



HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT

LAGENFURT, MÖSSINGERSTRASSE

ABTEILUNG ELEKTROTECHNIK

DIPLOMARBEIT

AFSS

Automated Factory Storage System

JAHRGANG 5AHET

eingereicht von Benedikt Simbürger

 Vincent Sonvilla

 Nikolaj Voglauer

 Elena Widmann

Projektbetreuer Dipl.-Ing. Christian Sallinger

Diese Diplomarbeit entspricht den Standards gemäß dem Leitfaden zur Umsetzung der Reife- und Diplomprüfung des BMBWF in der letztgültigen Fassung.

Klagenfurt, am 3.4.2025



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen, oder mit künstlicher Intelligenz generiert wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Verfasser/Verfasserin

A handwritten signature in blue ink that reads "Benedikt Simbürger".

Benedikt Simbürger

A handwritten signature in blue ink that reads "Sonvilla Vincent".

Vincent Sonvilla

A handwritten signature in blue ink that reads "Nikolaj Voglauer".

Nikolaj Voglauer

A handwritten signature in blue ink that reads "Elena Wid".

Elena Widmann

Klagenfurt, am 3.4.2025

Kurzbeschreibung

Das Bauteillager der Werkstätte der HTL-Mössingerstraße ist aktuell eine Kombination aus Schränken und Fächern, bei denen von Hand ein- und ausgelagert werden muss. Da dies sehr zeitaufwendig und fehleranfällig ist, soll eine automatische Lösung Abhilfe schaffen.

Ziel des Projekts „Automated Factory Storage System“ ist es, eine Gesamtlösung für ein automatisches Kleinteillagersystem nach dem Vorbild der Industrie zu entwickeln. So soll unter anderem ein Realitätsbezug zu dem im Unterricht gelernten geschaffen werden. Deshalb werden auch alle Steuerungskomponenten so industrienah wie möglich ausgeführt. Außerdem wird es möglichst erweiterbar ausgeführt, um zukünftige Erweiterungen zu ermöglichen.

Die Mechanik besteht aus einem eigens entwickelten Miniatur-Hochregallager, welches ähnlich eines Palettenlagersystems Boxen aus einem Regal mit rund 200 Lagerplätzen ein- und ausheben kann. Über einen Querförderer werden die Boxen auf ein Förderband gebracht und können dann zu einer Kommissionierstation gefahren werden. Als Grundlage wird hier auf Aluminiumprofilsysteme zurückgegriffen. Die Aktorik besteht aus Schrittmotoren.

Zur Steuerung wird ein Serverschrank zu einem Schaltschrank umgebaut, welcher alle Sicherungs- und Steuerungskomponenten beinhaltet. Alle Verbindungen zwischen Schaltschrank und Mechanik sind außerdem leicht absteckbar, und das Lager sowie der Schaltschrank sind mobil, um diese leicht transportieren zu können.

Die Ansteuerung erfolgt über eine SPS. Sie steuert die Schrittmotoren und verarbeitet die Sensorsignale. Diese bestehen aus Referenz- und Endschaltersignalen für alle Achsen und werden über einen Feldbus zusammengefasst.

Die SPS kommuniziert dann mit einer selbst programmierten Lagerverwaltungssoftware, welche den Lagerbestand verwaltet und eine Benutzeroberfläche bietet. Den Benutzenden ist es hier möglich, Artikel zu bestellen und den Lagerbestand zu ändern.

Außerdem werden die Mechanik sowie die Elektrik so ausgelegt, dass ein möglichst sicherer Betrieb möglich ist, um sowohl Mensch als auch Maschine nicht zu schaden.

Kurztitel: Automated Factory Storage System

Schlüsselwörter: Hochregallager, Lagerverwaltung, Schaltschrankbau, SPS-Programmierung

Short Description

The component storage of the HTL-Mössingerstraße workshop is currently a combination of cabinets and compartments, where storage and retrieval must be done manually. Since this process is very time-consuming and error-prone, an automated solution is intended to provide relief.

The goal of the „Automated Factