit. Sie werden nur zum Datenaustausch über eine standardisierte Schnittstelle mit der zentralen Steuerung verbunden. Die integrierbaren Module sind fest definierte Einheiten mit einer festen Funktion und Einsatzbereich. Sie sind in die Gesamtanlage eingebunden und werden direkt von der zentralen Steuerung z.B. über einen Feldbus, beeinflusst. Ein Beispiel für integrierbare Module ist die Antriebstechnik, die außerhalb des Schaltschranks angebracht ist und von der CPU gesteuert wird. [vgl. 13; S. 336–342]

3.5. Auswahl des Peripheriekonzepts/-baugruppen

Nach der Beschreibung der verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten für die Steuerung können diese Konzepte nun auf die zu projektierende Anlage bezogen werden. Die mechanischen und elektrischen Bestandteile der gesamten Anlage, die von der SPS gesteuert werden, müssen mit betrachtet werden. Zunächst muss die Antriebstechnik der Förderbänder in die Steuerung mit eingebunden werden. Die ausgewählten Motoren müssen direkt an den Förderbändern angebracht werden. Bei der Entscheidung der Umrichter kann zwischen zentralem und dezentralem Konzept differenziert werden. Insgesamt handelt es sich um acht Förderbänder mit jeweils einem eigenen Antrieb und passendem Umrichter. Mehr zur Auswahl der Komponenten des Antriebskonzepts in Kapitel 4. Außerdem sind an allen Förderbändern Lichtschranken angebracht, um den Durchfluss des Fördergutes zu überwachen und die Förderstrecke an- und abzuschalten. Da sich die Förderstrecke über einen Großteil der Produktionshalle erstreckt, liegen die einzelnen Baugruppen teilweise weit auseinander. Beispielsweise liegt zwischen den Antrieben oder den Lichtschranken, die immer am Ende der einzelnen Förderstreckenabschnitten angeordnet sind, ein Abstand von ca. 10 bis 15 Meter je nach Position in der Anlage. Außerdem wird für die Einbindung der Antriebstechnik in die Steuerung ein Feldbus genutzt. Aufgrund der großen Abstände zwischen den Betriebsmitteln würde es zu einem stark erhöhten Verkabelungsaufwand kommen und die Kosten würden nicht vernachlässigbar ansteigen. Unter Beachtung dieser Aspekte muss sich für ein dezentrales Konzept entschieden werden. Dabei wird aber auf eine zentrale Steuerung im Schaltschrank gesetzt, die bereits ausgewählt wurde. Die Antriebstechnik wird sodann als dezentrales integrierbares Modul eingebunden.

Für weitere Ausführungen zu Peripherie müssen zunächst verwendete Sensorik und Aktorik an der Anlage ausgewählt werden. Unter Aktorik versteht man in der Automatisierungstechnik generell Betriebsmittel, die Energie des SPS-Ausgangssignals oder Energie aus einer externen Spannungsquelle in eine andere Energieform umwandeln oder verstärken. Aktorik wird von der Steuerung beeinflusst. Ein Beispiel dafür ist ein Relais, das die Ausgangssignalspannung nutzt, um ein Magnetfeld zu erzeugen und damit eine Schaltwippe betätigt oder Kontaktpaare öffnet oder schließt. Unter Sensorik versteht man Betriebsmittel, die eine nicht elektrische Größe in eine elektrische Größe umwandeln. Dabei kann zwischen digitalen und analogen Sensoren unterschieden werden. Binäre digitale Sensoren messen eine physikalische Größe und geben entweder ein 1 oder 0 Signal in Form einer 24V Gleichspannung oder ungefähr 0V Gleichspannung aus. Analoge Sensoren stellen physikalische Größen als analoge elektrische Größen, wie Strom oder Spannung dar. Hier gibt es nicht nur zwei Zustände wie

bei digitalen Sensoren, sondern es können alle Werte zwischen einer unteren und einer oberen festgelegten Grenze angenommen werden. Für die Auswahl der Eingangs- und Ausgangs-Peripheriebaugruppen ist wichtig zu wissen, welche Art von Sensor verwendet wird. [vgl. 13; S. 174–175] [vgl. 14; S. 184–186]

In der Anlage werden vier verschiedene Typen von Aktoren verwendet. Es wird ein Schütz verwendet, um die Anlage ein- und auszuschalten. Es wird eine Kombination aus Motor und Umrichter vom Hersteller SEW-EURODIRVE verwendet, um die Förderbänder anzutreiben. Es ist eine Schwenkeinrichtung in Form einer servoelektrischen Miniaturdreheinheit vom Hersteller SCHUNK am Steigförderer angebracht, um auswählen zu können, welcher Presscontainer befüllt werden soll. Als letztes werden LEDs in einer Signalampel angesteuert, um den Anlagenzustand in der Halle klar sichtbar zu machen. Der verwendete Schütz wird jedoch verbindungsprogrammiert verdrahtet und steht somit nicht in Verbindung zur SPS. Aufgrund dessen wird dieser nachfolgend nicht weiter beachtet.

Sensorik wird bei diesem Projekt in Form von Drucktastern bzw. Leuchtdrucktastern auch für den Anlagenstart und -stopp verwendet. Außerdem gilt der rastende Not-Halt-Taster, der im Kapitel Sicherheitskonzept ausgewählt wurde, als Sensorik. Diese Bedienelemente werden jedoch auch alle verbindungsprogrammiert verdrahtet und agieren nicht direkt mit der Steuerung. Die wichtigste Sensorik der Anlage sind die verwendeten Lichtschranken.

An jedem Förderband befindet sich eine Lichtschranke, die den Start des nächsten Bandes auslöst, und eine Lichtschranke, die quer über das gesamte Band ausgerichtet ist, um den Fall eines Papierstaus zu überwachen. Die beiden Förderbänder direkt an den Produktionsmaschinen haben jeweils eine zusätzliche Lichtschranke, um den Start der Funktion Förderstrecke an sich einzuleiten. Ausnahme ist der Steigförderer am Ende der Förderstrecke. Dieser wird nicht mit Lichtschranken ausgestattet. Insgesamt werden 16 Lichtschranken verbaut.

Dieser Sensor wurde bisher nur generell als Lichtschranke benannt und muss noch spezifiziert werden. Allgemein kann für die Überwachung des Fördergutes auf der Förderstrecke ein Näherungsschalter verwendet werden. Näherungsschalter sind binäre Sensoren, die ein 1 oder 0 Ausgangssignal liefern. Da sie ohne mechanische bewegliche Teile arbeiten, sind sie verschleißfrei und perfekt für den industriellen Einsatz geeignet. Es gibt verschiedene Arten von Näherungsschaltern. Diese Arten sind der optische Näherungsschalter, der induktive Näherungsschalter und der kapazitive Näherungsschalter. Aufgrund des Materials des Förderguts in diesem Projekt, nämlich Papier, kann der induktive Näherungsschalter ausgeschlossen werden, da dieser ausschließlich alle Metallarten erfasst. Da über die gesamte Länge der Förderbänder geprüft werden soll, fällt auch der kapazitive Näherungsschalter weg. Bei diesem Typ

können nicht so große Schaltabstände realisiert werden. Es muss also ein optischer Näherungsschalter verwendet werden. Bei optischen Näherungsschaltern kann zwischen Lichttastern, Reflexionslichtschranken und Einweglichtschranken differenziert werden. Ein Lichttaster besteht aus einem Sender- und Empfängerelement, die beide im selben Gehäuse verbaut sind. Vom Sender wird eine gepulste Infrarotstrahlung ausgesendet. Falls ein Gegenstand den Lichttaster passiert, wird die Infrarotstrahlung reflektiert und vom Empfänger aufgenommen. Wenn der Empfänger die Strahlung wahrnimmt, ändert sich der Schaltzustand des Lichttasters, z.B. zu einem 1-Signal. Die Erfassungsreichweite ist jedoch stark von der Farbe und Oberfläche des Materials und vom Reflexionswinkel des Gegenstands abhängig. Da nicht vorhergesagt werden kann, wie die zu transportierenden Papierreste auf die Förderbänder fallen und somit keine gute Reichweite vom Lichttaster erwartet werden kann, wird dieser ausgeschlossen. Eine Reflexionslichtschranke besteht aus einem Sender, einem Reflektor und einem Empfänger. Der Reflektor ist kein elektronisches Bauteil. Sender und Empfänger sind im selben Gehäuse. Ein Lichtstrahl wird vom Sender ausgesendet, am Reflektor reflektiert und vom Empfänger aufgefangen. Erfasst wird eine Unterbrechung des Lichtstrahls. Bei Einweglichtschranken wird ein räumlich getrennter Sender und Empfänger benötigt, zwischen denen ein Lichtstrahl versendet wird. Auch hier wird die Unterbrechung des Lichtstrahls detektiert. Um die Anzahl der anzuschließenden Geräte zu minimieren, wird final die Reflexionslichtschranke ausgewählt. [vgl. 14; S. 189–190]

Bei Näherungsschaltern wird zwischen Schließer- und Öffner-Funktion unterschieden. Je nachdem, ob durch das Schaltergebnis der Stromkreis über den Ausgang des Sensors geschlossen oder geöffnet wird, spricht man von Normally Open (NO) oder Normally Closed (NC). [vgl. 14; S. 190]

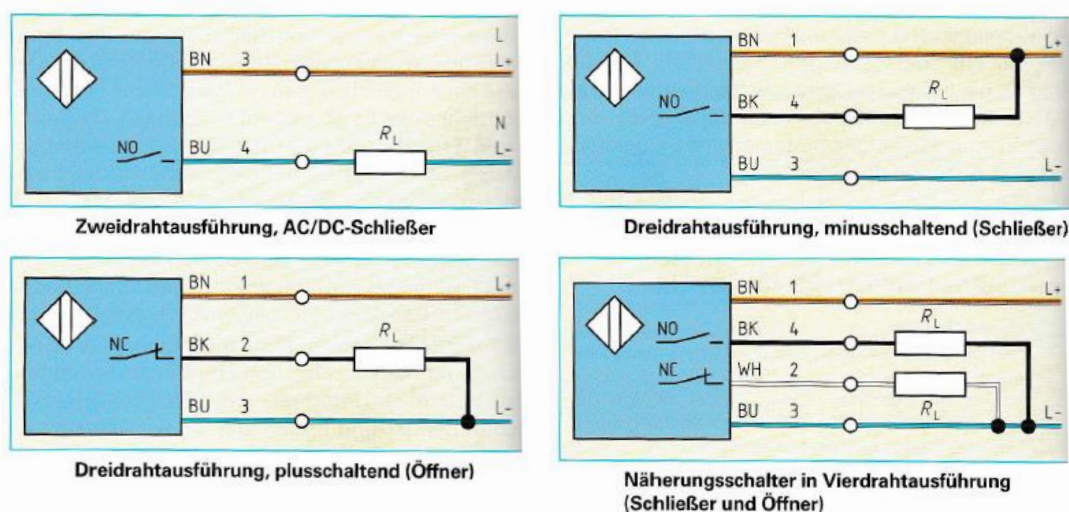


Abbildung 9: Verdrahtungsausführungen Sensoren [14; S. 190]

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, gibt es die Sensoren in Ausführungen mit unterschiedlicher Anzahl von Anschlüssen. Für die auszuwählende Reflexionslichtschranke sind die Dreidrahtausführung und die Vierdrahtausführung von Relevanz, da sie mit Spannung versorgt werden muss und einen Ausgang zur SPS braucht. Ab der Dreidrahtausführung wird abhängig vom verwendeten Transistortyp in der Lichtschranke zwischen PNP- und NPN- Ausführung unterschieden. Der PNP-Sensor verwirklicht eine Schließerausgangsfunktion (NO) und schaltet ein positives 24V Signal durch die Betätigung des Sensors durch. Ein NPN-Sensor verwirklicht dagegen eine Öffnerausgangsfunktion (NC) und schaltet bei Betätigung ein 0V Signal auf den Eingang der SPS durch. Im europäischen Raum werden standardmäßig immer PNP-Sensoren verwendet. Im asiatischen Raum, wie z.B. Japan, werden dagegen NPN-Sensoren verwendet. Auch die SIEMENS Steuerungen und damit auch die Peripheriebaugruppen der S7-1200 sind auf den Standard angepasst und benötigen damit ein 24V Schaltsignal an deren Eingängen. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnis wird die weitere Auswahl der Reflexionslichtschranke vorgenommen. [vgl. 14; S. 190]

Wie Kapitel 2.3. zu entnehmen ist, sind die einzelnen Förderstreckenabschnitte unterschiedlich lang. Außerdem werden die Lichtschranken wie auch bereits beschrieben für unterschiedliche Aufgaben an verschiedenen Orten angebracht. Es werden also Lichtschranken mit verschiedenem Schaltabstand benötigt. Um die Anlage einheitlicher zu gestalten und die Ersatzteilliste für den Kunden nicht unnötig zu vergrößern, wird nur eine Reflexionslichtschranke mit einem maximal Schaltabstand ausgewählt, der für alle Einsatzorte geeignet ist. Dafür wird der maximale Schaltabstand für den schlimmsten Fall berechnet. Dieser schlimmste Fall meint den größtmöglichen Abstand. Der Fall tritt auf dem längsten Förderbandabschnitt für die quer angebrachte Lichtschranke auf. Die Berechnung erfolgt dementsprechend einfach über den Satz des Pythagoras in Formel (3). Der längste Förderbandabschnitt ist 15 Meter lang. Und jedes Förderband wird von der mechanischen Abteilung mit 600 Millimetern angegeben. Folglich wird berechnet:

$$\begin{aligned}\sqrt{l^2 + b^2} &= d \\ \sqrt{15^2 + 0,6^2} &\approx 15,012\end{aligned}\tag{3}$$

Die berechnete Diagonale über den Förderbandabschnitt entspricht also grob 15 Metern. Damit die Lichtschranke garantiert auf diese Entfernung funktioniert, wird das Modell mit dem nächstgrößeren maximalen Schaltabstand ausgewählt. Im Unternehmen SMA wird für diese Art von Bauteilen der Hersteller SICK bevorzugt. Deshalb wird er auch bei dieser Anlage eingebaut. Von diesem Hersteller ist der nächstgrößere maximale Schaltabstand 20 Meter. Dementsprechend wird die in Tabelle 6 aufgeführte Reflexionslichtschranke ausgewählt. [15]

Tabelle 6: Betriebsmittel Lichtschranke [15]

Betriebsmittel	Artikelbezeichnung	Artikelnummer	Anzahl
Reflexionslichtschranke	GLD20G-QK112170ZZZ	1120842	16

Um den dezentralen Aufbau zu verwirklichen und Verdrahtungsaufwand zu sparen, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder müssen die Lichtschranken in Klemmkästen, die dezentral an den Förderbändern angebracht worden sind, angeschlossen werden. Von dort wird ein einzelnes Kabel zum Schaltschrank mit allen nötigen Adern für alle Lichtschranken geführt. Oder die Lichtschranken werden an den dezentralen integrierbaren Modulen der Antriebstechnik angeschlossen. Die Auswahl fällt auf die zweite Möglichkeit. Damit muss nur zwischen dem Umrichter und der SPS ein PROFINET-Kabel verlegt werden und die Lichtschranke muss mit einem einzelnen Kabel an den Umrichter angeschlossen werden. Der Anschluss erfolgt wie in Abbildung 10. Die Lichtschranken werden mit der Betriebsmittelkennzeichnung -BG versehen und der Umrichter mit -TB. Die Lichtschranke ist eine Vierdrahtausführung, wird aber nur mit drei Drähten angeschlossen. Es wird die PNP-Ausführung mit Schließfunktion (NO) verwendet, indem Anschluss 4 an der Lichtschranke angeschlossen wird. Anschluss 3 wird frei gelassen. Über Anschluss 1 und 3 wird die Spannungsversorgung vom 24V und 0V Potenzial des Umrichters abgegriffen.

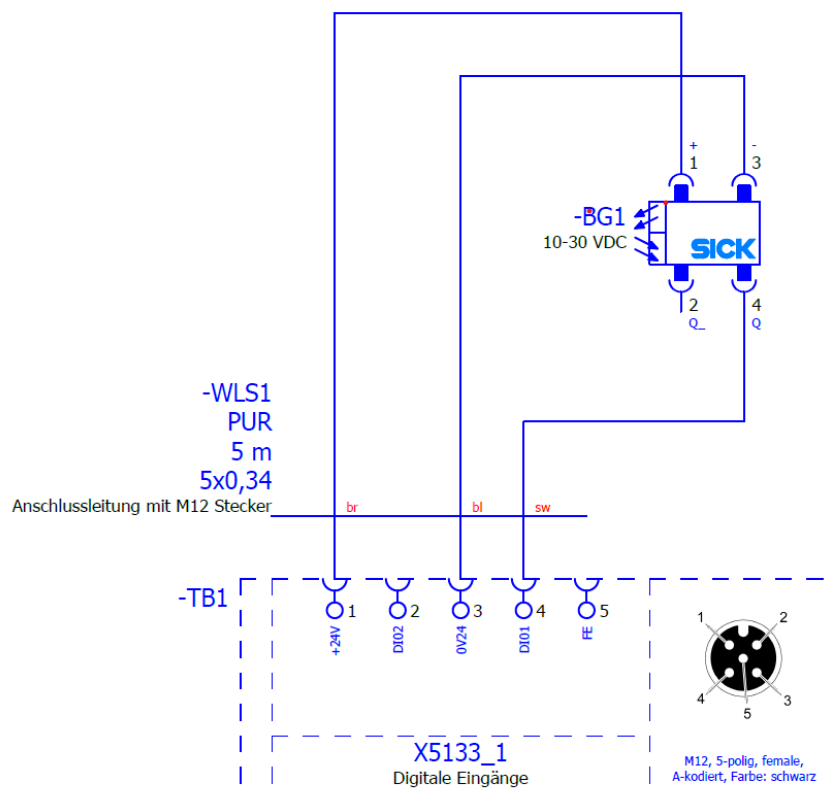


Abbildung 10: Anschlussbild Reflexionslichtschranke [10]

Die zu verwendenden Aderfarben sind nach DIN IEC 60757 festgelegt. Anschluss 1 soll braun, Anschluss 2 weiß, Anschluss 3 blau und Anschluss 4 schwarz sein. Demnach ist das passende Kabel ausgewählt und die Aderfarben entsprechend angeschlossen wurden, wie in Abbildung 10 zu sehen. [vgl. 14; S. 190]

Damit sind die Betrachtungen zur Sensorik und Aktorik abgeschlossen. Nun können die Peripheriebaugruppen an der CPU ausgewählt werden. Für die Auswahl der digitalen Eingangs- und Ausgangsbaugruppen muss zusammengefasst werden wie viel Eingangs- und Ausgangssignale benötigt werden. Da die Lichtschranken am Umrichter angeschlossen werden, fallen viele Eingänge weg, die sonst benötigt würden. Außerdem wird die Antriebstechnik über PROFINET verbunden und so fallen auch hier viele Ausgänge weg. In den Schaltungsunterlagen in EPLAN, die in Anlage2 zu sehen sind, können alle zur SPS verbundenen Eingänge und Ausgänge nachvollzogen werden. Wie man dem EPLAN entnehmen kann, werden nur jeweils drei Eingänge und drei Ausgänge direkt von der SPS verdrahtet. Vom Hersteller SIEMENS werden unterschiedliche Eingangs- und Ausgangsperipheriemodule angeboten. Für diese Anwendung reichen die angebotenen Standardbaugruppen, da keine Sicherheitsmodule einer fehlersicheren SPS benötigt werden. Auch muss in dieser Anlage kein analoges Signal verarbeitet werden. Die Auswahl beschränkt sich daher lediglich auf die Digitalbaugruppen. Die Eingabebaugruppen wandeln die externen Signale mit 24V Gleichspannung in Signale, die dem internen Pegel der SPS entsprechen, damit die Signale verarbeitet werden können. Die Ausgabebaugruppen funktionieren umgekehrt und wandeln den internen Signalpegel in eine 24V Gleichspannung um. Die Ausgaben können auch mit Relais ausgeführt sein. Alle Signalmodule gibt es in einer ein oder zwei Bytes Variante. Entsprechend einem Byte hat diese Variante 8 Signalanschlüsse und die zwei Byte Variante hat dann 16 Signalanschlüsse. Wie bereits beschrieben werden aufgrund des dezentralen Konzepts nur jeweils drei Signalanschlüsse benötigt. Das bedeutet, die Signalmodule mit einem Byte und 8 Anschlüssen würden ausreichen. Da aber genug Reserve an Ein- und Ausgänge projektiert werden sollte und auf eine Erweiterung der Anlage in Zukunft Rücksicht genommen wird, fällt die Entscheidung auf die Ausführung mit den 16 Signalanschlüssen. Außerdem soll immer eine 24V Gleichspannung ausgegeben werden und damit wird die DC-Variante der Ausgangsbaugruppe benötigt. [vgl. 9; S. 69]

Es wird ein letztes weiteres Peripheriemodul benötigt. Grund dafür ist die am Steigförderer verbaute Schwenkeinrichtung. Diese besitzt keine Schnittstelle für PROFINET IO. Die servoelektrische Miniaturdreheinheit verfügt jedoch über eine PROFIBUS DP Schnittstelle und die ausgewählte SPS hat nur eine PROFINET IO Schnittstelle. Es muss nun eine Kommunikationsbaugruppe ergänzt werden. Diese werden auch Communication Modules (CM) genannt. Sie unterstützen die CPU-Baugruppe wie in diesem Fall bei Kommunikationsaufgaben, indem sie eine physikalische Verbindung zu dem einzubindenden Kommunikationspartner herstellen. Im vorhandenen Fall ist das die Schwenkeinrichtung. Über die Kommunikationsbaugruppe wird der Verbindungsaufbau und der Datentransport gesteuert. Außerdem stellen sie die erforderlichen Kommunikationsdienste dem Betriebssystem der CPU-Baugruppe und dem Anwenderprogramm zur Verfügung. Die Kommunikationsbaugruppe wird nicht wie die anderen Peripheriebaugruppen rechts an die CPU gesteckt, sondern links von ihr. Für die Verbindung über PROFIBUS DP stehen zwei Baugruppen zur Auswahl. Zum einen die Kommunikationsbaugruppe CM 1243-5, die die S7-1200 Station mit dem PROFIBUS DP als DPV1-Master verbindet. Und zum anderen die Kommunikationsbaugruppe CM 1242-5, mit der die S7-1200 Station als DPV1-Slave in den PROFIBUS DP eingebunden wird. Hier ist gewünscht, dass die S7-1200 Station als Master eingebunden wird, um den anderen Teilnehmer, die Schwenkeinrichtung, welche als Slave eingebunden wird, steuern zu können. Abschließend werden die ausgewählten Peripheriemodule in Tabelle 7 dargestellt. Die Betrachtung zum Steuerungskonzept ist beendet. [vgl. 9; S. 73–74]

Tabelle 7: Betriebsmittel Peripheriebaugruppen

BMK	Betriebsmittel	Artikelnummer
-K2	SIMATIC S7-1200, Digitaleingabe SM 1221, 16DI, DC 24V	6ES7221-1BH32-0XB0
-K3	SIMATIC S7-1200, Digitalausgabe SM 1222, 16DO, DC 24V	6ES7222-1BH32-0XB0
-K7	Kommunikationsmodul CM 1243-5	6GK7243-5DX30-0XE0

4. Antriebskonzept

4.1. Allgemeiner Aufbau moderner elektrischer Antriebe

Elektrische Antriebe werden in modernen Industrieanlagen in großen Stückzahlen eingesetzt. Sie dienen als zentrale Komponente in vielen industriellen Anwendungen, indem sie als Verbindung zwischen dem elektrischen Netz, der Energiequelle, und der Arbeitsmaschine, dem Energieverbraucher, wirken. Der elektrische Antrieb übernimmt dabei die Funktion die mechanische Energie, die der Arbeitsmaschine zur Verfügung gestellt wird, entsprechend der gestellten Anforderung des laufenden Prozesses zu steuern. Die Abbildung 11 stellt den prinzipiellen Aufbau eines modernen elektrischen Antriebs dar. An ihr kann man gut erkennen, dass ein elektrischer Antrieb aus vielen einzelnen Komponenten besteht, die im Zusammenspiel seine Funktion verwirklichen. Im Folgenden werden die wichtigsten Komponenten, die für dieses Projekt von Relevanz sind, kurz genauer erklärt. Dazu zählen unter anderem der elektrische Motor, der Motorgeber, die Bremse, das Getriebe und das Stellgerät. [vgl. 16; S. 12–18]

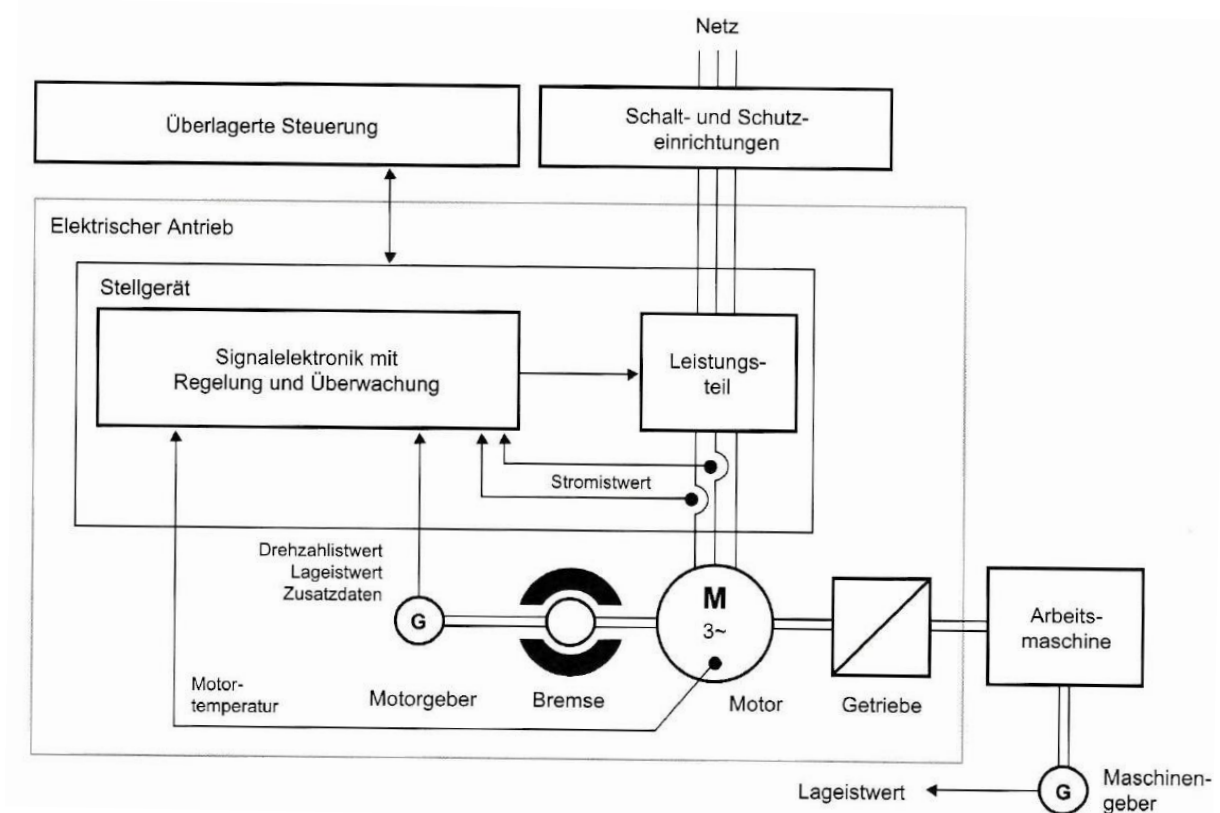


Abbildung 11: Aufbau moderner elektrischer Antriebe [16; S. 17]

Elektromotor

Der Elektromotor bildet das Zentrum eines jeden elektrischen Antriebs. Seine Aufgabe ist die Energieumwandlung. Er wandelt die zugeführte elektrische Energie in mechanische Energie um. Im generatorischen Betrieb funktioniert diese genau andersherum und die mechanische Energie wird in elektrische Energie umgewandelt. [vgl. 16; S. 17]

Motorgeber

Je nach Bedarf ist der elektrische Antrieb mit einem Motorgeber ausgestattet. Dieser misst physikalische Größen wie die Drehzahl, die Geschwindigkeit und die Lage des Motors. Anschließend gibt er diese umgewandelt als elektronische Signale zum Stellgerät weiter. [vgl. 16; S. 17]

Bremse

Die Bremse kommt zum Einsatz, wenn das Stellgerät Unterstützung beim Abbremsen des Motors benötigt. Ein weiterer Einsatzfall ist, wenn eine Bewegung des Motors bei abgeschaltetem Stellgerät verhindert werden muss. Die Bremse fixiert dann das mechanische System solange der Antrieb inaktiv ist. Für dieses Projekt kann für den Steigförderer am Ende der Förderstrecke die Überlegung für die Notwendigkeit einer Bremse durchgeführt werden. [vgl. 16; S. 17]

Getriebe

Ein Getriebe kann auch als mechanischer Wandler beschrieben werden. Es wandelt mechanische Größen wie die Drehzahl und das Drehmoment, die vom Motor abgegeben werden, so um, dass sie die Anforderungen der Arbeitsmaschine erfüllen. Eine weitere Aufgabe des Getriebes ist die Umwandlung einer rotatorischen Bewegung in eine lineare Bewegung. Die in dieser Anlage betriebenen Förderbänder führen eine translatorische Bewegung, also eine lineare Bewegung, aus. Der Motor führt jedoch eine Rotation aus. Das bedeutet, es wird ein Getriebe benötigt, um im Antrieb eine Umsetzung von rotatorischer zu translatorischer Bewegung stattfinden zu lassen. [vgl. 16; S. 17–18]

Stellgerät

Wie man Abbildung 11 entnehmen kann, setzt sich das Stellgerät aus zwei Teilen zusammen. Es gibt den Leistungsteil und die Signalelektronik. Der Leistungsteil übernimmt die Steuerung der dem Motor zugeführten elektrischen Größen. Er wird in modernen Antrieben mit Leistungshalbleitern aufgebaut. Diese Halbleiter funktionieren wie elektronische Schalter, die die elektrische Energiezufuhr zum Motor an- und abschalten. Damit kann die vom Motor abgegebene mechanische Energie beeinflusst werden. Außerdem werden hier die elektrischen Größen, wie Strom und Spannung, gemessen und an die Signalelektronik weitergeleitet. Diese Signalelektronik ist der zweite Teil des Stellgerätes. Das ist der intelligente Part des elektrischen Antriebs und steuert den Leistungsteil. Dafür verfügt sie über verschiedene Steuer- und Regelfunktionen. Die für die Regelung benötigten Istwerte der elektrischen Größen erhält sie vom Leistungsteil und die Istwerte der mechanischen Größen vom Motorgeber. Die Sollwerte werden von der übergeordneten Steuerung, also der CPU, zur Verfügung gestellt. An die CPU gibt sie auch die erhaltenen Istwerte weiter. Die Signalelektronik steuert also den Leistungsteil und dieser sorgt dann über eine gewisse Regelzeit dafür, dass sich die Istwerte den Sollwerten angleichen. Je nach Art des eingesetzten Elektromotors kann es sich bei einem Stellgerät z.B. um einen Stromrichter oder einen Frequenzumrichter handeln. [vgl. 16; S. 18]

4.2. Variantenvergleich Elektromotoren/-antriebe

Zunächst muss für die Auswahl der passenden Antriebsart die energieübertragenden Schnittstellen betrachtet werden. Hauptsächlich wird sich auf die Anforderungen an die mechanische Schnittstelle zur Arbeitsmaschine konzentriert. Diese Anforderungen lassen sich mit wenigen Kriterien beschreiben. Mit dem sich daraus ergebenden Anforderungsprofil kann ein optimales Antriebskonzept vorausgewählt werden. Die Vorauswahl mit diesen Kriterien und den speziellen Anforderungen für dieses Projekt wird in Tabelle 8 dargestellt. [vgl. 16; S. 349]

Tabelle 8: mechanische Kriterien zur Auswahl der optimalen Antriebsart [vgl. 16; S. 349-351]

Kriterium	Anforderung	Mögliche Lösungen
Bewegungsart	Linear	• Rotationsmotor mit Getriebe
Zeitlicher Verlauf der Bewegungsgrößen	Veränderlich	• Gleichstrommotor mit Stromrichter oder Pulssteller • Asynchronmotor mit Frequenzumrichter • Synchronmotor mit Frequenzumrichter
Mittelwert des Drehmoments bzw. der Leistung	Mittel	• Gleichstrommotor (mit Bürsten oder bürstenlos) • Synchronmotor • Asynchronmotor
Spitzenwert des Drehmoments	Geringe temporäre Überlast	• Standardmotor
Drehzahl	Klein	• Getriebemotor
Position/Lage	Relevant	• Motor mit Motorgeber
Erforderliche Genauigkeit	Hoch	• Geregelter Antrieb
Einbauraum	Nicht relevant	• Standardmotor

Aus der Tabelle gehen bevorzugte Lösungen des Antriebskonzepts hervor und es kann eine Vorauswahl getroffen werden. Für die Förderbänder werden also geregelte Standard-Getriebemotoren benötigt. Die Ausführung des Motors kann sich zwischen Gleichstrom-, Asynchron- oder Synchronmotor unterscheiden.

In diesem Kapitel werden der Aufbau und die Funktionsweise der drei vorausgewählten Antriebskonzepte mit den Motoren kurz erläutert. Anschließend werden ihre Vor- und Nachteile verglichen und aufgrund dessen wird eine finales Antriebskonzept ausgewählt.

Gleichstrommotor

Ein Gleichstrommotor in der Bauform mit Erregerwicklung wie in Abbildung 12 dargestellt besteht aus einem Läufer und einem Ständer. Der Läufer wird aufgrund der typischen Form in den ersten Gleichstrommaschinen auch Anker genannt. Der Ständer ist der festmontierte Teil des Gleichstrommotors. In ihm befinden sich die Erregerwicklungen und die Kompensationswicklungen, welche zur Erzeugung des Magnetfeldes bestromt werden. Der Läufer besteht aus geblechtem Eisen. In diesem Eisen befinden sich Vertiefungen, die Nuten genannt werden und durch die die Ankerwicklungen verlaufen. Für kleinere Leistungen gibt es noch die Bauform der permanenterregten Gleichstrommotoren. Bei dieser Bauform werden die Erregerwicklungen durch Permanentmagnete ersetzt. [vgl. 16; S. 42–43]

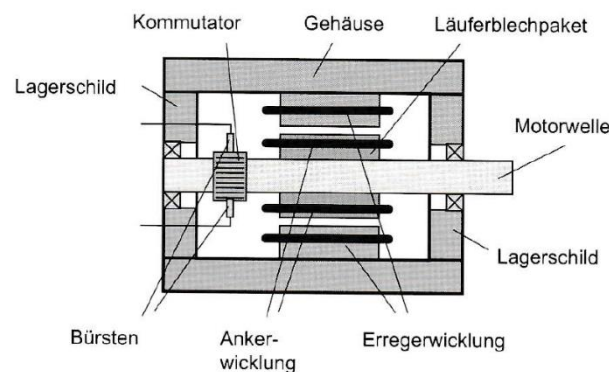


Abbildung 12: Aufbau Gleichstrommotor [16; S. 42]

Der Gleichstrommotor nutzt die Lorentzkraft, um eine Bewegung zu erzeugen. Dafür muss sich ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld befinden. Diese Leiter sind beim Gleichstrommotor mehrere Ankerwicklungen. Das Magnetfeld wird je nach oben beschriebener Bauform entweder von den Erregerwicklungen oder von den Permanentmagneten erzeugt. Die jeweiligen stromdurchflossenen Ankerwicklungen erfahren jetzt die Lorentzkraft, wenn sie sich im Magnetfeld bewegen. Damit sich die wirkenden Lorentzkräfte nicht gegenseitig aufheben und die Drehbewegung wieder

anhält, muss die Richtung des Stromflusses in den Leitern geändert werden. Diese Funktion übernimmt der Kommutator. [vgl. 16; S. 37–39]

Bürstenloser Gleichstrommotor

Beim Gleichstrommotor mit mechanischer Kommutierung treten einige Nachteile auf. Der Kommutator unterliegt einem hohen Verschleiß, das bedeutet die Motoren sind sehr wartungsintensiv. Der Kommutator hat an den Kontaktflächen eine hohe Reibung und damit hohe Wärmeverluste bei hohen Drehzahlen. Das begrenzt die maximale Drehzahl natürlich. Außerdem entsteht eine Funkenbildung an den Kontaktflächen des Kommutators, wodurch andere elektrische Geräte oder das Leitungsnetz gestört werden können. Deshalb wird bevorzugt ein bürstenloser Gleichstrommotor, also ohne mechanischen Kommutator, eingesetzt. [vgl. 17; S. 86–87]

Beim bürstenlosen Gleichstrommotor wird die Aufgabenverteilung der Bauelemente umgedreht wie in Abbildung 13 zu sehen ist. Der rotierende Teil in der Mitte des Motors, der Läufer, ist ein Permanentmagnet. Und der feste äußere Teil der Ständer enthält die Wicklungen. Die Wicklungsstränge werden üblicherweise dreiphasig ausgeführt. Wie in der Abbildung zu erkennen, werden die Wicklungsstränge U, V und W mechanisch um 120° versetzt angeordnet. Da hier die Kommutierung elektronisch und nicht mehr mechanisch mit Bürsten erfolgt, wird diese Variante praktisch wartungsfrei. [vgl. 16; S. 150–151] [vgl. 17; S. 86–88]

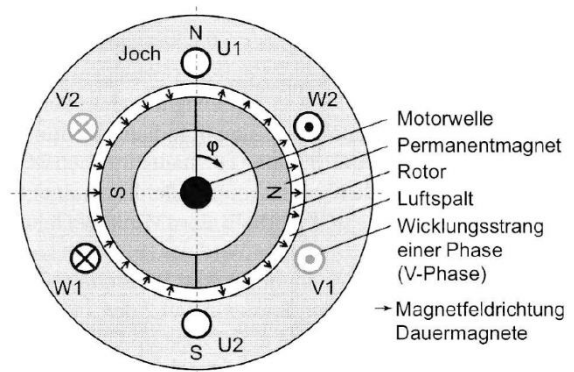


Abbildung 13: Aufbau bürstenloser Gleichstrommotor [17; S. 87]

Die Funktionsweise des bürstenlosen Gleichstrommotors ist der des permanenterregten Gleichstrommotors sehr ähnlich. Zuerst werden die Wicklungen im Ständer mit Strom durchflossen. Aufgrund dessen bildet sich im Ständer ein Magnetfeld aus, welches auch die Permanentmagnete des Läufers durchsetzt. Je nachdem wie der Läufer gerade ausgerichtet ist, wirkt dadurch ein Drehmoment auf ihn. Die Drehbewegung wird jedoch nur so lange ausgeführt, bis sich der Läufer sich entsprechend dem Magnetfeld, mit dem er durchsetzt wird, ausgerichtet hat. Nun würde normalerweise die mechanische Kommutierung ins Spiel kommen. Bei dieser Bauform wird jedoch der Stromfluss in den Ständerwicklungen so umgekehrt, dass sich das Magnetfeld des Ständers weiterdreht. Damit wirkt auf den Läufer weiterhin ein Drehmoment und die Drehbewegung kann fortgesetzt werden. Diese Änderung des Stromflusses im Ständer ist die elektrische Kommutierung. [vgl. 16; S. 150–151] [vgl. 17; S. 86–88]

Bürstenloser Gleichstromantrieb/ Stromrichterantrieb

Damit die Drehzahl des Gleichstrommotors variiert werden kann, muss wie bereits erwähnt als fester Bestandteil eines Antriebes, zwischen dem Gleichstrommotor und dem Netz ein Stellgerät geschaltet sein. Die Einstellung der Drehzahl erfolgt, indem das Stellgerät die Ankerspannung des Gleichstrommotors erhöht oder senkt. Ist das speisende Netz ein Gleichstromnetz, so kann ein Pulssteller als Stellgerät verwendet werden. Bei der zu projektierenden Anlage ist das nicht der Fall. Hier kann die Wechselspannung des Netzes direkt in eine Gleichspannung mit gewünschter Amplitude umgewandelt werden. Dafür wird als Stellgerät ein Stromrichter verwendet. Stromrichterantriebe werden heute noch in vielen Anlagen verwendet, besonders wenn große Leistung benötigt wird. Für große Leistungen bieten sie Kosten- und Platzvorteile gegenüber Drehstromantrieben. Diese entfallen jedoch im kleineren Leistungsbe-
reich. Bei Stromrichterantrieben kann die Motordrehzahl mit Hilfe der allgemein vorhandenen Drehzahlregelung unabhängig von der Belastung konstant gehalten werden. Die erforderlichen Regelalgorithmen sind auch im Vergleich leicht zu realisieren. In Abbildung 14 ist der allgemeine Aufbau eines Stromrichterantriebs dargestellt. Der Stromrichter wird aus mehreren steuerbaren Gleichrichtern aufgebaut und diese sind wiederum aus Thyristorbrücken aufgebaut. [vgl. 16; S. 52–53]

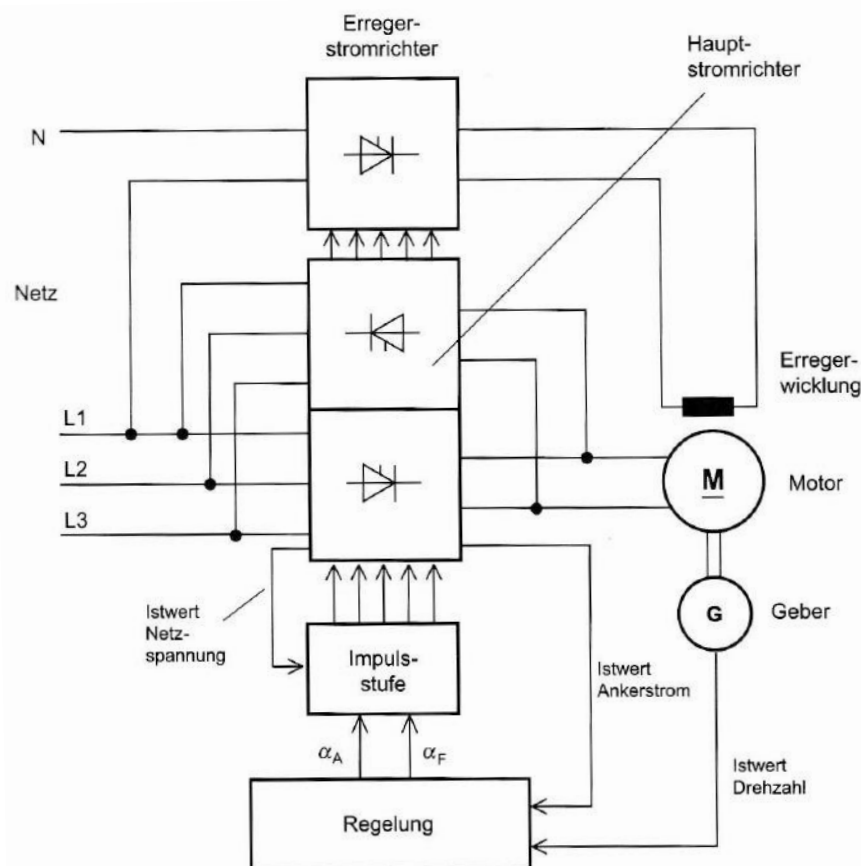


Abbildung 14: Stromrichterantrieb [16; S. 53]

Asynchronmotor

Asynchronmotoren gibt es in verschiedenen Ausführungen. Sie unterscheiden sich in der Bauform ihres Rotors. Diese Ausführungsvarianten sind der Kurzschlussläufer und der Schleifringläufer. Da der Kurzschlussläufer keine mechanischen Kontaktstellen wie der Schleifringläufer benötigt und damit wartungsfrei ist, ist er die üblicherweise eingesetzte Bauform. Aus diesem Grund wird im Folgenden nur der Kurzschlussläufer beschrieben. [vgl. 17; S. 137–138]

In Abbildung 15 wird der Aufbau eines Kurzschlussläufermotors dargestellt. Der Ständer enthält hier wie beim bürstenlosen Gleichstrommotor drei Wicklungen, die 120° mechanisch gegeneinander versetzt angeordnet sind. Der Kurzschlussläufermotor wird auch Käfigläufer genannt. Dieser Name kommt vom Aufbau des rotierenden Läufers. Der Läufer besteht aus einzelnen Stäben, die in Läuferfalten eingebracht sind. An beiden Enden sind die Stäbe mit sogenannten Kurzschlussringen miteinander verbunden. Diese Anordnung sieht aus wie ein Käfig, siehe die untere Abbildung, und daher kommt der Name Käfigläufermotor. Dieser Käfig bildet also ein System aus kurzgeschlossenen Leitern. Innerhalb des Käfigs ist außerdem ein Blechpaket verbaut. Der Käfig besteht meist aus den Materialien Aluminium oder Kupfer. Aufgrund der besseren elektrischen Leitfähigkeit von Kupfer haben Motoren, in denen es verwendet wird, eine bessere Energieeffizienz. Jedoch ist Aluminium wesentlich günstiger in der Anschaffung und damit wird auch der Preis des Motors gesenkt. „Kupfermotoren“ können jedoch meist die Mehrkosten in der Anschaffung durch ihren niedrigeren Energieverbrauch kompensieren. Allgemein sind damit Asynchronmotoren sehr kostengünstig. [vgl. 16; S. 66–67] [vgl. 17; S. 138–139]

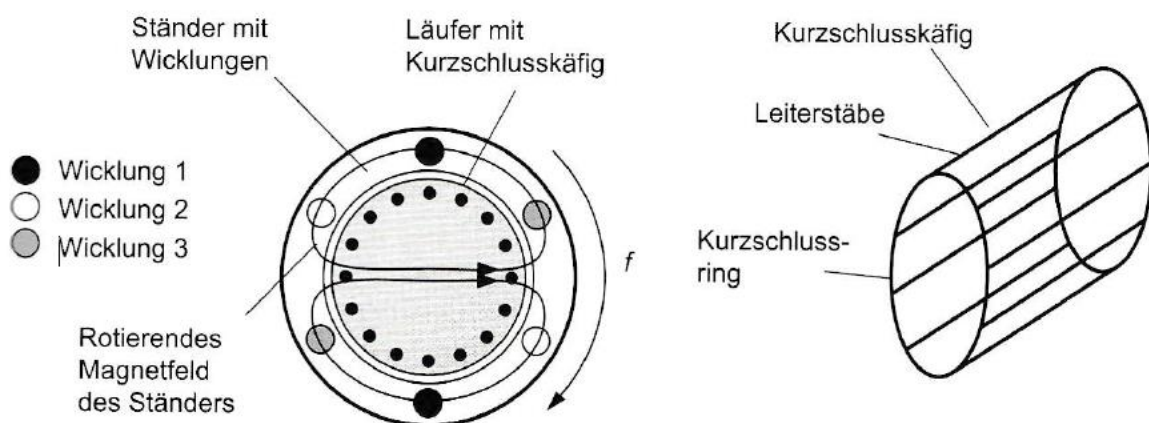


Abbildung 15: Aufbau Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer [16; S. 67]

An die Ständerwicklungen muss ein sinusförmiger elektrischer Strom angelegt werden. Zwischen diesem Strömen muss es sich um 120° phasenverschobene Drehströme handeln. Dann entsteht ein rotierendes Magnetfeld, was den Käfigläufer durchsetzt. In

den Leiterstäben des Läufers wird dadurch eine Spannung induziert. Deshalb wird der Asynchronmotor auch Induktionsmotor genannt. Da die Leiterstäbe über die Kurzschlussringe kurzgeschlossen sind, entstehen in ihnen jetzt umlaufende Ströme. Durch das rotierende Magnetfeld wirken auf die stromdurchflossenen Leiterstäbe Tangentialkräfte. Alle diese Kräfte überlagern sich und ergeben ein Drehmoment, welches eine Drehbewegung des Läufers auslösen. [vgl. 16; S. 67] [17; S. 139–140]

Wenn die Drehzahl des Läufers der Synchrondrehzahl entsprechen würde, dann würde keine Spannung mehr induziert werden. Damit würde kein Strom mehr fließen und auch kein Motordrehmoment mehr erzeugt werden. Deshalb darf der Läufer dem Ständermagnetfeld nicht synchron folgen, sondern mit einer geringeren Drehzahl als die Synchrondrehzahl. Die Synchrondrehzahl kann vom Läufer des Asynchronmotors nicht erreicht werden, da dieser mindestens mit dem eigenen Reibmoment belastet wird. Der Läufer bewegt sich also „asynchron“ zum Ständermagnetfeld. Der relative Unterschied zwischen der Drehzahl des Ständermagnetfeldes und der des Läufers wird Schlupf genannt. Der Schlupf berechnet sich nach Formel (4):

$$s = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{n_s - n_{Motor}}{n_s} \quad (4)$$

Die jeweilige Synchrondrehzahl n_s eines Asynchronmotors hängt von der Frequenz f der speisenden Spannung und der Polpaarzahl p des Motors ab. Die Synchrondrehzahl berechnet sich nach Formel (5):

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (5)$$

Nach der Formel (5) ergibt sich, dass mit steigender Polpaarzahl die Synchrondrehzahl sinkt. Üblicherweise werden Asynchronmotoren mit ein bis vier Polpaaren verwendet. [vgl. 16; S. 67–69] [vgl. 17; S. 139–140]

Asynchronantrieb

Die Drehzahl eines Asynchronantriebs kann mit zwei unterschiedlich aufgebauten Stellgeräten geregelt werden. Diese Stellgerätvarianten sind eine Schützsteuerung oder ein Frequenzumrichter. Bei der Schützsteuerung werden, wie der Name vermuten lässt, Schütze vor den Motor geschaltet. Mit diesen Schützen lässt sich die Richtung des Drehfeldes oder die Anzahl der wirksamen Pole im Asynchronmotor umschalten. Damit kann aber nur zwischen 2 oder mehr Festdrehzahlen umgeschaltet werden. Für die neue Anlage soll jedoch stufenlos die Drehzahl eingestellt werden können. Damit kommt nur noch ein Antrieb mit Frequenzumrichter in Frage. Dieses Antriebskonzept wird im Folgenden kurz erklärt. [vgl. 16; S. 87]

Der Frequenzumrichter besteht hauptsächlich aus drei Komponenten:

- Gleichrichter
- Gleichspannungszwischenkreis
- Wechselrichter

Diese Komponenten leiten den Energiefluss vom Netz zum Asynchronmotor. Der allgemeine Aufbau des Asynchronantriebs mit Frequenzumrichter wird in Abbildung 16 dargestellt [vgl. 16; S. 91]:

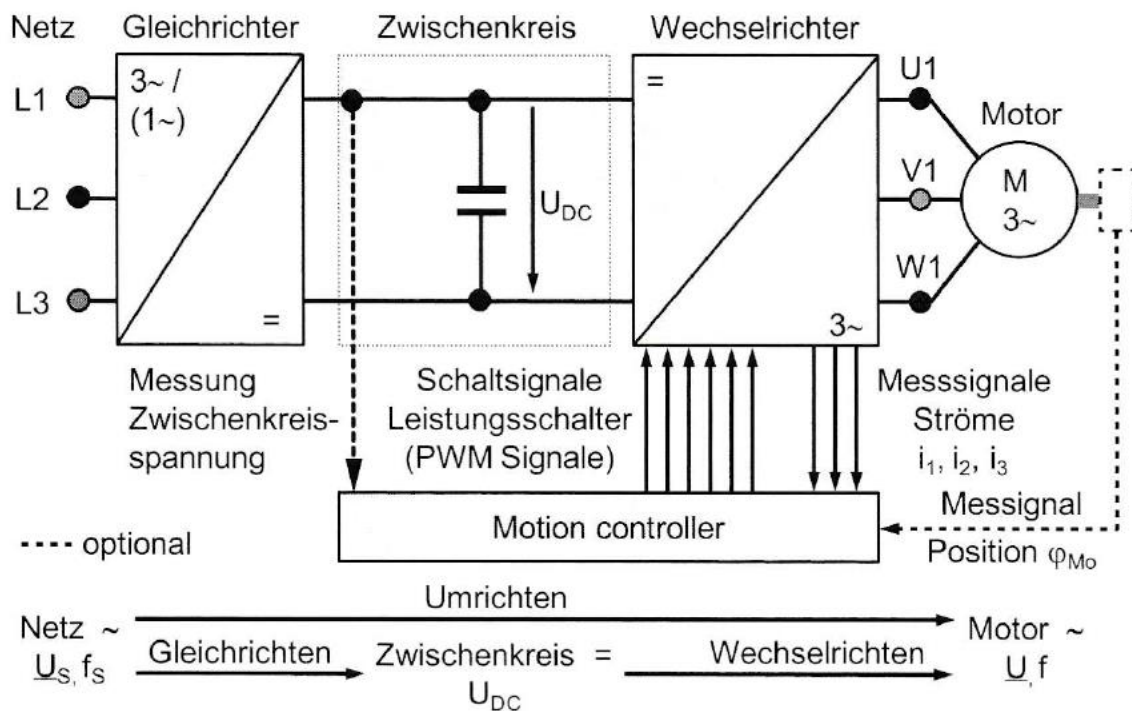


Abbildung 16: Aufbau Frequenzumrichter [17; S. 118]

Mit Hilfe des Frequenzumrichters wird die Wechsellspannung des speisenden Netzes in eine Wechsellspannung mit variabler Frequenz und veränderlicher Stromamplitude umgewandelt. Durch diese variablen Größen wird die stufenlose Einstellung der Drehzahl möglich. Dieser Prozess der Umwandlung läuft in mehreren Stufen ab. Zuerst wandelt der Gleichrichter die Netzspannung in eine Gleichspannung um. Die Ausgangsspannung des Gleichrichters pulsiert jedoch relativ stark. Nun kommt der Zwischenkreis zum Einsatz. Dieser dient nicht nur zur Entkopplung des Gleichrichters des nachgeschalteten Wechselrichters, sondern er glättet auch die Ausgangsspannung des Gleichrichters. Das geschieht über den enthaltenen Zwischenkreiskondensator, der kurzzeitig die zugeführte Energie speichern kann. Zuletzt wandelt der Wechselrichter dann die geglättete Zwischenkreisspannung in eine dreiphasige pulsierende Ausgangsspannung um, die zum Motor ausgegeben wird. [vgl. 16; S. 91–94] [vgl. 17; S. 118–119]

Die Besonderheit des Frequenzumrichters besteht in der ausschließlich digitalen Regelung. Aufgrund dessen ist die Drehzahlerfassung auch digital ausgeführt. Daher werden meistens inkrementelle Geber, z.B. Impulsgeber eingesetzt. Die Erfassung der Lageänderung läuft als Folge von Impulsen ab. [vgl. 16; S. 104–105]

Synchronmotor

Der Synchronmotor ist im Aufbau dem bürstenlosen Gleichstrommotor sehr ähnlich. Ihr Unterschied besteht lediglich in der Gestaltung des magnetischen Kreises und der Verteilung der Ständerwicklungen. Das Magnetfeld, das vom Ständerstrom aufgebaut wird, entspricht dagegen eher dem des Asynchronmotors. Die Ständerwicklungen des Synchronmotors sind in einem genuteten Blechpaket untergebracht. Der Läufer besteht aus einem Zylinder, auf dem Permanentmagnete angebracht sind. Der Zylinder umschließt die Motorwelle. An der Motorwelle befindet sich außerdem ein Lagegeber. [vgl. 16; S. 157–159]

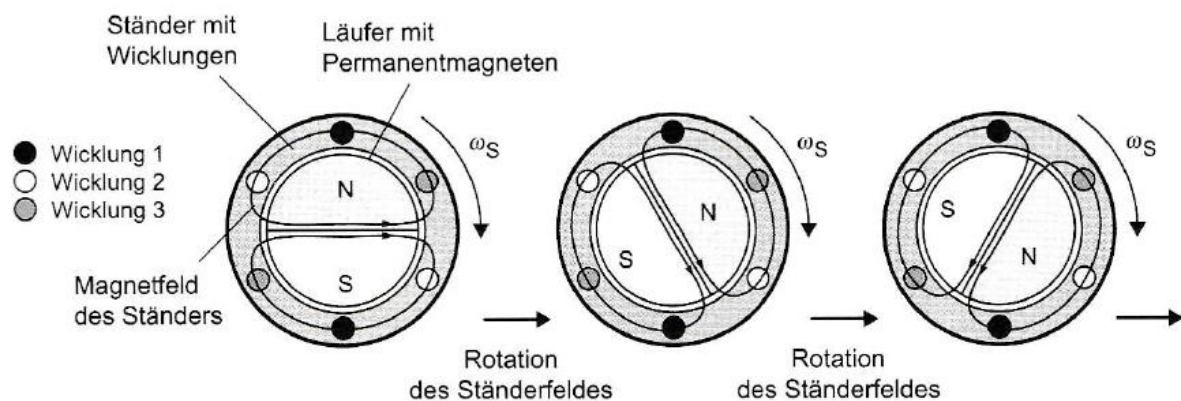


Abbildung 17: Funktionsprinzip Synchronmotor [16; S. 157]

Um den Synchronmotor zu betreiben, benötigt man drei um 120° zeitlich versetzte sinusförmige Ströme. Wie bereits beim Asynchronmotor erklärt, erzeugen diese Sinusströme ein rotierendes Ständermagnetfeld. Das Magnetfeld durchsetzt dann den Läufer des Synchronmotors, an dem sich die Permanentmagneten befinden. Der Läufer dreht sich also nun aufgrund des auf ihn wirkenden Drehmomentes und versucht sich nach dem rotierenden Drehmoment auszurichten. Das Magnetfeld dreht sich jedoch konstant weiter, sodass sich der Läufer nie vollständig ausrichten kann. Die Winkelgeschwindigkeit ω_s des Ständermagnetfeldes ist konstant. Der Läufer folgt dem Magnetfeld mit einer gleich großen Geschwindigkeit ω_{mech} . Magnetfeld und Läufer rotieren gleich schnell, also synchron. Daher kommt auch der Name Synchronmotor. Durch diese Eigenschaft gibt es keinen Schlupf. [vgl. 16; S. 157]

Synchronantrieb

Die Magnetfelder des Ständers und des Läufers sollten möglichst immer in einem 90° Winkel zueinanderstehen. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, wird das Drehmoment maximal. Das gewünschte Drehmoment kann exakt über den Effektivwert des Ständerstroms I_S eingestellt werden. Daraus ergibt sich die Formel (6):

$$M = k_T \cdot I_S \quad (6)$$

k_T ist die sogenannte Drehmomentkonstante. Sie ist eine konstruktive Größe des Motors und ist im jeweiligen Datenblatt zu finden. Die Position des Magnetfeldes durch den eingeprägten Strom und des Magnetfeldes der Läuferpole soll in dem gewünschten Winkel zueinander gehalten werden. Dafür wird ein Lagegeber am Motor benötigt, der direkt auf die Läuferpole ausgerichtet ist. Dieser Lagegeber erfasst die Position und gibt diese an das Stellgerät weiter. [vgl. 16; S. 158]

Zur Regelung der Drehzahl wird hier ebenfalls ein Frequenzumrichter im Leistungsteil des Stellgerätes eingesetzt. Dieser Frequenzumrichter unterscheidet sich in Aufbau und Funktion nicht von dem beschriebenen Frequenzumrichter im Asynchronmotor. In Abbildung 18 wird der gesamte Aufbau eines Synchronantriebes mit Frequenzumrichter dargestellt. Wie hier zu sehen ist, wird für die Regelung der Drehzahl in der Signalelektronik ein relativ kompliziertes Regelsystem verwendet. Aufgrund der Komplexität wird an dieser Stelle nicht weiter auf die genaue Regelung eingegangen. [vgl. 16; S. 159]

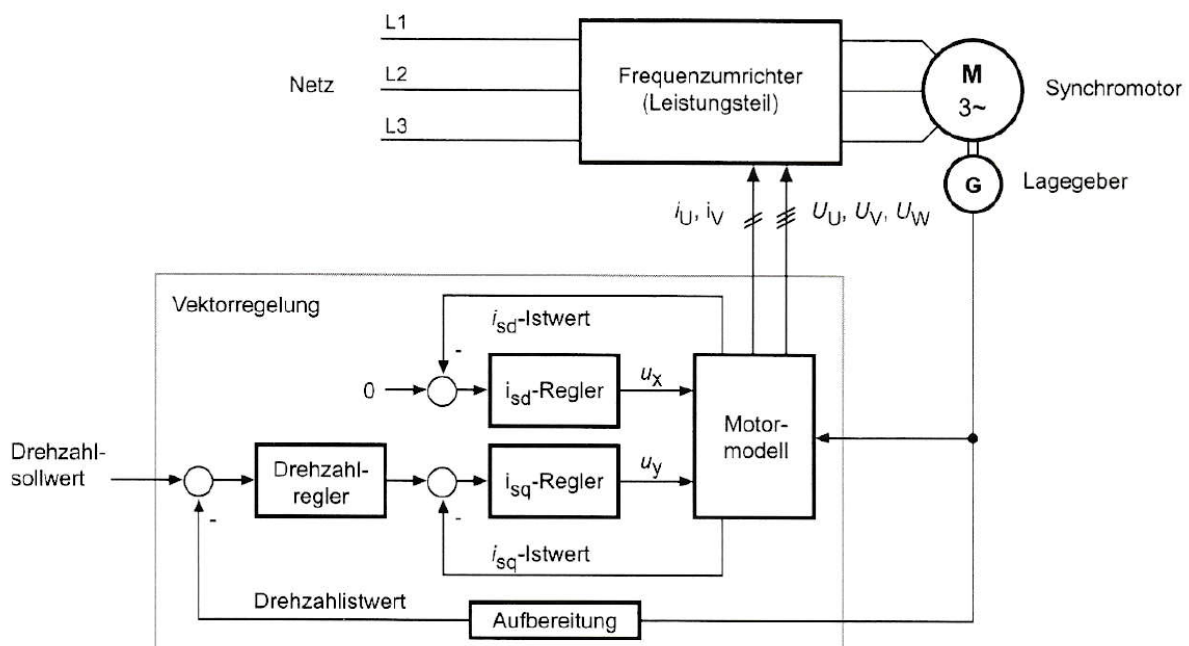


Abbildung 18: Aufbau Synchronantrieb mit Frequenzumrichter [16; S.160]

Vergleich der Antriebsarten

Tabelle 9: Vergleich Antriebsarten

Antriebsart	Vorteile	Nachteile
Bürstenloser Gleichstromantrieb mit Stromrichter	+ hohe Dynamik + konstantes Drehmoment im gesamten Drehzahlbereich + gute Überlastbarkeit + kaum Verluste + kleinste Baugröße + wartungsfrei	- extra Steuerung durch Schütze notwendig - Auftreten nicht vernachlässigbarer Drehmomentwelligkeit - besonders hohe Anschaffungskosten
Asynchronantrieb mit Frequenzumrichter	+ hohe Robustheit + geringste Anschaffungskosten (besonders Aluminium-Variante) + reduzierte Drehmomentwelligkeit durch schräge Nuten + wartungsfrei	- größte Baugröße - unruhig im niedrigen Drehzahlbereich - Fremdlüfter im niedrigen Drehzahlbereich nötig - erhöhte Verluste und Erwärmung wegen benötigtem Magnetisierungsstrom
Synchronantrieb mit Frequenzumrichter	+ höchste Präzision + hohe Dynamik + in jedem Drehzahlbereich genau + immer konstantes Drehmoment + sehr guter Rundlauf + kaum Verluste + relativ kleine Baugröße + wartungsfrei	- Messwerterfassung durch notwendiges Gebersystem steigert die Kosten des Antriebs - komplexes Regelsystem

In Tabelle 9 wurden die Vorteile und Nachteile der zuvor beschriebenen Antriebskonzepte miteinander verglichen. Anschließend kann jetzt mit einer genaueren Betrachtung in Bezug auf die zu projektierende Anlage das am besten geeignete Antriebskonzept ausgewählt werden.

Für die zu betreibende Förderanlage wird erwartet, dass die Förderbänder einzeln steuerbar sind und je nach Menge des zu transportierenden Fördergutes die Geschwindigkeit angepasst wird. Dies erfolgt über die Regelung der Drehzahl, was alle beschriebenen Konzepte gut umsetzen können. Jedoch wird der Aufbau einer Steuerung aus Schützen im Fall des Gleichstromantriebs mit Stromrichter einiges an Mehraufwand bei der Verkabelung verursachen.

Die Förderbänder sollen zwar häufiger pro Schicht ein- und ausgeschalten werden und die Geschwindigkeit soll immer passend geregelt werden, doch geschehen diese Vorgänge nicht besonders zeitkritisch. Damit wird keine hohe Dynamik vom Antrieb benötigt und dieser spezielle Vorteil vom Gleichstrom- und Synchronantrieb fällt nicht mehr ins Gewicht.

Ebenso irrelevant ist die Positioniergenauigkeit bei der der Synchronmotor besonders hervorgestochen wäre. Die Stellgeräte des Antriebes werden hauptsächlich zur präzisen Einstellung von Drehzahl bzw. Drehmoment benötigt.

Ein wichtiger weiterer Punkt bei der Auswahl eines Antriebes ist zumeist die Baugröße. Für diese Anlage ist dies jedoch nicht der Fall. Da die Förderbänder unterflur verbaut werden, müssen die Motoren ebenfalls dort angebracht sein. Der auszuhebende Schacht im Boden wurde durch die mechanische Abteilung des Unternehmen SMA dabei so großzügig ausgelegt, dass Antriebe egal welcher Baugröße neben dem Band platziert werden können.

Durch die Anbringung der Antriebe im Boden und die Abdeckung mit Platten ist es schwieriger diese zu erreichen. Aufgrund dessen ist es besonders wichtig, dass der ausgewählte Antrieb möglichst wenig Wartung benötigt. Dieses Kriterium erfüllen alle Antriebe gut. Der Asynchronmotor zeichnet sich hierbei durch besonders wenige Verschleißteile aus.

Für dieses Projekt ebenfalls einer der wichtigsten Punkte ist wie mehrfach erwähnt die Wirtschaftlichkeit und damit der Kostenfaktor des Antriebes. Hier sticht wiederum der Asynchronmotor hervor durch seine kostengünstige Herstellung mit dem Käfigläufer und den geringen Verlusten bei Kupferausführung.

Die finale Auswahl des Antriebskonzeptes fällt schlussendlich auf den Asynchronantrieb mit Frequenzumrichter, da dieser alle Anforderungen der Anlage erfüllt. Außerdem werden Nachteile wie der unruhige Lauf bei niedrigen Drehzahlen durch das Getriebe kompensiert und die Baugröße ist irrelevant.

4.3. Auswahl Motor und Umrichter

Da im vorangegangenen Kapitel das Antriebskonzept auf einen Asynchronmotor mit Frequenzumrichter festgelegt wurde, kann nun die konkrete Auswahl des Motors und Umrichters durchgeführt werden. Dies erfolgt auf Grundlage einer Berechnung. Die verwendeten Formeln und Gleichungen sind den Vorlesungsreihen „Elektroprojektierung“ und „Elektrische Antriebe“ an der Westsächsischen Hochschule Zwickau von 2019 entnommen. [18,19]

Mechanische Vorgaben

Zunächst sind in Tabelle 10 die Vorgaben der mechanischen Konstruktion des Unternehmens SMA aufgeführt, die zur Dimensionierung der benötigten Antriebe notwendig sind.

Tabelle 10: Vorgaben der mechanischen Konstruktion

Mechanische Vorgaben	
Maximallänge Förderband	$l = 15m$
Neigungswinkel Förderband	$\alpha \approx 1^\circ$
Länge Steigförderer	$l_s = 4,2m$
Neigungswinkel Steigförderer	$\alpha_s = 45^\circ$
Antriebsrollendurchmesser	$d = 82mm$
Maximalgeschwindigkeit	$v = 0,22 \frac{m}{s}$
Masse Fördergut	$m = 5 \frac{kg}{m}$
Masse Antriebsrolle	$m = 20kg$

Festlegung genauer Motortyp mit Getriebe

Bevor die Berechnung und damit die Auswahl beginnt, muss noch kurz abgeklärt werden auf welche Ausführungsvariante des Asynchronmotors die Überlegungen beschränkt werden. Wie bereits im vorherigen Kapitel festgestellt wird ein Standardgetriebe Motor benötigt, um die Transportbänder anzutreiben. Bei den Transportbändern

handelt es sich, wie im Kapitel zum mechanischen Konzept beschrieben, um Gurtförderer. Der Motor treibt hier eine ausgewählte Antriebsrolle an. Zwischen Gurt und Antriebsrolle erfolgt dann die Kraftübertragung durch Kraftschluss. Der Antrieb kann bei Gurtförderern an verschiedenen Positionen angebaut werden. Man unterscheidet zwischen Kopfantrieb und Zentralantrieb. Der Kopfantrieb befindet sich am Ende des Bandes. Der Zentralantrieb befindet sich in der Mitte unterhalb des Bandes. Beim Kopfantrieb kann zusätzlich noch unterschieden werden, ob sich dieser unterhalb des Bandes oder seitlich neben dem Band befindet. Für diese Anlage wird sich für die einfacher umsetzbare Lösung entschieden. Das ist der seitlich angeordnete Kopfantrieb. Mit dieser Lösungsvariante entfallen zusätzliche Riemen, die die Antriebsrolle mit dem Antrieb verbinden. Beim seitlichen Kopfantrieb treibt die Antriebswelle des Getriebes direkt die Antriebsrolle an. Es müssen keine zusätzlichen Umsetzfaktoren beachtet werden. Üblicherweise wird beim seitlich angeordneten Kopfantrieb ein Kegelradgetriebe eingesetzt. Dieses wird auch Winkelgetriebe genannt. Diese Getriebeausführung wird als Stand der Technik betrachtet und auch für dieses Projekt ausgewählt. Es wird final eine Winkel-Getriebeasynchronmotor vom Hersteller SEW-EURODRIVE mit Hilfe der folgenden Berechnung ausgewählt. [vgl. 20; S. 272–273]

Beschreibung der wirkenden Kräfte

In Abbildung 19 wird der prinzipielle Aufbau eines Gurtförderbandes vereinfacht dargestellt. Der einzige Unterschied zur realen Anlage ist, dass der Kopfantrieb in Realität am oberen Kopfende des Förderbandes angebracht wird. Es wird klar erkennbar, dass sich eine Masse m über die Förderstrecke mit dem Neigungswinkel α bewegt. Diese Masse entspricht der Masse des Fördergutes. [vgl. 20; S. 86]

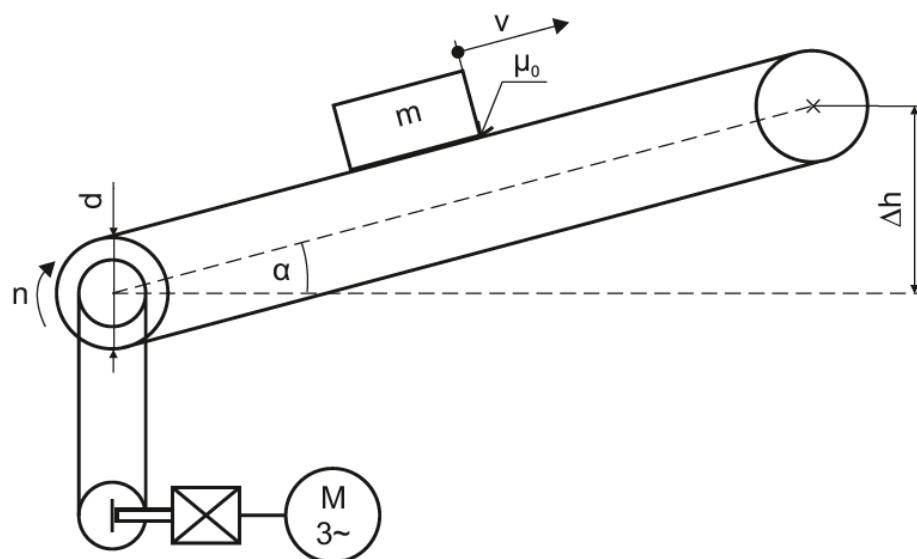


Abbildung 19: Skizze Förderantrieb an schiefer Ebene [20; S. 86]

Auf diese Masse m wirkt die Gewichtskraft F_G . An der geneigten Ebene des Förderbandes teilt sich die Gewichtskraft in verschiedene Kräfte auf. Dies wird in der auf die wirkenden Kräfte heruntergebrochenen Abbildung 20 dargestellt.

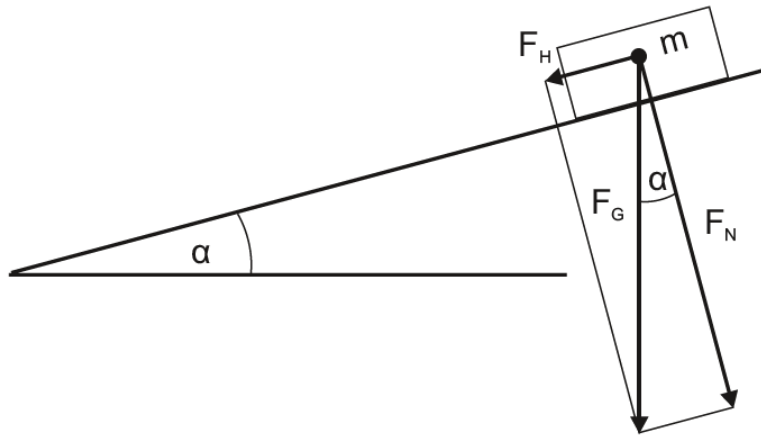


Abbildung 20: Skizze Zerlegung der Gewichtskraft [20; S.87]

Die Gewichtskraft lässt sich in die Normalkraft F_N und eine Hangabtriebskraft F_H zerlegen. Diese lassen sich mit folgenden Formeln beschreiben.

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Es gibt noch eine Reibungskraft F_R . Diese Kraft wirkt der Bewegung der Förderstrecke entgegen. Zu beachten ist hier, dass eine Gleitreibung μ wirkt, da sich der Gurt des Förderbands über ein Gleitblech bewegt. Im Fall eines Rollenbandes würde eine geringere Rollreibung wirken. Es wird ein geringer Gleitreibungskoeffizient $\mu = 0,1$ angenommen. Bei dieser Förderanlage mit Gleitblechen gilt für die Reibungskraft:

$$F_R = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (9)$$

Insgesamt wirken also drei Kräfte für die Bewegung der Masse m .

Zusätzlich wirkt noch die Haftreibung μ_0 zwischen der Masse m und der Unterlage, die die Masse bewegt. Um zu verhindern, dass die Masse auf der Unterlage rutscht, darf die Beschleunigungskraft F_A die Reibungskraft nicht überschreiten. Dementsprechend muss die maximale Beschleunigung $a_{\max}$ gewählt werden. Es muss gelten:

$$m \cdot a_{\max} < \mu_0 \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (10)$$

$$a_{\max} < \mu_0 \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

Die für die Förderbänder vorgegebene Geschwindigkeit beträgt $v = 0,22 \frac{m}{s}$. Die Beschleunigungszeit auf die Fahrgeschwindigkeit soll 0,5s betragen. Damit berechnet sich die Beschleunigung folgendermaßen:

$$a_{\max} = \frac{dv}{dt} = \frac{0,22 \frac{m}{s}}{0,5s} = 0,44 s^{-1} \quad (12)$$

Dieser Wert kann nun in die Ungleichung (11) eingesetzt werden:

$$0,44 s^{-1} < 0,1 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos(1^\circ) \quad (13)$$

$$0,44 s^{-1} < 0,98 \frac{m}{s^2} \quad (14)$$

Damit ist die Bedingung, dass das Fördergut nicht auf der Unterlage rutscht, erfüllt. [vgl. 20; S. 85–87]

Berechnung des Drehmoments am Getriebeausgang (statisch)

Damit nicht für jeden der acht auszuwählenden Motoren eine einzelne Berechnung durchgeführt werden muss, werden sie sofern möglich zusammengefasst. Für sieben werden die Motorwerte, welche für das längste der Förderbänder gelten, berechnet. Dabei handelt es sich um ein 15 Meter Förderband aus Förderstrecke 1. Der berechnete Motor wird sodann auch die Anforderungen der kürzen Förderbänder erfüllen und diese antreiben können. Eine weitere Berechnung muss für den Steigförderer mit dem achten Motor am Ende von Förderstrecke 2 durchgeführt werden, weil dieser Steigförderer andere Anforderungen und Voraussetzungen hat. Es folgen zuerst die Berechnungen für das längste normale Förderband.

Zunächst müssen die statischen Werte für das System berechnet werden, um eine Vorauswahl für einen Motor zu treffen. Die Katalogwerte des vorausgewählten Motors werden anschließend mit dem dynamischen Verhalten überprüft.

Für die statische Auswahl wird als erstes das benötigte Drehmoment am Getriebeausgang des Antriebs berechnet. Das Drehmoment M_G ergibt sich aus der Kraft, die auf die zu bewegende Masse wirkt und dem Radius der Antriebsrolle, die bewegt werden muss. Es gilt:

$$M_G = F \cdot r \quad (15)$$

Die Kraft setzt sich aus den drei oben beschriebenen Kräften zusammen, die auf die Masser wirken:

$$F = F_N + F_H + F_R \quad (16)$$

$$F = m \cdot g \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (17)$$

Die Masse des Fördergutes wurde mit 5 Kilogramm pro Meter angegeben. Das bedeutet also, dass 15 mal 5 Kilogramm als zu bewegende Masse für das längste Förderband angenommen werden müssen. Das entspricht 75 kg und kann in Formel (17) eingesetzt werden.

$$F = 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(1^\circ) + 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(1^\circ) + 0,1 \cdot 75 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(1^\circ)$$

$$F \approx 822 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 822 \text{ N}$$

Diese Kraft kann nun in Formel (15) eingesetzt werden. Der Radius in dieser Formel ergibt sich aus der Hälfte des Durchmessers der Antriebsrolle.

$$M_G = F \cdot \frac{d}{2} \quad (18)$$

$$M_G = 822 \text{ N} \cdot \frac{0,082 \text{ m}}{2}$$

$$\underline{\underline{M_G \approx 33,7 \text{ Nm}}}$$

Berechnung der Drehzahl am Getriebeausgang

Als nächstes muss die Drehzahl am Getriebeausgang berechnet werden, die benötigt wird, um die gewünschte Geschwindigkeit zu erreichen. Die Drehzahl n_G ergibt sich aus dem Verhältnis der gewünschten Geschwindigkeit und dem Umfang der Antriebsrolle nach Formel (19):

$$n_G = \frac{v}{U} \quad (19)$$

Der Umfang der Antriebsrolle lässt sich leicht bestimmen. Die Antriebsrolle wird als Zylinder gesehen und ist damit in der Draufsicht als Kreis wahrzunehmen. Daher ergibt sich der Umfang folgendermaßen:

$$U = \pi \cdot d \quad (20)$$

$$U = \pi \cdot 0,082 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{U \approx 0,2576 \text{ m}}}$$

Das Ergebnis kann wiederum in Formel (19) eingesetzt werden.

$$n_G = \frac{v}{U} = \frac{0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,2576 \text{ m}}$$

$$\underline{\underline{n_G \approx 0,854s^{-1} = 51,24min^{-1}}}$$

Berechnung der statischen mechanischen Leistung

Als letzter Schritt vor der Auswahl des noch dynamisch zu prüfenden Motors muss die mechanische Leistung, die am Getriebeausgang benötigt wird, berechnet werden. Diese mechanische Leistung ergibt sich nach Formel (21):

$$P_{stat} = \frac{M_G \cdot \omega_G}{\eta} \quad (21)$$

Die hierfür benötigte Winkelgeschwindigkeit ergibt sich nach:

$$\omega_G = 2 \cdot \pi \cdot n_G \quad (22)$$

$$\omega_G = 2 \cdot \pi \cdot 0,854s^{-1}$$

$$\underline{\underline{\omega_G \approx 5,37s^{-1}}}$$

Da wie beschrieben ein Winkelgetriebemotor ausgewählt werden soll, wird der Wirkungsgrad dem Katalog für eben dieses Modell entnommen. In Absprache mit der mechanischen Konstruktion des Unternehmens SMA wurde sich für die Produktreihe SPIROPLAN-Getriebemotoren des Herstellers SEW-EURODRIVE entschieden. Laut Katalog weisen diese Motoren aufgrund ihrer Verzahnung einen hohen Gleitreibungsanteil auf. Das wirkt sich in höheren Verzahnungsverlusten und einem niedrigeren Wirkungsgrad aus gegenüber anderen Getriebemotortypen. Der Wirkungsgrad wird grob mit 90% angenommen. [vgl. 21; S. 63]

Nun können die ermittelten Werte in Formel (21) eingesetzt werden:

$$P_{stat} = \frac{33,7Nm \cdot 5,37s^{-1}}{0,9}$$

$$\underline{\underline{P_{stat} \approx 201W = 0,201kW}}}$$

Mit Hilfe der berechneten Werte kann jetzt aus dem SEW-EURODRIVE Katalog ein Motor vorausgewählt werden. Der ausgewählte Motor muss größere Werte als die berechneten Werte der mechanischen Leistung und Drehzahl haben, um diese Anforderungen zu erfüllen. Für die mechanische Leistung ist das 0,37kW und für die Drehzahl ist das 58 min⁻¹. Der vorausgewählte Motor trägt die Bezeichnung : **DRN71M4**. [21; S. 959]

Technische Kenngrößen Motor

Die technischen Daten des Motors können einem weiteren SEW-EURODRIVE Dokument entnommen werden. [22; S. 6]

Tabelle 11: Katalogwerte Motor [22; S. 6]

Technische Größe	Katalogwert
Mechanische Nennleistung	0,37 kW
Nenndrehzahl	1415 min ⁻¹
Drehzahl nach Getriebe	58 min ⁻¹
Motorträgheitsmoment	0,00074 kgm ²

Mit diesen Katalogwerten kann der Motor jetzt auf sein dynamisches Verhalten geprüft werden.

Berechnung Trägheitsmomente

Die Last meint hier die linear bewegte Masse auf dem Fließband. Das Trägheitsmoment der Last ergibt sich nach:

$$J_L = m \cdot r^2 \quad (23)$$

$$J_L = m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 75 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0,082 \text{ m}}{2}\right)^2$$

$$\underline{J_L \approx 0,126 \text{ kgm}^2}$$

Als nächstes muss das Trägheitsmoment der Antriebsrolle des Förderbandes berechnet werden. Die Antriebsrolle ist ein zylindrisches Objekt mit einer Masse m und einem Radius r. Daraus folgt die Formel (24) für das Trägheitsmoment:

$$J_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (24)$$

$$J_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0,082 \text{ m}}{2}\right)^2$$

$$\underline{J_A \approx 0,0168 \text{ kgm}^2}$$

Diese beiden Trägheitsmomente werden nun im Trägheitsmoment J_X zusammengeführt, da dieses für die Berechnung des Lastmomentes benötigt wird. Es stellt den Bezug auf die Motorwelle dar und ergibt sich nach:

$$J_X = (J_L + J_A) \cdot \frac{n_G^2}{n_M^2} \quad (25)$$

$$J_X = (0,126 \text{ kgm}^2 + 0,0168 \text{ kgm}^2) \cdot \frac{(51,24 \text{ min}^{-1})^2}{(58 \text{ min}^{-1})^2}$$

$$\underline{\underline{J_X \approx 0,1115 \text{ kgm}^2}}$$

Berechnung dynamisches Drehmoment

Mit allen wirkenden Trägheitsmomenten muss nun das Lastmoment berechnet werden. Die wirkenden Trägheitsmomente sind das Motorträgheitsmoment J_M , das Getriebeträgheitsmoment J_G und das berechnete Trägheitsmoment J_X . Das Lastmoment oder auch dynamisches Drehmoment ergibt sich nach:

$$M_{dyn} = \left(J_M + J_G + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (26)$$

t ist die Hochlaufzeit. Diese wird mit 0,5s angenommen. Die Winkelgeschwindigkeit ω berechnet sich an dieser Stelle mit der Drehzahl des ausgewählten Motors. Als finales Getriebe wurde mit der mechanischen Abteilung das Modell **WA20/T** des Herstellers SEW-EURODRIVE festgelegt. Das Getriebeträgheitsmoment kann dem Datenblatt entnommen werden. Es beträgt 0,00001304 kgm². Diese Werte werden zusammen mit den Trägheitsmomenten in die Formel (26) eingesetzt.

$$M_{dyn} = \left(0,00074 \text{ kgm}^2 + 0,00001304 \text{ kgm}^2 + \frac{0,1115 \text{ kgm}^2}{0,9} \right) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,967 \text{ s}^{-1}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\underline{\underline{M_{dyn} \approx 1,515 \text{ Nm}}}$$

Berechnung der dynamischen mechanischen Leistung

Die dynamische mechanische Leistung ergibt sich aus dem dynamischen Drehmoment und der Winkelgeschwindigkeit.

$$P_{dyn} = M_{dyn} \cdot \omega \quad (27)$$

$$P_{dyn} = 1,515 \text{ kgm}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,967 \text{ s}^{-1}$$

$$\underline{\underline{P_{dyn} \approx 9,2 \text{ W}}}$$

Überprüfung der Auswahl

Um final zu bestätigen, dass der vorausgewählte Motor die Anforderungen für dieses System erfüllt, müssen zwei Kriterien erfüllt werden. Das berechnete statische Drehmoment muss größer sein als das dynamische Drehmoment. Und die berechnete Gesamtleistung des Motors muss kleiner oder gleich der Nennleistung des ausgewählten Motors sein. Dafür gelten die folgenden Formeln:

$$M_{Stat} > M_{dyn} \quad (28)$$

$$P_N \geq P_{ges} \quad (29)$$

Zur Überprüfung dieser beiden Kriterien müssen das statische Drehmoment M_{Stat} und die Gesamtleistung des Antriebs P_{ges} berechnet werden. Das statische Drehmoment ergibt sich nach:

$$M_{Stat} = M_G \cdot \frac{n_G}{n_M} \quad (30)$$

$$M_{Stat} = 33,7 \text{ Nm} \cdot \frac{51,24 \text{ min}^{-1}}{58 \text{ min}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{M_{Stat} \approx 29,77 \text{ Nm}}}$$

Die Gesamtleistung ergibt sich nach:

$$P_{ges} = P_{stat} + P_{dyn} \quad (31)$$

$$P_{ges} = 201 \text{ W} + 9,2 \text{ W}$$

$$\underline{\underline{P_{ges} \approx 210,2 \text{ W} = 0,2102 \text{ kW}}}$$

Setzt man die Ergebnisse nun in die zu erfüllenden Kriterien ein, ergibt sich für die zu vergleichende Momente:

$$M_{stat} > M_{dyn}$$

$$29,77 \text{ Nm} > 1,515 \text{ Nm}$$

Für die zu vergleichenden Leistungen ergibt sich:

$$P_N \geq P_{ges}$$

$$0,37 \text{ kW} \geq 0,2102 \text{ kW}$$

Wie zu erkennen ist, wurden beide Kriterien erfüllt. Damit ist der Motor korrekt für diese Anwendung ausgewählt worden. Der final ausgewählte Getriebemotor ist der **WA20/TDRN71M4/DI/DFC/BW1**. Dieser wird für sieben Förderbänder eingesetzt.

Berechnung für Steigförderer

Da nun der konkrete Motortyp für die sieben Förderbänder der Förderstrecke ausgewählt wurde, fehlt nur noch die Auswahl des konkreten Motors für den Steigförderer. Anschließend folgen die gleichen Berechnungen mit den jeweiligen Werten für den Steigförderer. Auf sich wiederholende Kommentare und Erklärungen aus der ersten Berechnung wird verzichtet.

Überprüfung der Beschleunigung

Zu erfüllende Ungleichung, damit das Fördergut nicht von der Unterlage rutscht:

$$a_{\max} < \mu_0 \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (32)$$

Berechnung der Beschleunigung:

$$a_{\max} = \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{0,22 \frac{m}{s}}{0,5s} = 0,44 \text{ s}^{-1}$$

Einsetzen in die Ungleichung:

$$0,44 \text{ s}^{-1} < 0,1 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos(45^\circ)$$

$$0,44 \text{ s}^{-1} < 0,69 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Bedingung wurde auch für den Steigförderer erfüllt. Das Fördergut rutscht bei maximaler Beschleunigung nicht von der Unterlage.

Berechnung des Drehmoments am Getriebeausgang (statisch)

Das Drehmoment ergibt sich nach:

$$M_G = F \cdot r \quad (33)$$

Die wirkenden Kräfte ergeben sich nach:

$$F = m \cdot g \cdot \cos \alpha + m \cdot g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (34)$$

Der Steigförderer ist 4,2m lang und die Masse des Fördergutes beträgt auch 5 Kilogramm pro Meter. Diese Werte werden in Formel (34) eingesetzt:

$$F = 21 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(45^\circ) + 21 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(45^\circ) + 0,1 \cdot 21 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos(45^\circ)$$

$$F \approx 306 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 306 \text{ N}$$

Die berechneten Werte werden in Formel (33) eingesetzt:

$$M_G = 306 \text{ N} \cdot \frac{0,082 \text{ m}}{2}$$

$$\underline{\underline{M_G \approx 12,54 \text{ Nm}}}$$

Berechnung der Drehzahl am Getriebeausgang

Die Drehzahl entspricht dem Wert der anderen Förderbänder, aufgrund derselben gewünschten Geschwindigkeit und demselben Umfang der Antriebsrolle:

$$n_G = \frac{v}{U} \quad (35)$$

$$n_G = \frac{0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,2576 \text{ m}}$$

$$\underline{\underline{n_G \approx 0,854 \text{ s}^{-1} = 51,24 \text{ min}^{-1}}}$$

Berechnung der statischen mechanischen Leistung

Die mechanische Leistung berechnet sich nach:

$$P_{stat} = \frac{M_G \cdot \omega_G}{\eta} \quad (36)$$

Es soll ein Motor derselben Produktreihe SPIROPLAN-Getriebemotoren wie für die anderen Förderbänder ausgewählt werden. Daher wird der Wirkungsgrad auch ungefähr mit 90% angenommen. Die Werte werden in Formel (36) eingesetzt:

$$P_{stat} = \frac{12,54Nm \cdot 5,37s^{-1}}{0,9}$$

$$\underline{\underline{P_{stat} \approx 74,82W = 0,0748kW}}$$

Mit dem berechneten Wert für die mechanische Leistung kann nun der SEW-EURO-DRIVE Antrieb ausgewählt werden. Es wird wiederholt ein Motor ausgewählt mit einer höheren Nennleistung als dem berechneten Wert. Es gibt zwar Motoren mit weniger Nennleistung als der zuvor für die anderen Bänder ausgewählte Motor, aber es wird sich trotzdem für diesen entschieden. Das hat die folgenden zwei Gründe. Zum einen soll die Ersatzteilliste möglichst klein gehalten werden, damit beim Kunden nicht zahlreiche verschiedene Motoren auf Lager sein müssen. Betriebsmittel sollten für den Fall eines Ausfalls stets auf Lager sein. Zum anderen ist der Motor mit der Nennleistung von 0,37kW der kleinstmögliche für das bevorzugte Umrichter-Konzept. Die Auswahl des Umrichters wird nach dieser Berechnung thematisiert. Für den Steigförderer wird auch der Motor **DRN71M4** vorausgewählt.

Technische Kenngrößen Motor

Bei den Motordaten handelt es sich dementsprechend um dieselben wie in der ersten Berechnung. Diese sind in Tabelle 10 zu finden. Außerdem wird derselbe Getriebetyp benutzt. Anschließend wird der vorausgewählte Motor für den Steigförderer auf sein dynamisches Verhalten geprüft.

Berechnung Trägheitsmomente

Berechnung des Lastträgheitsmoment:

$$J_L = m \cdot r^2 \quad (37)$$

$$J_L = m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 21kg \cdot \left(\frac{0,082m}{2}\right)^2$$

$$\underline{J_L \approx 0,035kgm^2}$$

Berechnung des Trägheitsmoments der Antriebsrolle:

$$J_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (38)$$

$$J_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 20kg \cdot \left(\frac{0,082m}{2}\right)^2$$

$$\underline{J_A \approx 0,0168 kgm^2}$$

Berechnung des Trägheitsmoments der Motorwelle:

$$J_X = (J_L + J_A) \cdot \frac{n_G^2}{n_M^2} \quad (39)$$

$$J_X = (0,035kgm^2 + 0,0168kgm^2) \cdot \frac{(51,24 \text{ min}^{-1})^2}{(58 \text{ min}^{-1})^2}$$

$$\underline{J_X \approx 0,0404 kgm^2}$$

Berechnung dynamisches Drehmoment

Das dynamische Lastdrehmoment berechnet sich nach:

$$M_{dyn} = \left(J_M + J_G + \frac{J_x}{\eta}\right) \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (40)$$

Die ermittelten Werte werden in Formel (40) eingesetzt:

$$M_{dyn} = \left(0,00074kgm^2 + 0,00001304 kgm^2 + \frac{0,0404 kgm^2}{0,9}\right) \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,967s^{-1}}{0,5s}$$

$$\underline{\underline{M_{dyn} \approx 0,555Nm}}$$

Berechnung der dynamischen mechanischen Leistung

Die dynamische mechanische Leistung ergibt sich nach:

$$P_{dyn} = M_{dyn} \cdot \omega \quad (41)$$

$$P_{dyn} = 0,555Nm \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,967s^{-1}$$

$$\underline{\underline{P_{dyn} \approx 3,37W}}$$

Überprüfung der Auswahl

Berechnung des statischen Drehmoments:

$$M_{Stat} = M_G \cdot \frac{n_G}{n_M} \quad (42)$$

$$M_{Stat} = 12,54 \text{ Nm} \cdot \frac{51,24 \text{ min}^{-1}}{58 \text{ min}^{-1}}$$

$$\underline{\underline{M_{Stat} \approx 11,08 \text{ Nm}}}$$

Berechnung der Gesamtleistung:

$$P_{ges} = P_{stat} + P_{dyn} \quad (43)$$

$$P_{ges} = 74,82W + 3,37W$$

$$\underline{\underline{P_{ges} \approx 78.19W = 0,07819kW}}}$$

Überprüfung Kriterium Drehmomente:

$$M_{Stat} > M_{dyn}$$

$$11,08 \text{ Nm} > 0,555 \text{ Nm}$$

Überprüfung Kriterium Leistung:

$$P_N \geq P_{ges}$$

$$0,37 \text{ kW} \geq 0,07819 \text{ kW}$$

Der ausgewählte Motor erfüllt beide Kriterien. Damit erfüllt er alle Anforderungen zur Anwendung am Steigförderer. Als zusätzliche Funktion muss jedoch das Zurückschieben des Bandes bei Bandstopp verhindert werden. Dies kann aufgrund der rückwärts treibenden Last auftreten. Dafür muss der Motor mit einer Bremse ausgestattet sein. Das ausgewählte Motormodell kann mit einer Bremse erweitert werden. Der finale ausgewählte Getriebemotor für den Steigförderer ist somit der

WA20/T DRN71M4/BE05/DI/DFC

Auswahl des Antriebssystems

Die Auswahl der Motoren für das Antriebskonzept ist abgeschlossen. Um das Antriebssystem zu vervollständigen, wird noch ein Stellgerät benötigt. Wie in den vorangegangenen Betrachtungen ausgeführt, soll der ausgewählte Asynchronmotor mit einem Frequenzumrichter ergänzt werden. Der Hersteller SEW-EURODRIVE bietet eine Vielzahl an Frequenzumrichter-Optionen an. Es gibt z.B. Frequenzumrichter für die Schaltschrankmontage, die Wandmontage oder die dezentrale Montage. Wie im Steuerungskonzept beschrieben wurde eine dezentrale Anordnung für die Anlage als die beste Ausführungsvariante festgelegt. Die Auswahl des Frequenzumrichters beschränkt sich also auf Modelle für die dezentrale Installation. Zur Auswahl stehen drei Umrichter-Varianten. Die erste ist ein Einfach-Umrichter MOVIFIT compact, der über Rampenfunktionen parametrierbar ist. Eine weitere Möglichkeit ist der Standard dezentrale Umrichter MOVIMOT advanced. Dieser verfügt über erweiterte Regelfunktionen. Die letzte wählbare Variante ist der Applikationsumrichter MOVIFIT, der sogar frei programmiert werden kann.

Um die gewünschten Funktionen dieser Anlage umzusetzen, wie z.B. die freie Regelung der Bandgeschwindigkeit, kommen nur der MOVIMOT und der MOVIFIT in Frage. Der MOVIFIT hat aufgrund seiner freien Programmierbarkeit viel mehr Funktionen und Umsetzungsmöglichkeiten. Er hat jedoch deutlich höhere Anschaffungskosten. Um die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu gewährleisten, wird sich daher für den günstigeren MOVIMOT advanced entschieden. Der MOVIMOT wird einfach auf den ausgewählten Motor gesteckt. Er ist mit den passenden Feldbus-Schnittstellen ausgestattet und hat zusätzlich Anschlüsse für digitale Eingänge und Ausgänge. Damit können die Lichtschranken der Förderbänder dezentral an den Umrichter angeschlossen werden und müssen nicht zum Schaltschrank verkabelt werden. Dieser dezentrale Aufbau spart viel Verkabelungsaufwand. Die genaue Artikelbezeichnung des MOVIMOTs lautet:

DFC20A-0020-503-A-T00-001

Tabelle 12 zeigt die ausgewählten Antriebssysteme und wie oft diese in der Anlage verwendet werden. Damit ist die Betrachtung zum Antriebskonzept abgeschlossen.

Tabelle 12: Betriebsmittel Antriebe

Betriebsmittel	Anzahl
MOVIMOT advanced Spiroplangetriebemotor WA20/T DRN71M4/DI/DFC/BW1	7
MOVIMOT advanced Spiroplangetriebemotor WA20/T DRN71M4/BE05/DI/DFC	1

5. Kommunikationskonzept

5.1. Vergleich PROFINET und PROFIBUS

Der Strukturwandel im Bereich der SPS hin zur Dezentralisierung löste den Wunsch nach einer Reduzierung der Verkabelungskosten aus. Die Eingangs- und Ausgangsperipherie rückte an den Einsatzort und weg von der SPS. Es musste ein neues System eingeführt werden, um den Verkabelungsaufwand und damit die Kosten erheblich zu senken. Dieses neue System waren die Feldbusse. Es handelt sich hierbei um dünne 2- oder 4-Drahtleitungen, welche die zentrale Steuerung und die dezentralen E/A-Baugruppen miteinander verbinden. Dadurch werden die zentralen Steuerungen entlastet und einfache Aufgaben werden von den dezentralen Geräten direkt vor Ort übernommen. Es wurden immer mehr Feldgeräte wie Antriebe oder Ventile als dezentrale Automatisierungslösungen umgesetzt. Deswegen kam es zur Standardisierung der Feldbusse und zur Festlegung offener Normen. Heute können Feldbusse an die meisten Automatisierungsgeräte angeschlossen werden. Die wichtigsten Vertreter im europäischen Raum sind das Industrial Ethernet mit PROFINET und PROFIBUS. Im Folgenden werden diese beiden Feldbussysteme kurz erklärt, da sie auch in der projektierten Anlage Verwendung finden. [vgl. 23; S. 15]

PROFIBUS

PROFIBUS gibt es in drei Protokollvarianten: der älteren FMS-Variante (Fieldbus Message Specification), der Nachfolger der FMS-Variante der PROFIBUS-DP (Decentralized Peripheral), und der PROFIBUS-PA (Prozess Automation). Heute werden hauptsächlich der PROFIBUS-DP und PROFIBUS-PA verwendet. Die PA-Variante wird typischerweise in der Prozessautomatisierung und in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt. Sie ermöglicht die Datenübertragung und Energiespeisung der Endgeräte. Ihre Datenübertragungsrate ist jedoch auf 31,25kbit/s beschränkt. Der PROFIBUS DP wird dagegen in der Fertigungsautomatisierung eingesetzt. Er dient als Verbindung zwischen den zentralen Steuerungen und der dezentralen Peripherie. Durch ihn wird der azyklische und deterministische Datenaustausch zwischen Busmastern und den zugeordneten Slave-Geräten ermöglicht. Damit alle Teilnehmer über die eine Feldbusleitung kommunizieren können, wird ein Token-basiertes Zugangsverfahren verwendet. Jeder Teilnehmer hat einen eindeutigen Zugriffstoken, der bei Versenden von Befehlen mit versendet wird, damit nur der richtige Teilnehmer mit dem jeweiligen Token angesprochen wird. In einem Automatisierungssystem wie der projektierten Anlage übernimmt die Funktion des Busmasters meistens die SPS und die anderen Peripheriegeräte werden als Slaves eingebunden. Genauer hat also die CPU als Master die

Möglichkeit Befehle an die verbundenen Slave-Peripheriegeräte zu senden. Außerdem kann der Master auch Daten von den Slaves anfordern. Der PROFIBUS-DP hat eine maximale Übertragungsrate von 12000kbit/s oder auch 12Mbit/s. In einem PROFIBUS-DP Netz können maximal 126 Teilnehmer betrieben werden. Nach 32 Teilnehmern muss ein Repeater geschaltet werden. Konkret in dieser Förderanlage wird die CPU der ausgewählten SPS als Master eingesetzt, der nur einen weiteren Teilnehmer, die Schwenkeinrichtung am Steigförderer, als Slave steuert. [vgl. 24] [vgl. 25; S. 7–10]

PROFINET

PROFINET IO ist heutzutage der Standard, wenn modulare dezentrale Anwendungen im Industrial Ethernet umgesetzt werden sollen. PROFINET IO bindet dezentrale Peripherie- und Feldgeräte in die Ethernet-Kommunikation ein. PROFINET IO gilt dabei als Weiterentwicklung des ebenso noch eingesetzten PROFIBUS DP. Denn durch den Einsatz dieses neueren Feldbusses kann die Übertragungsrate auf bis zu 100Mbit/s gesteigert werden. Außerdem können je nach Netzwerkkategorie auch deutlich mehr als 126 Netzteilnehmer wie beim PROFIBUS eingebunden werden. Im PROFINET IO gibt es auch mehr Geräteklassen als beim PROFIBUS-DP. Es handelt sich um vier Geräteklassen. Als erstes gibt es den sogenannten IO-Supervisor. Dieser Supervisor ist ein Programmiergerät, welches nur temporär in das Ethernet-Netzwerk eingebunden wird. Meist handelt es sich dabei um einen PC, der zur Inbetriebnahme, Diagnose oder Fehlersuche eingesetzt wird. Die nächste Klasse ist der IO-Controller. Er ist ein fest eingebundenes Automatisierungsgerät. Oft handelt es sich dabei um eine SPS, auf der das Automatisierungsprogramm läuft. Dieses Programm steuert die Anlage. Es muss in jedem PROFINET IO-Netz mindestens ein IO-Controller existieren. Dieser Controller kommuniziert mit einer weiteren Klasse, den IO-Devices. Diese IO-Devices sind die dezentralen Feldgeräte der Anlage. Es muss auch immer mindestens ein solcher Device existieren. Diese können mit einem oder mehreren IO-Controllern Daten austauschen. Die letzte Gerätekategorie ist der IO-Parameterserver. Das ist vorwiegend eine Serverstation, z.B. in Form eines PCs, der Konfigurationsdaten speichert und den IO-Devices zur Verfügung stellt. Konkret für die Förderanlage wird ein PC als IO-Supervisor eingesetzt, um die Anlage in Betrieb zu nehmen und Diagnosefunktionen auszuführen. Als Anwenderprogramm wird die Software TIA-Portal eingesetzt. Es wird ein IO-Controller verwendet. Dieser ist die im Kapitel Steuerungskonzept ausgewählte CPU. Als IO-Devices werden hauptsächlich die ausgewählten Antriebe verbunden. [vgl. 23; S. 72–74]

In einem PROFINET IO Netz sind alle Teilnehmer gleichberechtigt. Jeder Netzwerkteilnehmer empfängt alle gesendeten Daten der anderen Teilnehmer. Es werden jedoch nur die für den jeweiligen Teilnehmer relevanten Datenpakete herausgefiltert. Alle anderen Daten werden ignoriert. Da alle Teilnehmer gleichzeitig senden können, muss es eine Kollisionserkennung geben. Das Zugriffsverfahren, welches in diesem Fall eingesetzt wird, nennt sich CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect). Mit diesem Verfahren wird sichergestellt, dass jeder Netzwerkteilnehmer jederzeit bei einem freien Übertragungsmedium senden kann. Falls das Sendemedium, also das Kabel, bereits mit anderen Daten eines anderen Teilnehmers belegt ist, wartet der Teilnehmer, der auch senden möchte. Sobald das Medium wieder frei ist, sendet er seine Daten. Falls zwei Teilnehmer zur selben Zeit senden wollen, kommt es zur Kollision und Daten gehen verloren. In diesem Fall wird die Kollision jedoch erkannt und das Senden beider Teilnehmer sofort abgebrochen. Nach der Kollision warten beide Teilnehmer eine jeweils unterschiedliche Zufallszeit ab. Diese Zeit ist für jeden Teilnehmer im Netzwerk anders. Nach dieser Zeit versuchen die Teilnehmer jeweils wieder zu senden. Sendeprozesse werden so lange wiederholt, bis sie erfolgreich waren oder abgebrochen wurden. [vgl. 23; S. 27–28]

PROFINET IO unterstützt verschiedenste Netzwerktopologien. Da für die Förderanlage hauptsächlich PROFINET IO zum Einsatz kommt, werden anschließend die möglichen Netzwerktopologien verglichen und eine Auswahl getroffen.

5.2. Netzwerktopologien

Jedes PROFINET-Netzwerk ist als eine räumliche Struktur der Übertragungsmedien aufgebaut. Diese Struktur wird Netzwerktopologie genannt. Je nachdem welche Topologie ein Netzwerk besitzt, hat dies Auswirkungen auf dessen Fähigkeiten. Prinzipiell gibt es drei Grundtopologien, auf denen alle anderen Netzwerkentwürfe basieren. Diese drei Grundtopologien sind der Stern, die Linie und der Ring. Außerdem gibt es den Baum als Sonderform und noch weitere Mischformen. In der Realität werden meistens diese Mischformen eingesetzt, um die Netzwerktopologie zu optimieren. Im Folgenden werden die existierenden Netzwerktopologien kurz vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile benannt. [vgl. 23; S. 401]

Sterntopologie

Die Sterntopologie ist eine der am häufigsten eingesetzten Netzformen, denn durch den Anschluss mehrerer Kommunikationsteilnehmer an einen Switch entsteht automatisch eine sternförmige Netzwerktopologie. Grundsätzlich handelt es sich bei dieser Topologie um eine sternförmige Anordnung mit Einzelverbindungen zwischen den Teilnehmern. Die Teilnehmer sind um einen zentralen Verteiler angeordnet. Meist wird die Funktion des zentralen Verteilers durch einen Switch ausgeführt. In Abbildung 21 wird ein beispielhafter Aufbau für eine Sterntopologie dargestellt. [vgl. 23; S. 402]

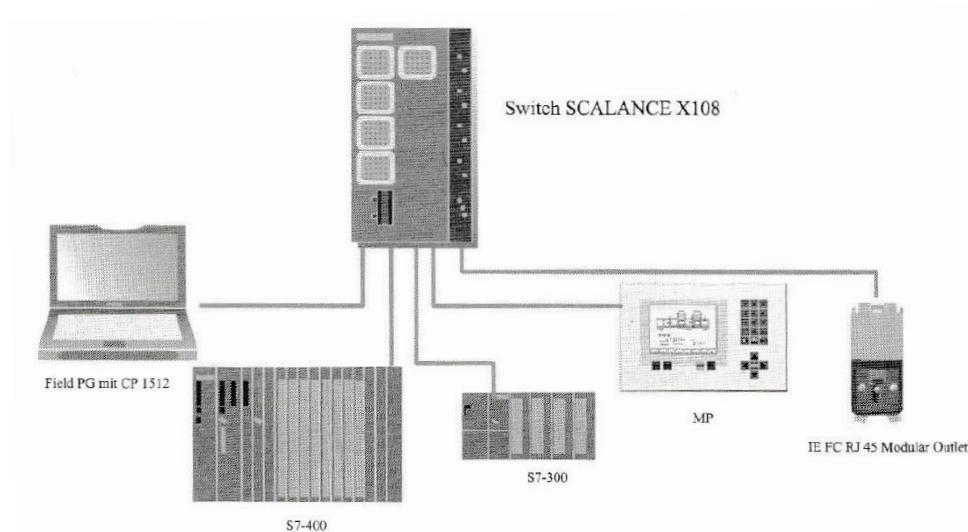


Abbildung 21: Beispielaufbau Sternstruktur [23; S. 403]

Die Sterntopologie bietet den großen Vorteil, dass bei Ausfall eines einzelnen PROFINET-Gerätes im Netz die Kommunikation der anderen Teilnehmer weiterhin bestehen bleibt. Nur falls der zentrale Verbinder ausfällt, kommt es zum Ausfall des gesamten Kommunikationsnetzes. Außerdem ist diese Topologie sehr leicht um neue Netzteilnehmer erweiterbar, weil sie lediglich an Switch angeschlossen werden müssen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Teilnehmer jeweils nur eine PROFINET-Schnittstelle benötigen, da nur eine Verbindung zum zentralen Verteiler realisiert werden muss. Die Sterntopologie kann am besten in kleineren Produktionsmaschinen eingesetzt werden. Bei größeren weitläufigeren oder verteilten Anlagen würde sich der Verkabelungsaufwand schnell stark erhöhen. [23; S. 402–403]

Baumtopologie

Die Baumtopologie ist eine Sonderform der Sterntopologie. Sie ist eine Verbindung mehrerer Sternnetzwerke zu einem größeren Gesamtnetzwerk. Meist werden funktional zusammenhängende Anlagenteile dafür in den jeweiligen zentralen Verteilern zu Sternpunkten zusammengeführt. Die Sternpunkt Switches sind untereinander über benachbarte Switches vernetzt. Diese Switches haben dabei die Funktion eines Signalverteilers. In Abbildung 22 wird ein beispielhafter Aufbau einer Baumtopologie dargestellt. [vgl. 23; S. 403]

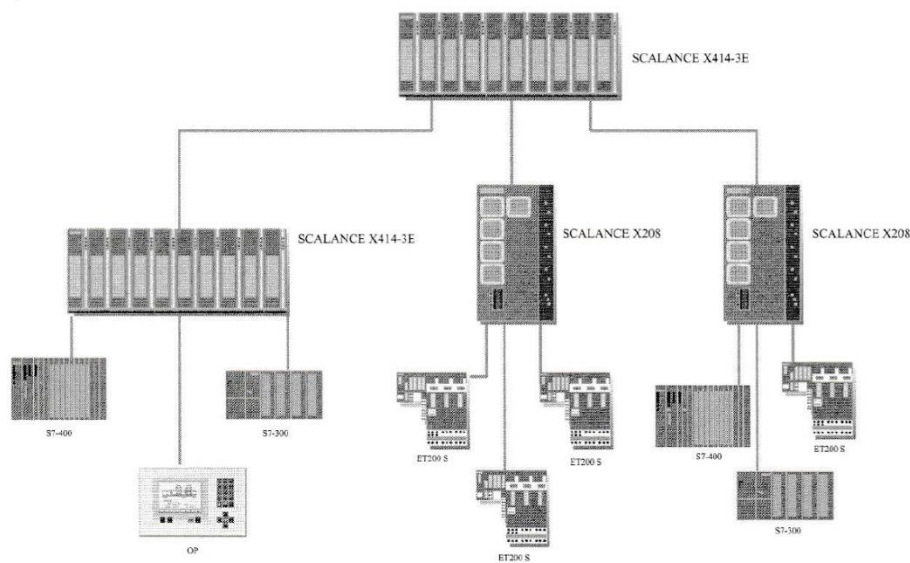


Abbildung 22: Beispielaufbau Baumstruktur [23; S.°403]

Aufgrund des Aufbaus und da Switches adressorientiert arbeiten wird der Datenverkehr besser gemanagt. Der lokale Datenverkehr wird nur über den Sternpunktverteiler ausgetauscht. Nur Daten, die in anderen Sternpunkten benötigt werden, werden auch über die benachbarten übergeordneten Verteiler weitergeleitet. Dadurch erhöht sich die Übertragungskapazität des Netzwerkes. Allgemein wird die Übersichtlichkeit einer Anlage mit Baumstruktur auch stark erhöht, weil die Anlagen- und Kommunikationsstruktur besser aufgegliedert wird. Außerdem hat die Baumstruktur auch alle Vorteile der Sternstruktur. Jedoch besteht das Risiko, dass mit Ausfall eines Switches nicht nur das Netzwerk des Sternpunktes, sondern sogar der ganzen Anlagenkommunikation droht, wenn ein übergeordneter Switch ausfällt. [vgl. 23; S. 404]

Linientopologie

In dieser Netzwerktopologie werden alle Kommunikationsteilnehmer in einer Linie miteinander verbunden. Jeder Teilnehmer wird nur mit seinen beiden direkten Nachbarn verbunden. Bei PROFINET wird eine Linienstruktur durch den Einsatz von Switches realisiert. Deshalb gilt diese Struktur bei PROFINET als Sonderform der baumförmigen/sternförmigen Struktur. Die Switches können zusätzliche Betriebsmittel sein, wie in dem Beispiel was in Abbildung 23 dargestellt ist, eingebaut werden. Oder die Struktur wird über Switches realisiert, die in den PROFINET-Geräten direkt eingebaut sind. Dafür benötigen die Geräte jedoch mindesten zwei PROFINET-Schnittstellen. [vgl. 23; S. 404–405]

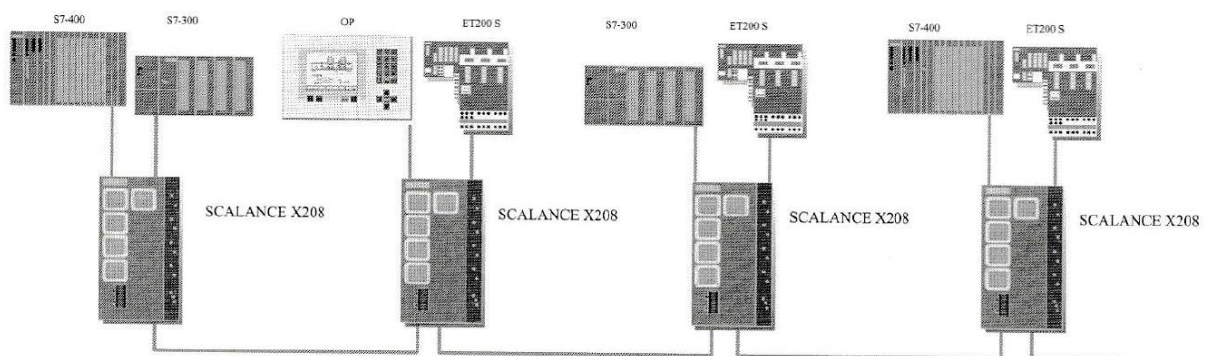


Abbildung 23: Beispielaufbau Linienstruktur [23; S. 405]

Eine Linienstruktur kommt bevorzugt bei weitläufigen Anlagen wie z.B. Fördersystemen, zum Einsatz. Bei solchen weitläufigen Anlagen ist mit dieser Struktur die einfachste und kostenoptimierteste Verkabelung möglich. Es werden aufgrund von in Geräten integrierten Switches keine zusätzlichen Betriebsmittel benötigt. Das trägt auch zur Kostenreduzierung bei. Nachteilig wirkt sich eine Linienstruktur bei der Unterbrechung der Linie aus. Wenn dieser Fall eintritt, kommt es an der Unterbrechungsstelle zur Aufteilung der Linie in zwei funktionsfähige Segmente, die nicht miteinander kommunizieren können. Sollten Betriebsmittel in einem der Segmente Daten von Betriebsmitteln, wie der CPU, im anderen Segment benötigen, können sie diese nicht erhalten. Es kommt zum Verlust der Funktionalität des Segmentes. So können schnell der betroffene Anlagenteil oder die gesamte Anlage ausfallen. Außerdem müssen Daten beim Durchlauf der Linie jeden Switch durchlaufen, wodurch es zu Verzögerungszeiten kommen kann. Daher sollte die Linienstruktur nicht für zeitkritische Systeme benutzt werden oder es müssen Komponenten mit geringer Durchlaufzeit ausgewählt werden. Weiterhin ist die Erweiterung der Linienstruktur ohne einen Umbau nur an den beiden Enden der Linie möglich. [vgl. 23; S. 405]

Ringtopologie

Die Ringstruktur ist eine Erweiterung der Linienstruktur. Jeder Netzwerkteilnehmer hat auch hier zwei Nachbarn, mit denen er verbunden ist, einen Vorgänger und einen Nachfolger. Jedoch besitzt diese Struktur keine Enden wie die Linie. Es besteht eine zusätzliche Verbindung zwischen den Enden also dem letzten Teilnehmer und dem ersten Netzwerkteilnehmer. Somit sind alle Teilnehmer über ein ringförmig verlaufendes Kabel miteinander verbunden. Die Informationen werden in einer festgelegten Richtung von Knoten zu Knoten übertragen. Außerdem muss ein Mechanismus dafür sorgen, dass die Ringstruktur logisch als Linie angesehen wird. Gesteuert wird der Mechanismus von einem Redundanzmanager. Der Redundanzmanager wird als logische Unterbrechungsstelle gesehen, die wie bei der Linie das Ende der Struktur darstellt. Diese Unterbrechungsstelle wird nur geschlossen, wenn es an einer anderen Stelle zum Leitungsbruch oder Geräteausfall kommt. [vgl. 23; S. 406]

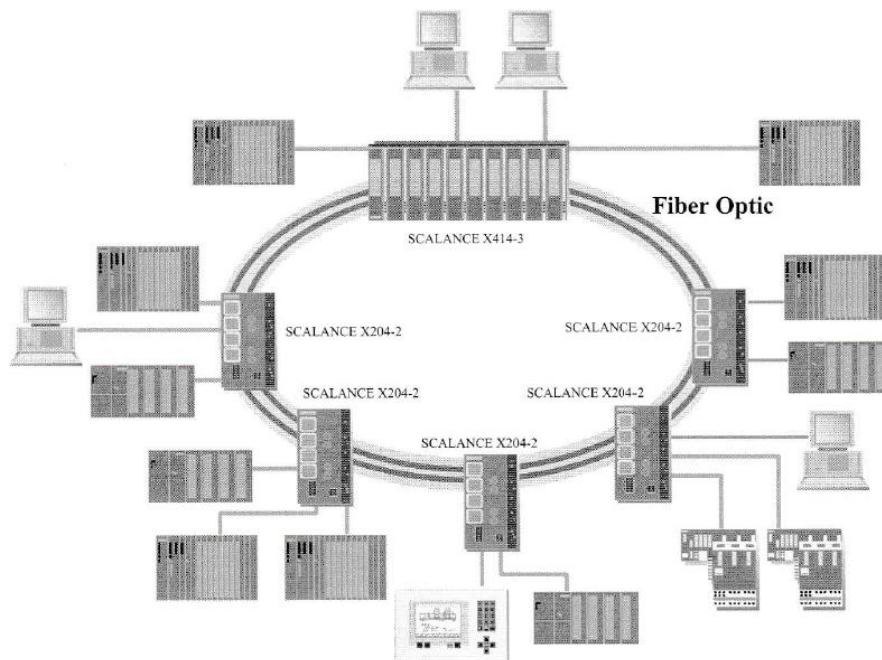


Abbildung 24: Beispielaufbau Ringstruktur [23; S. 406]

Die Ringtopologie wird besonders bei Anlagen eingesetzt, welche eine erhöhte Anlagenverfügbarkeit als Anforderung stellen. Denn durch das beschriebene System mit der Verschiebung der Unterbrechungsstelle, bietet der Ring die höchste Ausfallsicherheit bei Leitungsbruch oder Ausfall von Netzwerkteilnehmern. Der Ring bietet ebenso alle Vorteile der Linienstruktur, besonders die kostengünstige Verkabelung. Jedoch muss ein zusätzlicher Redundanzmanager eingesetzt. Und die Netzwerkteilnehmer müssen auch hier mindestens zwei Schnittstellen besitzen. Eine einfache Erweiterbarkeit ist nicht gegeben, da der Ring geschlossen ist. [vgl. 23; S. 406–407]

5.3. Auswahl passendes Kommunikationskonzept

Das finale Kommunikationskonzept der Förderanlage beinhaltet beide in Kapitel 5.1. beschriebenen Feldbussysteme, PROFIBUS-DP und PROFINET-IO. Nun erfolgt die Auswahl der Netzwerktopologie, die am besten für diese Anlage geeignet ist.

Im Vordergrund für die Auswahl steht wieder die Wirtschaftlichkeit der Anlage, somit wird auf möglichst geringe Anschaffungskosten geachtet. Obwohl also die Ringtopologie die meisten Vorteile in sich vereint, wie z.B. die höchste Ausfallsicherheit, wird sich gegen diese Variante entschieden, da zusätzlich Redundanzmanager in Form von managed Switches verbaut werden müssen. Diese Switches mit Sonderfunktion verursachen unnötige Mehrkosten. Außerdem ist die Erweiterung einer Anlage mit Ringtopologie schwieriger als in anderen Topologien. Zudem müssten für die Ringtopologie die Betriebsmittel alle zwei PROFINET-Schnittstellen besitzen. Das ist bei der ausgewählten CPU der S7-1200 Baureihe nicht der Fall.

Für die neue Anlage wird daher auf eine Mischform aus Stern- und Linientopologie zurückgegriffen. Alle Kommunikationsteilnehmer im Schaltschrank, also die CPU und das HMI-Panel können in einer Sternstruktur über einen Switch verbunden werden. So reicht der eine PROFINET-Port der 1200 CPU aus. Ein weiterer Punkt, der für die Sternstruktur an dieser Stelle spricht, ist die einfachste Erweiterbarkeit von allen Topologien. Es können jederzeit neue Teilnehmer mit nur einem Kabel am Switch angeschlossen werden und so im Netzwerk eingebunden werden. Um die geplante Erweiterbarkeit zu garantieren, wird ein Switch mit mehr PROFINET-Ports als aktuell benötigt ausgewählt. Weiterhin hat dieser Aufbau den Vorteil das z.B. beim Ausfall des HMI-Panels, welches nur zur Visualisierung benötigt wird, nicht die Kommunikation im gesamten Netz zusammenbricht. Sollte der Switch ausfallen und die Kommunikation aller Betriebsmittel ausfallen, stellt dies kein gravierendes Problem dar, weil Switches ein Standardersatzteil sind, welches beim Kunden auf Lager ist und schnell ausgetauscht werden kann.

Ab dem Switch wird zur Verbindung der Antriebe in eine Linienstruktur übergegangen, da diese sehr weitläufig in der Halle verteilt sind. Durch diese Ausführung werden am meisten Verkabelungskosten eingespart. Außerdem besteht kein Problem bei der Fehlersuche, da ab einem Leitungsbruch oder Geräteausfall alle nachfolgenden Antriebe nicht mehr arbeiten würden und somit die Fehlerstelle schnell gefunden werden kann. Auch hier können neue Antriebe einfach durch Anschluss am Ende der Linie erweitert werden. Die Abbildung 25 stellt die reale Netzwerktopologie der Anlage dar.

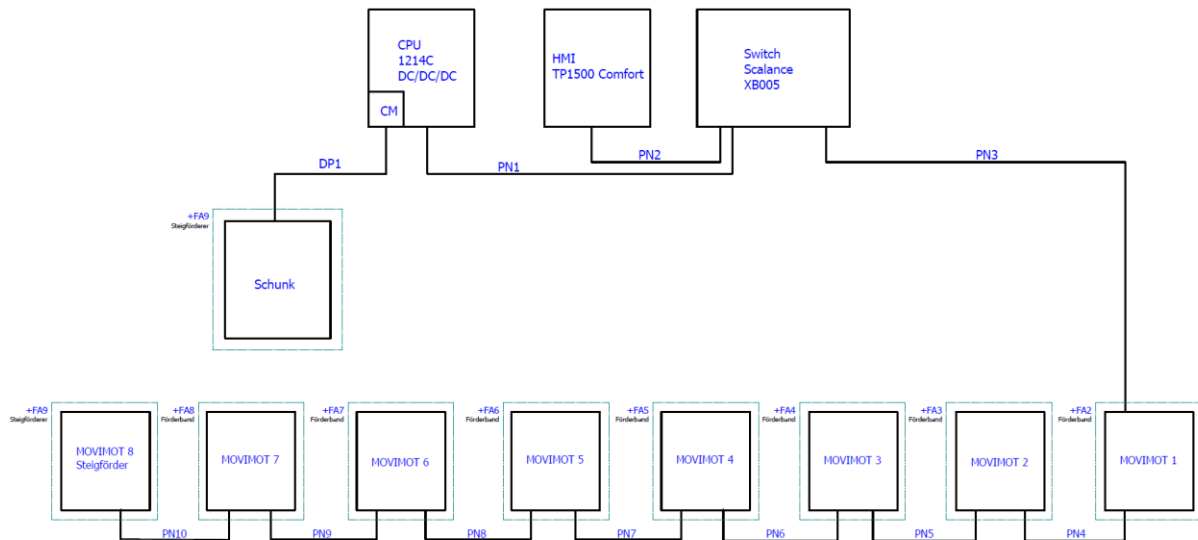


Abbildung 25: Netzwerktopologie Förderanlage [10]

Zur Umsetzung des ausgewählten Kommunikationskonzeptes werden noch einige Betriebsmittel benötigt. Zum ersten müssen die Leitungen ausgewählt werden, um die PROFINET Teilnehmer miteinander zu verbinden und es muss die PROFIBUS-DP Leitung ausgewählt werden. Außerdem wird noch der Switch für die Realisierung der Sternstruktur benötigt.

Als PROFINET Leitung wird der Standardkabeltyp für diese Anwendung ausgewählt, da keine besonderen Ansprüche an das Kabel gestellt werden. Besondere Ansprüche wären z.B. bei ständiger Bewegung gegeben. Die Auswahl fällt auf die Industrial Ethernet FC TP flexible Installationsleitung, GP 2x2, für PROFINET Typ B vom Hersteller SIEMENS. Diese ist unter der Artikelnummer 6XV1870-2B zu finden. Damit werden alle Netzwerkteilnehmer verbunden.

Ebenso wird die Standard PROFIBUS-DP Leitung für den Anschluss der Schwenkeinrichtung bestimmt. Diese hat die Bezeichnung PROFIBUS FC Standard Cable GP. Diese wird ebenfalls beim Hersteller SIEMENS bestellt und hat die Artikelnummer 6XV1830-0EH10.

Zuletzt muss der Switch ausgewählt werden. Es wird ein Standardswitch benötigt. Dieser wird bei SIEMENS unter der Produktbezeichnung unmanaged Industrial Ethernet Switch geführt. Benötigt werden für die Sterntopologie drei PROFINET-Ports. Es wird der Switch mit der nächstgrößeren Anzahl an Ports ausgewählt. Dieser Switch ist der SCALANCE XB005. Er hat fünf PROFINET-Ports und damit noch zwei freie Ports als Reserve, die eine Erweiterbarkeit der Anlage garantieren. Der SCALANCE XB005 vom Hersteller SIEMENS hat die Artikelnummer 6GK5005-0BA00-1AB2.

6. Weitere Betrachtungen zu Betriebsmitteln

6.1. Schaltschrank

Als Hauptschaltschrank soll ein Produkt des Unternehmens Rittal ausgewählt werden. In der Altanlage befinden sich die wenigen Steuerschütze in einem Schaltschrank, welcher an der Wand montiert ist. Nach dem Rückbau der Altanlage wird dieser Ort wieder frei zur Verfügung stehen. Darum soll der neue Schaltschrank wieder dort platziert werden. Entsprechend dem Kundenwunsch wird auch wieder ein Modell zur Montage an der Wand ausgewählt.

Unter Berücksichtigung der räumlichen Anforderungen im Schaltschrank, die durch die Analyse der einzubauenden Betriebsmittel ermittelt wurden, erfolgt die Auswahl des entsprechenden Modells. Das Modell gehört zur Produktfamilie der Kompakt-Schaltschränke AX und hat die Artikelnummer 1181000. Er hat folgende Bemaßungen: 800x1000x400 mm. Als Faustregel bei der Auswahl eines Schaltschranks gilt, dass mindestens 20% Freiraum im inneren bestehen bleiben, nachdem alle Betriebsmittel montiert wurden. Für diese Anlage wurde extra ein größeres Modell als benötigt ausgewählt, da auf die gewünschte zukünftige Erweiterbarkeit geachtet wurde.

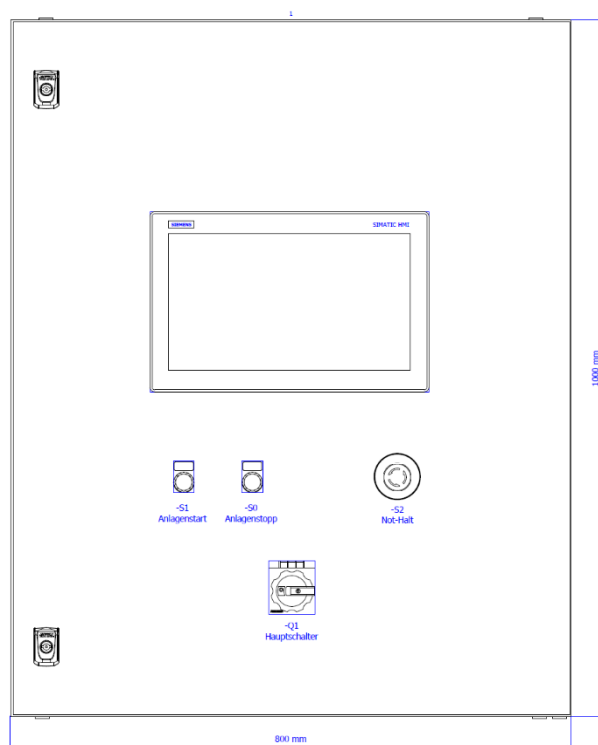


Abbildung 26: Schaltschrankfrontansicht [10]

An der Schaltschrankfront befinden sich leicht zugänglich der Not-Halt und der Hauptschalter der Anlage. Außerdem befinden sich hier die Drucktaster, um die Anlage zu

starten oder zu stoppen und ein HMI-Panel vom Hersteller SIEMENS auf dem eine Visualisierung zum Anlagenprozess vorhanden sein soll.

Nach der Auswahl des Schaltschranks muss noch sichergestellt werden, dass die Wärmeabführung im Schaltschrank groß genug ist. Denn alle Betriebsmittel im Schaltschrank wandeln in irgendeiner Form Energie um. Dieser Prozess kann nicht ohne Verluste ablaufen. Jedes Betriebsmittel hat also eine gewisse Verlustleistung. Diese Verluste werden meist in Form von Wärmeenergie abgegeben. Dadurch kommt es zur Erhöhung der Temperatur innerhalb des Schaltschranks, was zur Verringerung der Zuverlässigkeit oder im schlimmsten Fall zum Komplettausfall der Anlage führen kann. [vgl. 3; S. 60]

Um diese Temperaturerhöhung zu verhindern, können diverse Klimatisierungsgerät im Schaltschrank verbaut werden. Beispiele dafür sind z.B. ein Filterlüfter, ein Luft-Luft-Wärmetauscher oder sogar ein Kühlgerät. Um festzustellen, ob die Wärmeabführung ausreichend ist oder nicht, wurde die frei erhältliche Software Therm 6.6 vom Unternehmen Rittal benutzt. In diesem Programm wählt man zuerst seinen bevorzugten Schaltschrank aus und trägt dann entweder die im Schaltschrank verbauten Betriebsmittel ein oder nur deren Verlustleistungen. Nach Anwendung des Programmes hat sich ergeben, dass die Eigenkonvektion des Schaltschranks groß genug ist. Er führt bereits selbst so viel Wärme ab, dass kein zusätzliches Gerät zur Klimatisierung verwendet werden muss. Das liegt zum einen an der dezentralen Anordnung der Anlage, wodurch nur wenige Betriebsmittel im Schaltschrank sind. Es kann nicht so viel Verlustwärme erzeugt werden. Zum anderen ist die Umgebungstemperatur in der Halle relativ gering, wodurch ständig Wärme an die Umgebungsluft abgegeben werden kann. [vgl. 3; S. 63–66]

In Abbildung 27 ist die Montageplatte des Schaltschranks abgebildet. Auf ihr werden sämtliche Betriebsmittel angeordnet und montiert. Die Anordnung der Betriebsmittel erfolgt jedoch nicht zufällig. Das Schaltschranklayout wird gezielt erstellt. Dafür werden zuerst die Kabelkanäle platziert. Diese unterteilen den Schaltschrank in vier Ebenen. Auf der obersten Ebene werden alle Verbraucher untergebracht. Dabei handelt es sich um Betriebsmittel mit 24V Versorgungsspannung wie die CPU und ihre Erweiterungsmodule. Diese sind ganz oben, weil sie die höchste Verlustleistung besitzen und damit die meiste Wärme abgeben. Wärme steigt immer nach oben, deshalb werden darunter liegende Betriebsmittel nicht unnötig mit erwärmt, solange die Wärmeabfuhr des Schaltschranks groß genug ist. Auf der nächsten Ebene folgen alle Betriebsmittel, die zur Absicherung der Anlage beitragen. Darunter zählen für diese Anlage der Motorschutzschalter für die Antriebe, die Leitungsschutzschalter und das PNOZ. In der dritten Ebene werden Schaltgeräte wie das Schütz -K0 angeordnet. Wenn die Umrichter nicht dezentral ausgelagert wären, würden sie sich auch auf dieser Ebene befinden.

Zusätzlich befinden sich hier noch die Klemmen der 24V Verteilung. Auf der untersten Ebene sind alle Klemmen der 230V Verteilung angeordnet. Da sich unten am Schaltschrank die Öffnung für die Zuführung der Kabel befindet, sind diese hier perfekt platziert.

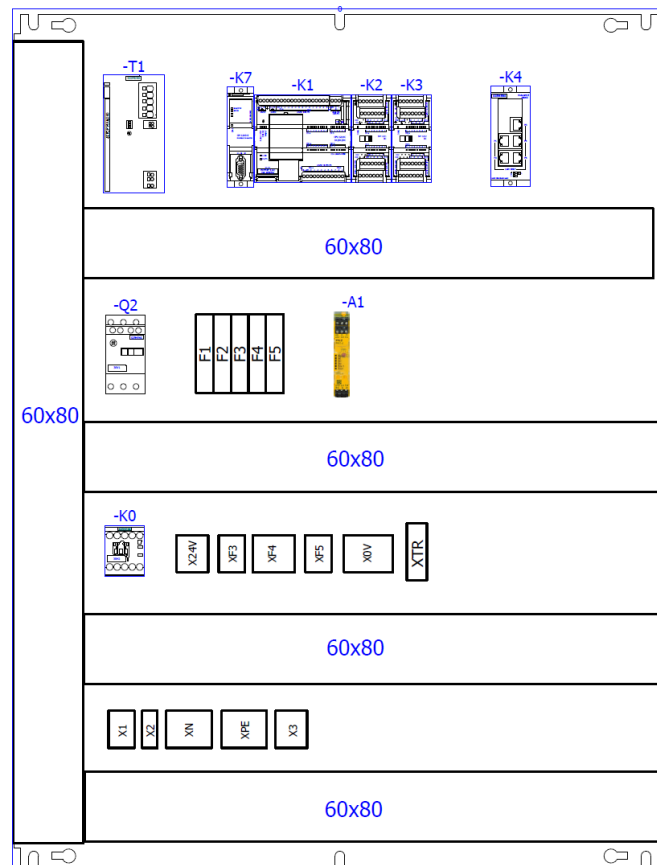


Abbildung 27: Schaltschranklayout [10]

6.2. Absicherung der Stromkreise

Sobald ein Leiter mit Strom durchflossen wird, erwärmt er sich. Die unkontrollierte Erwärmung von Leitern durch unzulässige Ströme ist ein Brandrisiko. Um die Gefahr eines Brandes in der elektrischen Anlage zu vermeiden, müssen hohe Ströme rechtzeitig ausgeschaltet werden. Verursacht werden hohe Ströme durch Überlastung oder Kurzschluss. Mit dem Einbau einer Überstromschutzeinrichtung können unzulässig hohe Erwärmungen verhindert werden und die Sicherheit der Anlage erhöht werden. Zu diesen Überstromschutzeinrichtungen zählen z.B. Schmelzsicherungen, elektronische Sicherungen, Leitungsschutzschalter und Motorschutzschalter. [vgl.14; S. 312]

In der Förderanlage werden die Leitungen mit Leitungsschutzschaltern abgesichert. Diese können einzelne Verbraucher oder ganz Anlagenteile selbstständig vom Netz trennen. Der Vorteil des Leitungsschutzschalters besteht darin, dass er sowohl einen thermischen Auslöser besitzt, um einen Überlastschutz zu realisieren, als auch einen elektromagnetischen Auslöser, um den Kurzschlusschutz zu gewährleisten. Der thermische Auslöser besteht meist aus einem Bimetallstreifen. Dieser krümmt sich bei Erwärmung über längere Zeit. Legt er einen bestimmt großen Krümmungsweg zurück, werden Steuerkontakte betätigt und der Leitungsschutzschalter löst aus. Dieser thermische Auslöser unterbricht den Stromkreis also verzögert und schaltet somit nur bei Überlast, nicht aber bei Kurzschluss, ab. Der elektromagnetische Auslöser ist dagegen ein Schnellauslöser. Fließt ein genügend großer Strom, so wird ein Schlaganker angezogen und der Leitungsschutzschalter schaltet ab. Dieses unverzügerte Abschalten schützt gegen Kurzschluss. [vgl. 14; S. 315]

Es gibt verschiedene Typen von Leitungsschutzschaltern. Man unterscheidet Typ B, Typ C und Typ D. Diese Typen schalten bei unterschiedlichen Bemessungsströmen ab. Es gilt: Typ B löst bei 3- bis 5-fachen Bemessungsstrom aus, Typ C beim 5- bis 10-fachen Bemessungsstrom und Typ D beim 10- bis 20-fachen Bemessungsstrom. In der Industrie werden standardmäßig Typ C Leitungsschutzschalter eingesetzt, weil diese sich zum Schutz von Betriebsmitteln mit hohen Einschaltströmen eignen. Konkret bei dieser Förderanlage sind das beispielsweise die eingesetzten Frequenzumrichter. [vgl. 14; S. 316]

Bei der Auswahl der Leitungsschutzschalter müssen zwei wichtige Kriterien beachtet werden. Das erste Kriterium soll verhindern, dass der Leitungsschutzschalter in einem fehlerfreien Zustand der Anlage auslöst. Deshalb muss gelten, dass der Bemessungsstrom I_N des Leitungsschutzschalters größer oder gleich groß dem Betriebsstrom I_B der sich im Stromkreis befindenden Betriebsmittel sein muss. Das zweite Kriterium setzt voraus, dass der Bemessungsstrom I_N kleiner ist als die zulässige

Strombelastbarkeit I_Z der zu schützenden Leitung. Zusammengefasst ergibt sich die Bedingung: [vgl. 14; S. 321]

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (44)$$

Sobald mehrere Sicherungen in einer Anlage in Reihe geschaltet werden, muss auch die Selektivität beachtet werden. Selektivität ist das gestufte Absichern von Anlagenteilen. Dabei muss beachtet werden, dass nur die Schutzeinrichtung unmittelbar vor der Fehlerquelle auslösen darf. Jegliche davor geschaltete Schutzeinrichtungen müssen so viel größer ausgelegt sein, dass diese nicht auslösen. [vgl. 14; S. 314]

Selektivität kommt bei der Förderanlage z.B. bei der Verteilung der Potenziale zum Einsatz. Hier wurde die Anlage in verschiedene Anlagenteile aufgrund der Funktionen eingeteilt. Jeder funktionale Anlagenteil wird mit einem eigenen Leitungsschutzschalter abgesichert, sodass in einem Fehlerfall nur die Sicherung des betroffenen Anlagenteils ausgelöst wird. Auf Abbildung 28 ist die Anordnung der Klemmen für die Potenzialverteilung mit den jeweiligen Leitungsschutzschaltern aus den Schaltungsunterlagen EPLAN dargestellt.

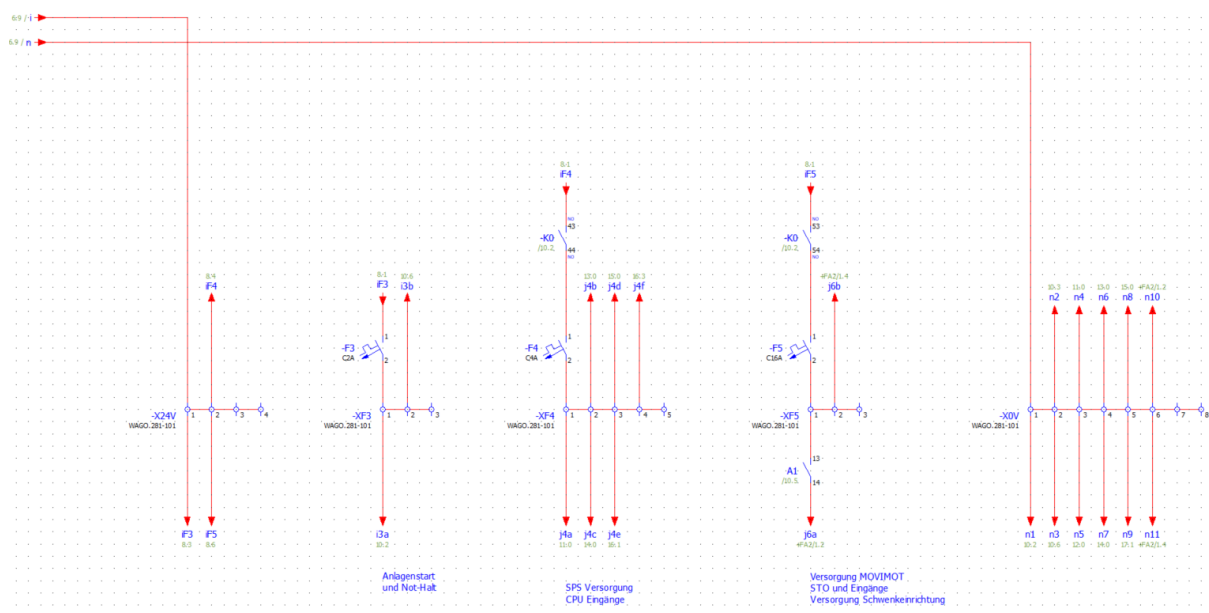


Abbildung 28: Anschlussbild 24V Potenzialverteilung [10]

Anschließend folgt beispielhaft die Auslegung des Leitungsschutzschalter -F3. Dieser liegt vor der Sammelklemme -XF4 und sichert alle Betriebsmittel der Steuerung ab. Als erstes muss der Betriebsstrom I_B aller Betriebsmittel, die von -F3 abgesichert werden, ermittelt werden. Der Betriebsstrom bildet die Summe aus allen Stromaufnahmen der Betriebsmittel im Stromkreis. Die Stromaufnahmen wurden aus den jeweiligen

Datenblättern der Betriebsmittel entnommen. In Tabelle 13 werden die Stromaufnahmen den jeweiligen Betriebsmitteln zugeordnet. [26] [27] [28] [29] [30] [31]

Tabelle 13: Stromaufnahme der Betriebsmittel an XF4

Betriebsmittel	Stromaufnahme
Kommunikationsmodul CM1243-5	0,1A
CPU 1214C DC/DC/DC	1,5A
Digitaleingabe SM 1221	0,1A
Digitalausgabe SM 1222	0,1A
SCALANCE XB005 Switch	0,07A
SIMATIC HMI MTP1500	0,7A

Addiert ergeben diese Werte nun den Betriebsstrom:

$$I_B = 0,1A + 1,5A + 0,1A + 0,1A + 0,07A + 0,7A \quad (45)$$

$$I_B = 2,57A$$

Als zweiten Wert benötigt man die zulässige Strombelastbarkeit I_Z der zu schützenden Leitung. Die Strombelastbarkeit kann nach Norm DIN VDE 0298 Teil 4 aus einer sich in dieser Norm befindlichen Tabelle entnommen werden. Dabei gilt der Nennquerschnitt der Ader, die Anzahl der belasteten Adern und die Verlegeart zu beachten. In diesem konkreten Fall wird eine Einzelader vom Querschnitt $2,5\text{mm}^2$ verwendet. Sie ist innerhalb des Schaltschranks in Elektroinstallationskanälen verlegt. Daher gilt die Verlegeart B1. Der Tabelle kann ein Bemessungswert I_R der Strombelastbarkeit entnommen werden. Dieser beträgt: [vgl. 14; S. 653]

$$I_R = 24A$$

Aus dem Bemessungswert I_R lässt sich über die folgende Formel (46) die Strombelastung I_Z bei abweichenden Betriebsbedingungen berechnen:

$$I_Z = I_R \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (46)$$

Da der reale Wert der Strombelastbarkeit von dem Bemessungswert der Norm abweichen kann, müssen die drei Faktoren aus der Formel (46) berücksichtigt werden. f_1 ändert sich, wenn die Umgebungstemperatur von 30 Grad Celsius abweicht. Wie im Kapitel 6.1. beschrieben, wird jedoch im Schaltschrank meistens eine Temperatur von 30 Grad herrschen, da dieser nur auf natürliche Luftzirkulation baut und kein

zusätzliches Klimatisierungsgerät verwendet wird. Damit bleibt dieser Faktor 1. Faktor f_2 ändert sich mit der Häufung von Kabeln oder Leitungen. Das tritt hier nicht auf, da es sich um eine Einzelader handelt. Das heißt auch dieser Faktor bleibt 1. Der letzte Faktor f_3 weicht von 1 ab, wenn mehr Adern im Kabel belastet sind. Auch hier bleibt der Faktor 1, da es sich um eine Einzelader handelt. Es ergibt sich also mit diesen Werten aus Formel (46): [vgl. 14; 320,653]

$$I_Z = 24A \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$I_Z = 24A$$

Die zulässige Strombelastung entspricht also exakt dem Bemessungswert aus der Normtabelle. Nun können die ermittelten Werte in die Bedingung (44) eingesetzt werden.

$$I_B \leq I_N \leq I_Z$$

$$2,57A \leq I_N \leq 24A$$

Es kann nun ein Leitungsschutzschalter mit Bemessungsstromwert zwischen 2,57A und 24A ausgewählt werden. Es wird der Leitungsschutzschalter mit dem nächstgrößeren Bemessungsstrom zu 2,57A ausgewählt. Der Leitungsschutzschalter wird mit einem Bemessungsstrom von 4A ausgelegt und erfüllt damit die geforderte Bedingung. Das bedeutet der Stromkreis nach -F4 ist ausreichend abgesichert.

Die übrigen Leitungsschutzschalter der Anlage werden nach dem gleichen Prinzip ausgewählt, jedoch mit den für ihren abzusichernden Stromkreis passenden Werten. Die exakten Einzelberechnungen werden in dieser Arbeit nicht durchgeführt, da es zu viel Umfang einnehmen würde. In Tabelle 14 werden jedoch die ausgewählten Betriebsmittel dargestellt.

Tabelle 14: Auswahl Leitungsschutzschalter

BMK	Betriebsmittel	Charakteristik
-F1	LSS 5SJ4116-7HG40	C16A
-F2	LSS 5SJ4102-7HG40	C2A
-F3	LSS 5SJ4102-7HG40	C2A
-F4	LSS 5SJ4104-7HG40	C4A
-F5	LSS 5SJ4116-7HG40	C16A

7. Dokumentation in EPLAN P8

7.1. Referenzkennzeichnung

Die Kennzeichnung aller Betriebsmittel hat das Ziel, die Identifizierung der jeweiligen Geräte, Baugruppen oder Anlagenteilen zu erleichtern. Dafür wird ein übergreifendes System verwendet, das fachübergreifend verwendet werden kann, sowohl für Dokumentation, Planung, Installation, Instandhaltung und Inbetriebnahme. Dieses benötigte Kennzeichnungssystem heißt Referenzkennzeichnung. Prinzipiell müssen alle elektronischen Komponenten, alle Gehäuse, alle Steuergeräte und restliche Komponenten benannt werden. Zur Benennung aller Betriebsmittel werden verschiedene Aspekte verwendet. Zu ihrer Unterscheidung werden Vorzeichen verwendet, damit klargestellt wird, welche Informationen das Kennzeichen enthält. Den Vorzeichen folgt dann ein alphanummerischer Code. Somit kann eine eindeutige Zuordnung aller Betriebsmittel sichergestellt werden. Die verschiedenen Aspekte werden mit ihren Vorzeichen in Tabelle 15 dargestellt. Der volle Umfang der Referenzkennzeichnung kann in der Norm DIN EN 81346 nachgelesen werden. [vgl. 3; S. 86–87] [vgl. 6; S. 419–420]

Tabelle 15: Aspekte der Referenzkennzeichnung [3; S. 88]

Vorzeichen	Aspekt
=	Funktionsaspekt
+	Ortsaspekt
–	Produktraspekt
:	Anschluss

Wie aus Tabelle 15 zu entnehmen ist, gibt es vier verschiedene Aspekte der Referenzkennzeichnung. Der Funktionsaspekt beschreibt die Aufgabe des gekennzeichneten Objekts. Er wird auch Anlagenkennzeichen genannt. Mit ihm werden verschiedene Anlagenteile aufgrund ihrer Funktion aufgeteilt. Der Ortsaspekt oder auch das Ortskennzeichen beschreibt, wo sich das jeweilige Objekt befindet. Der Produktraspekt kennzeichnet, welches Betriebsmittel eingesetzt wird oder wie dieses zusammengesetzt ist. Er wird auch Betriebsmittelkennzeichnung genannt. Mit dem Anschlussaspekt wird festgelegt, an welchen Anschluss des jeweiligen Betriebsmittel etwas angeschlossen werden soll. [vgl. 3; S. 88] [vgl. 6; S. 420]

Referenzkennzeichnung dieser Förderanlage

Die Referenzkennzeichnung soll hier beispielhaft für den Hauptschalter der Anlage ausgeführt werden, um die verschiedenen Aspekte für diese spezifische Anlage näher zu erläutern. Für andere Betriebsmittel wurde entsprechend vorgegangen.

Als erstes muss der Funktionsaspekt für den Hauptschalter festgelegt werden. Der Funktionsaspekt entspricht für diese Anlage bei allen Betriebsmitteln der vergebenen Anlagenbezeichnung. Es wurden keine weiteren verschiedenen Funktionen definiert. Die Anlage nennt sich Förderanlage und wird damit als FA abgekürzt. Dies ist der erste und einzige Funktionsaspekt in diesem Projekt, deswegen trägt er die Nummer 1. Zur Unterscheidung der Aspekte wird das Vorzeichen = ergänzt. Entsprechend dieser Festlegungen ist der Funktionsaspekt des Hauptschalters: **=1FA**

Als nächstes muss dem Hauptschalter der Ortsaspekt zugeordnet werden. Dafür muss betrachtet werden an welchem Ort er sich befindet. Für diese Anlage wurden verschiedene Orte definiert und damit verschiedene Ortskennzeichnungen festgelegt. Diese Ortskennzeichnungen sind:

- +FA1 Hauptschaltschrank
- +FA2 Förderband 1
- +FA3 Förderband 2
- +FA4 Förderband 3
- +FA5 Förderband 4
- +FA6 Förderband 5
- +FA7 Förderband 6
- +FA8 Förderband 7
- +FA9 Steigförderer
- +SA1 Signalampel

Der Hauptschalter befindet sich am Hauptschaltschrank und erhält somit den Ortsaspekt: **+FA1**

Für den Produktaspekt wird dem Vorzeichen ein Kennbuchstabe nachgestellt. Dieser Kennbuchstabe ist einer Tabelle in der Norm DIN EN 81346-2 zu entnehmen. Die Kennbuchstaben werden nach Zweck oder Aufgabe des jeweiligen Betriebsmittels vergeben. Bei einem Hauptschalter handelt es sich um ein Betriebsmittel zum kontrollierten Schalten eines Energieflusses. Damit erhält er den Kennbuchstaben Q. Außerdem ist er das erste eingesetzte Betriebsmittel mit dieser Aufgabe. Folgerichtig lautet die Betriebsmittelkennzeichnung: **-Q1** [vgl. 3; S. 89–90]

Die vollständige Referenzkennzeichnung unter Beachtung aller Aspekte für den Hauptschalter lautet: **=1FA+FA1-Q1**

7.2. Leiterfarben

Es gibt keine konkrete Vorgabe zur Vergabe von Leiterfarben. Lediglich in der Norm Din EN 60204 wird eine Empfehlung für eine Farbcodierung von Leitern geliefert. Demnach sollen Hauptstromkreise schwarz sein, AC Steuerstromkreise rot, DC Steuerstromkreise blau und ausgenommene Stromkreise orange. Weiterhin müssen Schutzleiter grün-gelb und der Neutralleiter hellblau ausgeführt sein. Im Unternehmen SMA hat sich jedoch aufgrund enger Zusammenarbeit mit dem Autohersteller VW ein anderer Standard für die Farbkennzeichnung der Leiter entwickelt. Diese Farbcodierung wird in Tabelle 16 dargestellt und für dieses Projekt angewendet. [vgl. 6; S. 194] [vgl. 32]

Tabelle 16: Legende Leiterfarben

Bezeichnung	Potenzial	Leiterfarbe
Hauptstromkreis	L1 L2 L3	schwarz
Neutralleiter	N	hellblau
Schutzleiter	PE	grüngelb
Steuerstromkreis DC	24V DC	dunkelblau
Steuerstromkreis DC	0V DC	blau/weiß
Analoge Messung		weiß
Externe Spannung vor dem Hauptschalter		orange

Die Verwendung verschiedener Leiterfarben ermöglicht vor allem die Unterscheidung verschiedener Potenziale auf den ersten Blick, sofern man mit der Farbcodierung vertraut ist. Dies erleichtert nicht nur die Verdrahtung des Schaltschranks, sondern auch spätere Fehlersuchen und -analysen. Besonders wichtig sind hier die orangenen Leitungen. Orange wird als Signalfarbe eingesetzt und signalisiert das permanent eine Spannung von 230V an jedem Leiter anliegt. Hier sollte auf keinen Fall ohne Sicherheitsvorkehrungen gearbeitet werden, ansonsten besteht Lebensgefahr. Im EPLAN sind die Leiter mit den jeweiligen Aderfarben gekennzeichnet. Zusätzlich zu den Aderfarben wird der Querschnitt der Einzelader angegeben.

8. Fazit

8.1. Zusammenfassung

Zusammenfassend war das Ziel dieser Diplomarbeit die Ausarbeitung einer elektrotechnischen Projektierung und Konstruktion eines Papierabfalltransportsystems für eine Kundin der SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH. Bei einem Vor-Ort-Termin wurde der aktuelle Zustand des vorhandenen Maschinen- und Rohrsystems festgestellt und in Bildern festgehalten. Mit der Kundin wurden vorhandene Probleme des alten Systems erörtert und spezielle Anforderungen für das neue System erfragt. Wünsche hinsichtlich der potenziellen möglichen Hersteller und der Hardware konnten aufgenommen werden. Mit diesen Ausgangsdaten fiel die Entscheidung für den Rückbau und damit für den vollständigen Ersatz des alten Systems durch ein modernes Förderbandsystem.

Die vorliegende Arbeit beschreibt zuerst den aktuellen Stand der Technik vor Ort, um danach die Vorgehensweise und die Konstruktionsschritte im Entwurfsprozess zuerst allgemein und sodann auf das Projekt Förderbandanlage bezogen zu betrachten. Danach wurde das mechanische Konzept aufbauend auf vier Förderstrecken genauer vorgestellt. Die Anlage wird unterflur verlaufen. Sie besteht aus 7 Förderbändern, einem Steigförderer, 8 Motoren und 16 Lichtschranken. In den Ausführungen zum **Steuerungskonzept** wird zunächst auf den vorgeschriebenen Schutz mittels NOT-Halt eingegangen sowie die passenden Betriebsmittel dafür wie Kontaktmodule, Halter, Pilzdrucktaster und ein Unterlegschild ausgewählt. Im Anschluss daran geht es aus den Betrachtungen und dem Vergleich zweier Sicherheitskonzepte hervor, dass das Konzept mit Sicherheitsschaltgerät am besten für das Projekt geeignet ist. Das ausgewählte Betriebsmittel kommt vom Hersteller PILZ aus der Produktfamilie PNOZ. Das feststehende Sicherheitskonzept grenzte das nachfolgende Auswahlverfahren für die finale CPU bereits weiter ein. Es kamen zu Beginn 6 Bauformen des Herstellers SIEMENS in Frage. Nach einem ausführlichen Variantenvergleich dieser verschiedenen SPS-Typen und Bauformen sowie in Zusammenarbeit mit dem SIEMENS Supportteam, dem die Anforderungen der neuen Anlage mitgeteilt wurde, konnte die Auswahl weiter auf drei Bauformen eingegrenzt werden. Die abschließende Beurteilung der Funktionen, Analysemöglichkeiten, aber auch der Anschaffungskosten und der Wirtschaftlichkeit führte zur Auswahl der Baureihe S7-1200 und schlussendlich nach Überprüfung der Auslastung zur finalen CPU 1214C DC/DC/DC. Im Anschluss daran folgen die Ausführungen zur zentralen und dezentralen Steuerung und den passenden Peripheriemodulen. Das Peripheriekonzept für die gesamte Anlage wird aufgrund der großen weit auseinanderliegenden Förderstreckenabschnitte dezentral gestaltet sein. Jedoch

erfolgt die zentrale Steuerung im Schaltschrank. Dezentral integrierbare Module machen dies möglich. So wird auch die Antriebstechnik eingebunden. Vorher erfolgte die grundsätzliche Auswahl der Sensorik (Drucktaster, Leuchtdrucktaster, Not-Halttaster) mit festgelegten Betriebsmitteln und der Hinweis auf die Aktorik (Schütz, Motor, Umrichter, Schwenkeinrichtung), die das Steuerungskonzept abrundete. In den Betrachtungen zum **Antriebskonzept** werden die Grundlagen der Antriebstechnik und der allgemeine Aufbau (Motor, Motorgeber, Bremse, Getriebe, Stellgerät) beschrieben. Die Antriebsarten (Gleichstrom, Synchron, Asynchron) und die zugehörigen Motoren werden erläutert und verglichen. Alle Anforderungen erfüllte schlussendlich der Asynchronantrieb mit Frequenzumrichter, sodass die Auswahl des Motors und des Umrichters getroffen werden konnte. Die Wahl fiel auf den Winkel-Getriebeasynchronmotor des Herstellers SEW-EURODRIVE. Es erfolgten umfassende Berechnungen unter Einbeziehung der mechanischen Vorgaben der Anlage hinsichtlich des benötigten Drehmoments, der Drehzahl, des Trägheitsmoments, der statischen mechanischen Leistung und der dynamischen mechanischen Leistung des Motors. Der final ausgewählte Motor WA20/T DRN71M4/DI/DFC/BW1 für die sieben Förderbänder erfüllt die zwei Hauptkriterien, dass das berechnete statische Drehmoment größer sein muss als das dynamische Drehmoment und dass die berechnete Gesamtleistung des Motors kleiner oder gleich der Nennleistung sein muss. Bezüglich des Steigförderer erfolgte eine gesonderte Berechnung, sodass für das achte Förderband der geeignete Motor WA20/T DRN71M4/BE05/DI/DFC ausgewählt werden konnte. Das Antriebskonzept wurde sodann durch die Auswahl des Stellgerätes vervollständigt, um zum **Kommunikationskonzept** übergehen zu können. Über die Erläuterungen der zwei gängigen Feldbussysteme PROFINET und PROFIBUS wurde festgestellt, dass für die Anlage das finale Kommunikationskonzept der Förderanlage beide Feldbussysteme, PROFIBUS-DP und PROFINET-IO, beinhalten wird. Die dazu passende Netzwerktopologie stützt sich auf eine Mischform aus Stern- und Linientopologie, die alle benötigten Vorteile vereint. In den abschließenden Ausführungen zu weiteren Betriebsmitteln wird auf den Schaltschrank eingegangen und die Absicherung der Stromkreise durch Leitungsschutzschalter beschrieben. Die Dokumentation in EPLAN E8 wird schlussendlich über Erläuterungen zur Referenzkennzeichnung und Leiterfarben genauer beschrieben.

8.2. Ausblick

Unter Bezugnahme auf diese Diplomarbeit ist es der SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH möglich, den Auftrag der Stoba-Druck GmbH vollumfänglich zu realisieren. Die aufgezeigten Probleme des alten Systems sind mit der neuen Anlage gelöst. Durch den Einsatz moderner Komponenten und die Automatisierung des Prozesses sinkt der Energieverbrauch. Die Förderbänder laufen nicht im Dauerbetrieb, sondern nur bei Bedarf. Der Geräuschpegel ist minimiert, auch durch die unterflur Installation der Anlage in der Halle. Das manuelle Eingreifen der Mitarbeiter zum Zuführen der Papierreste ist nicht mehr notwendig. Alle Auswahlverfahren der Betriebsmittel sind exakt auf die Förderbandanlage abgestimmt unter Berücksichtigung von gewünschten Herstellern und einfacher Instandhaltung. Besonderes Augenmerk wurde dabei stets in jedem Auswahlverfahren auf den Kostenfaktor bestehend aus Anschaffungs-, Energie- und Instandhaltungs- und Wartungskosten gelegt, weil eine wirtschaftliche rentable Anlage projektiert werden sollte.

Die neue Anlage ist zudem zukunftsorientiert ausgerichtet mit allen Erweiterungsmöglichkeiten hinsichtlich der Kapazität, die die Auftraggeberin ggf. in den Folgejahren plant. Es können bei Anschaffung weiterer Produktionsmaschinen unkompliziert mehr Förderbänder eingebunden werden.

Literaturverzeichnis

- [1] SMA Sächsische Maschinen- und Anlagenbau GmbH. Unternehmensentwicklung; 2023. <https://www.sma-z.de/de/unternehmen/unternehmensentwicklung>. 30.11.2023.
- [2] Mießler M. Eigene Fotografie. 2023.
- [3] Zickert G. Elektrokonstruktion: Gestaltung, Schaltpläne und Engineering mit E-PLAN. 4., aktualisierte Auflage. München: fv Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag; 2015.
- [4] Noffke T, Ullman W. Unternehmensinterne Darstellung.
- [5] Heinrich B, Linke P, Glöckler M. Grundlagen Automatisierung: Sensorik, Regelung, Steuerung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg; 2017. Lehrbuch.
- [6] Rudnik S. Elektrische Ausrüstung von Maschinen und Maschinenanlagen: Erläuterungen zu DIN EN 60204-1 (VDE 0113-1):2019-06. 7., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Offenbach: VDE Verlag GmbH; 2021. VDE-Schriftenreihe - Normen verständlich 26.
- [7] Wellenreuther G, Zastrow D. Automatisieren mit SPS - Theorie und Praxis: Programmieren mit STEP 7 und CoDeSys, Entwurfsverfahren, Bausteinbibliotheken, Beispiele für Steuerungen, Regelungen, Antriebe und Sicherheit, Kommunikation über AS-i-Bus, PROFIBUS, PROFINET, Ethernet-TCP/IP, OPC, WLAN; mit ... 108 Steuerungsbeispielen und 8 Projektierungen. 6., korrigierte Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2015. Lehrbuch.
- [8] Berger H. Automatisieren mit SIMATIC: Hardware und Software, Projektierung und Programmierung, Datenkommunikation, Bedienen und Beobachten. 6. überarbeitete Auflage. Erlangen: Publicis Publishing; 2016. <http://www.wiley-vch.de/publish/dt/books/ISBN978-3-89578-458-3/>.
- [9] Berger H. Automatisieren mit SIMATIC S7-1200: Projektieren, Programmieren und Testen mit STEP 7. 4., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage. Erlangen: Publicis Publishing; 2017. <http://www.wiley-vch.de/publish/dt/books/ISBN978-3-89578-469-9/>.
- [10] Mießler M. Förderanlage Stoba-Druck GmbH Schaltungsunterlagen EPLAN P8. 2023.
- [11] PILZ GmbH & Co. KG. PNOZ s3 Bedienungsanleitung. https://www.pilz.com/download/open/PNOZ_s3_Operat_Man_21395-DE-13.pdf. 29.12.2023.

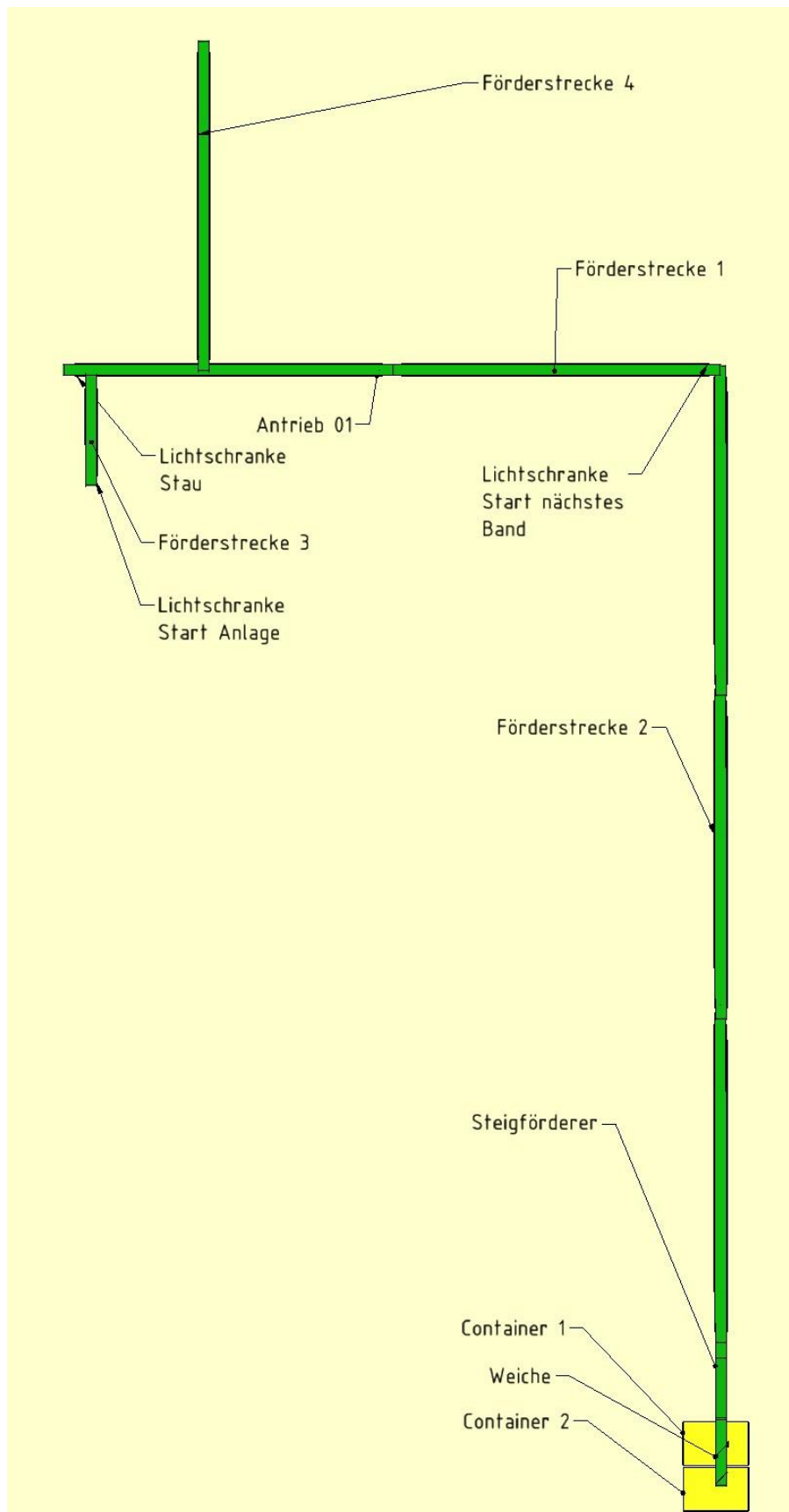
- [12] Köhler J, Winkler SV. Beratung zur Steuerungsauswahl. 2023.
- [13] Schmertosch T. Strukturierte Automatisierungssysteme: Die richtige Komponentenauswahl für modulare Maschinen und Anlagen. 1. Auflage. Würzburg: Vogel Communications Group; 2021. Ein Fachbuch von elektrotechnik Automatisierung.
- [14] Bumiller H, Burgmaier M, Eichler W. Fachkunde Elektrotechnik: Bearbeitet von Lehrern an beruflichen Schulen und von Ingenieuren. 30. überarbeitete und erweiterte Auflage. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG; 2016. Europa Lehrmittel. <http://www.blickinsbuch.de/item/01129813ee473e15e940dd1ed50764c1>.
- [15] SICK AG. Technische Daten Sick Reflexionslichtschranke GLD20G-QK112170ZZZ - G20; 2023. <https://www.sick.com/de/de/catalog/produkte/detektionssensoren/lichttaster-und-lichtschranken/g20/gld20g-qk112170zzz/p/p672711?tab=detail>. 02.01.2024.
- [16] Weidauer J. Elektrische Antriebstechnik: Grundlagen - Auslegung - Anwendungen - Lösungen. 2., überarb. Aufl. Erlangen: Publicis Publ; 2011. <http://swb.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=888542>.
- [17] Hagl R. Elektrische Antriebstechnik. 1. Aufl. s.l.: Carl Hanser Fachbuchverlag; 2013. http://ebooks.ciendo.com/book/?bok_id=552883.
- [18] Zickert G. Vorlesung Elektroprojektierung. Zwickau. 2019.
- [19] Pohl A. Vorlesung Elektrische Antriebe. Zwickau. 2019.
- [20] Kiel E, Hg. Antriebslösungen: Mechatronik für Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. VDI-Buch. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1585017>.
- [21] SEW-EURODRIVE. Katalog Getriebemotoren DRN. (IE3). <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/26883171.pdf#search=%22PBAEC;PBAE;PBA;PB;P%22>. 06.01.2024.
- [22] SEW-EURODRIVE. Technische Daten Motoren. https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/24832928_G07.pdf. 06.01.2024.
- [23] Pigan R. Automatisieren mit PROFINET: Industrielle Kommunikation auf Basis von Industrial Ethernet. 2., überarb. und erw. Aufl. Erlangen: Publicis Corporate Publ; 2008. Siemens.
- [24] Luber S. Was ist PROFIBUS? IP-Insider; 03.08.2022. <https://www.ip-insider.de/was-ist-profibus-a-9d09e2e665488decad4baf1a5fc74c3e/>. 07.01.2024.

- [25] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. PROFIBUS Technologie und Anwendung; 2002. <https://www2.htw-dresden.de/~huhle/micros/MC-Docs/profibus.pdf>. 06.01.2024.
- [26] Siemens. Produktdetails - Kommunikationsmodul CM 1243-5; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/ww/Catalog/Product/6GK7243-5DX30-0XE0>. 09.01.2024.
- [27] Siemens. Produktdetails SIMATIC S7-1200, CPU 1214C; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>. 09.01.2024.
- [28] Siemens. Produktdetails SIMATIC S7-1200, Digitaleingabe SM 1221; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7221-1BH32-0XB0>. 09.01.2024.
- [29] Siemens. Produktdetails SIMATIC S7-1200, Digitalausgabe SM 1222; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7222-1BH32-0XB0>. 09.01.2024.
- [30] Siemens. Produktdetails SCALANCE XB005; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6GK5005-0BA00-1AB2>. 09.01.2024.
- [31] Siemens. Produktdetails SIMATIC HMI MTP1500; 2024. <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/6AV2128-3QB06-0AX1>. 09.01.2024.
- [32] Elektro.net. Aderfarben für die Ausrüstung elektrischer Maschinen; 2024. <https://www.elektro.net/praxisprobleme/aderfarben-in-elektrischen-maschinen/>. 08.01.2024.

Anlagenverzeichnis

Anlage	Titel der Anlage	Seitenzahl
Anlage 1	Übersicht Förderanlage	v
Anlage 2	EPLAN	vi

Anlage 1: Übersicht Förderanlage



Anlage 2: EPLAN

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

F2S_001

SMA Sächsischer Maschinen- und Anlagenbau



Tel.

Firma / Kunde

Projektbeschreibung

Zeichnungsnummer

Kommission

Förderanlage

23S0007

23S0007

Hersteller (Firma)

Pfad

Projektname

Fabrikat

Typ

Installationsort

Projektverantwortlicher

Teilbesonderheit

SMA Sächsischer Maschinen- und Anlagenbau

Förderanlage Stoba-Druck GmbH

Herr Mießler

Erstellt am

Bearbeitet am

12.10.2023

09.01.2024

von (Kürzel)

m.miessler

Anzahl der Seiten

50

Änderung

Datum

Name

Datum

Bearb.

Gepr.

Ungpr.

08.01.2024

m.miessler

23S0007

Förderanlage

Erstellt von

Erstellt durch

SMA Sächsischer Maschinen- und Anlagenbau

Titel- / Deckblatt

= BOKU

+

23S0007

Blatt

Seite

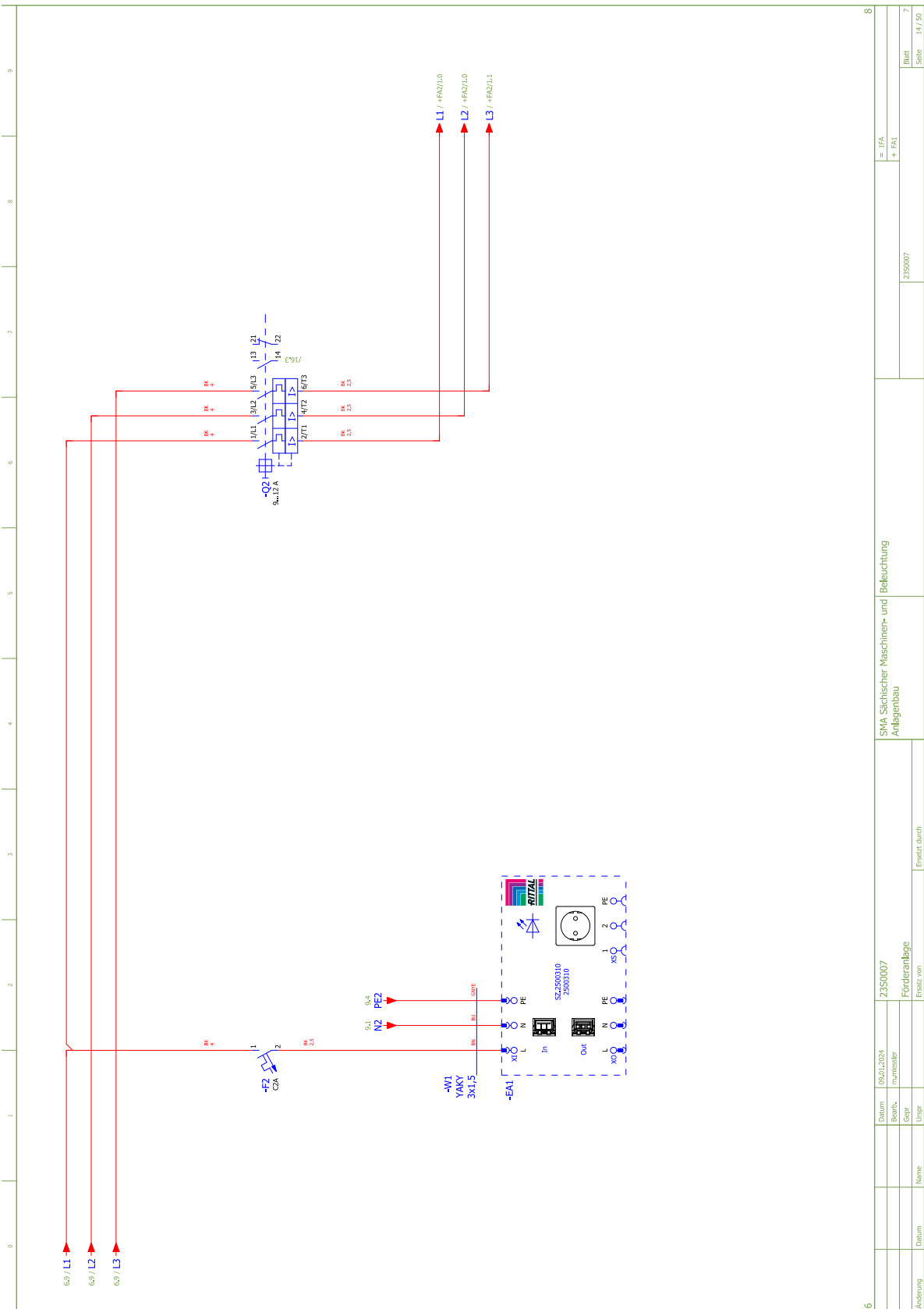
1

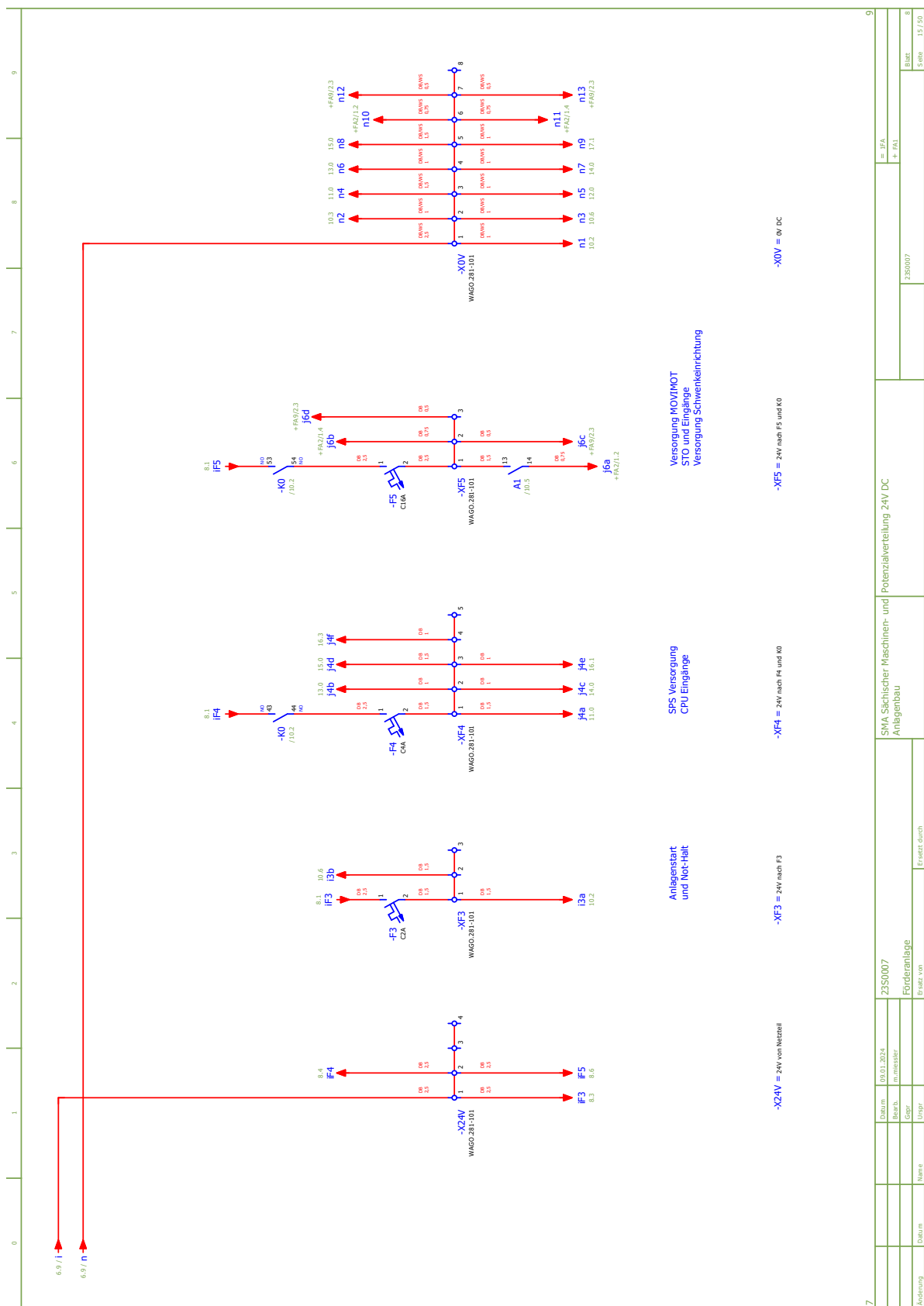
1 / 50



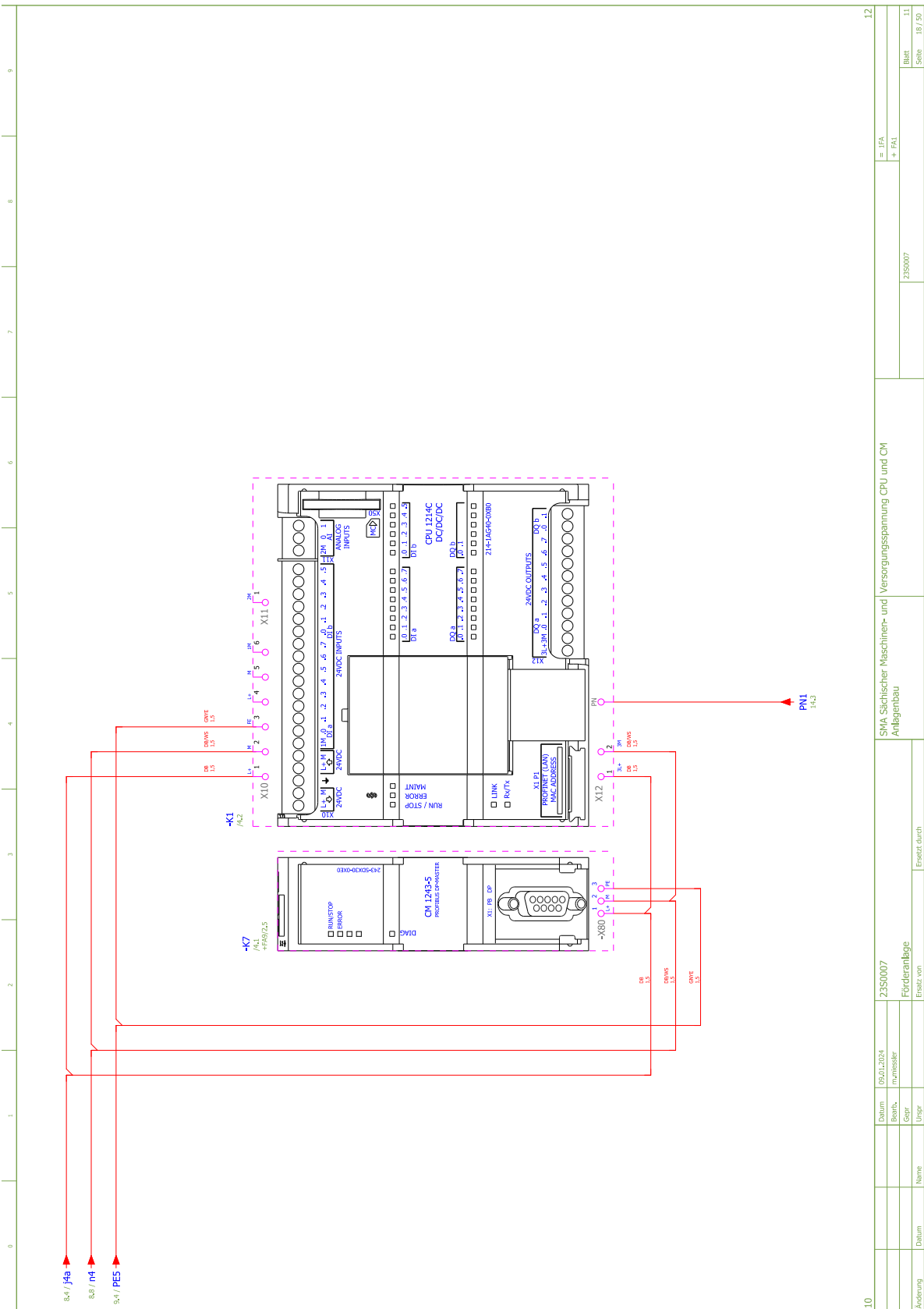


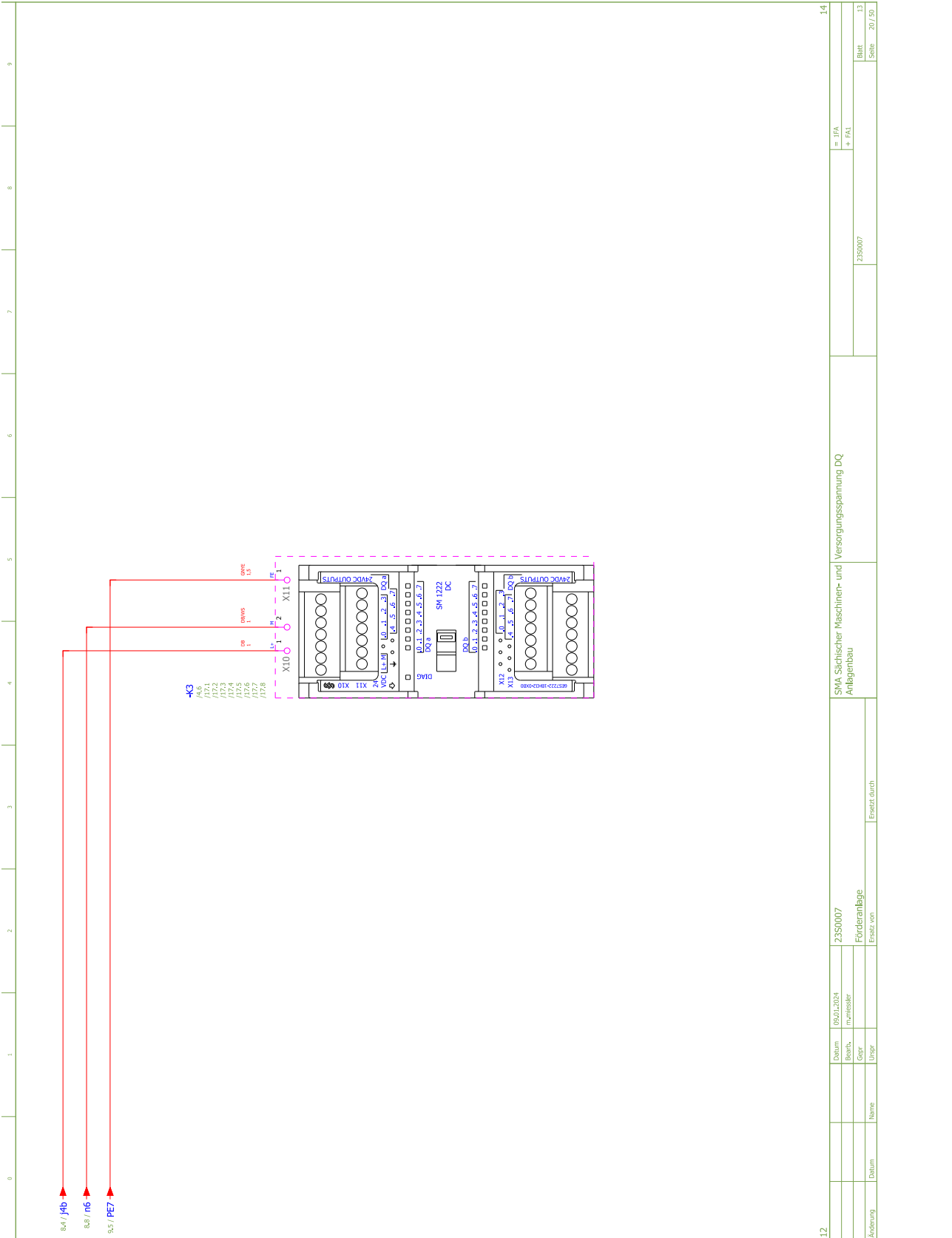


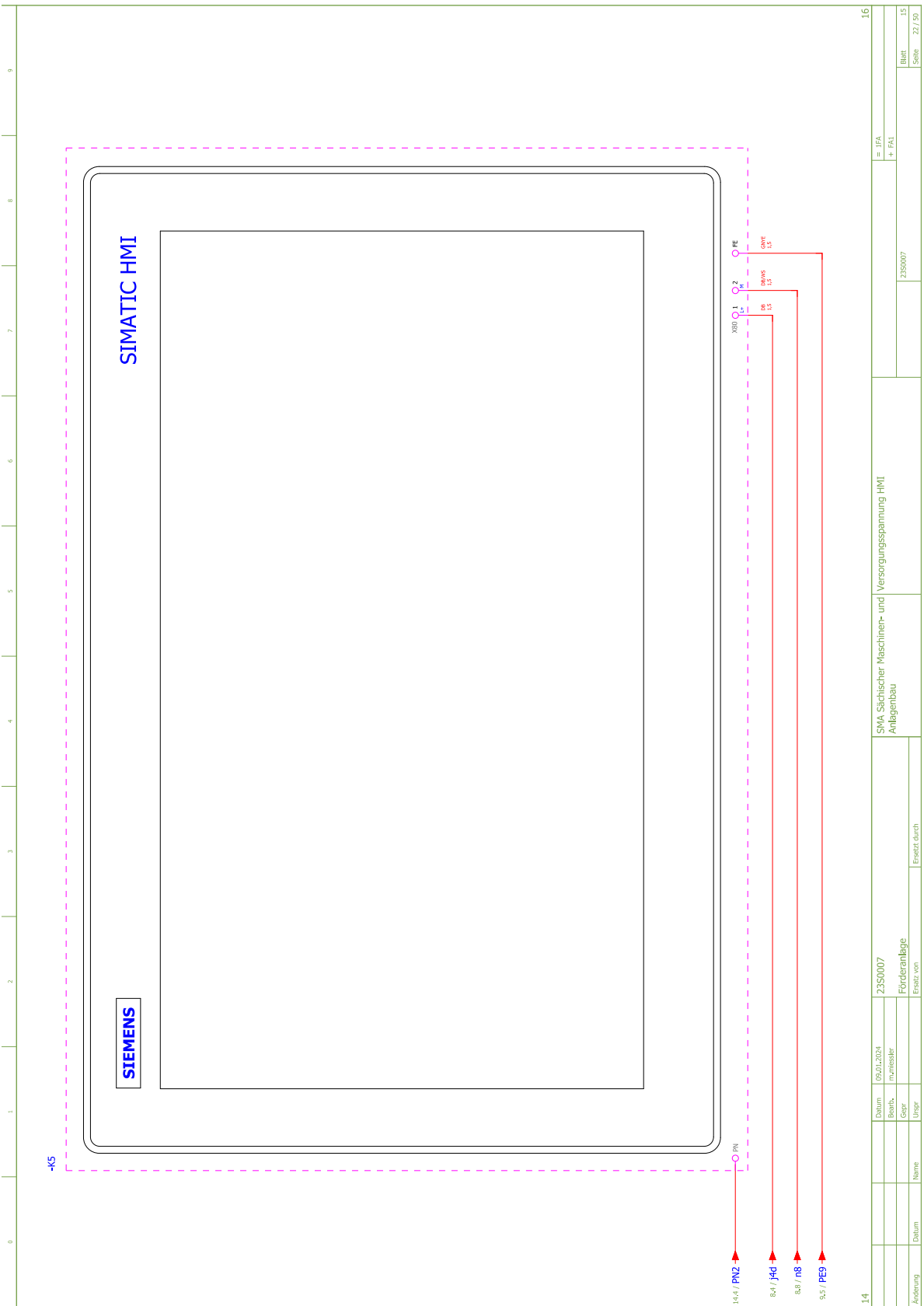


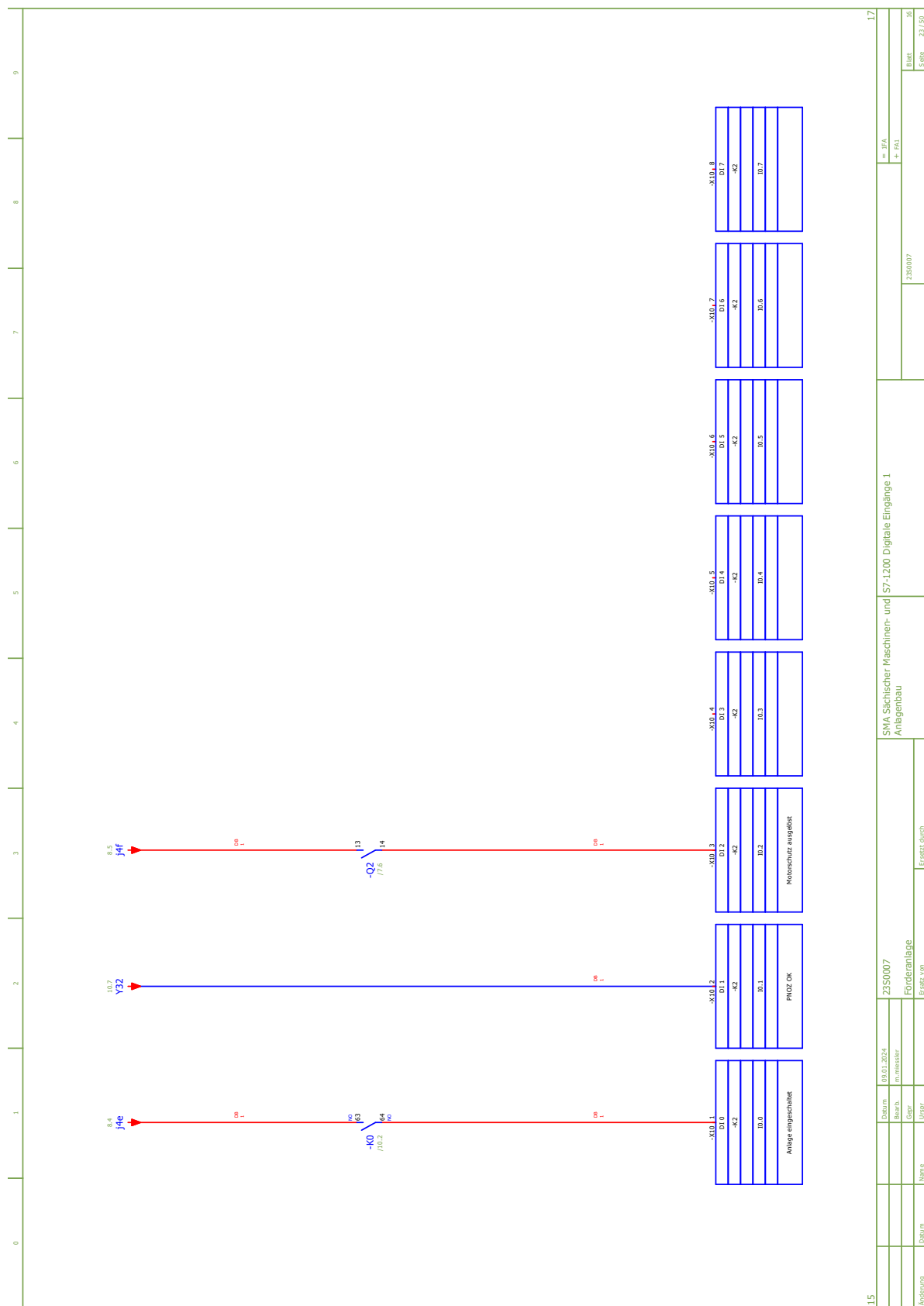


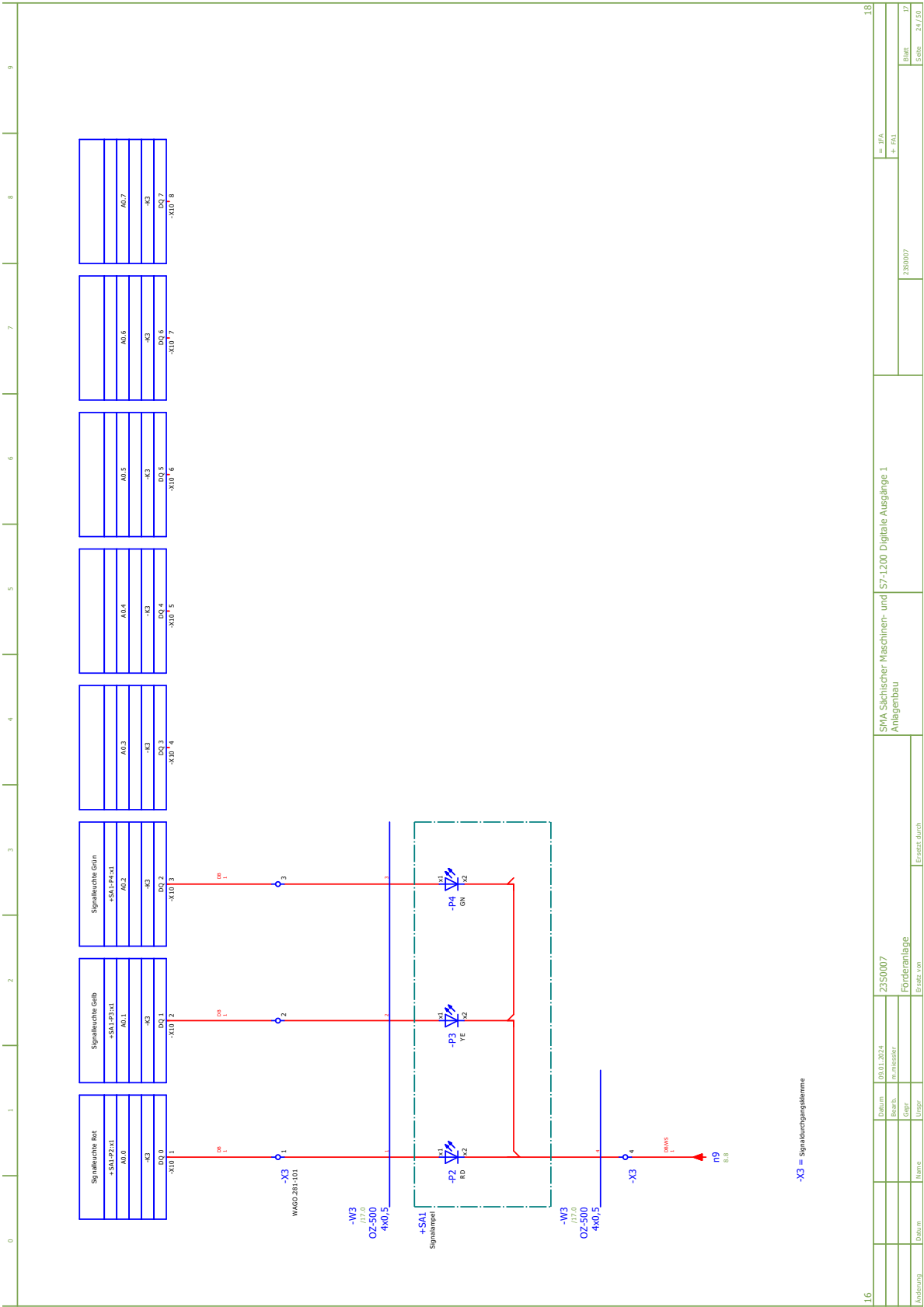




[illegible]







[illegible]

[illegible]

[illegible]



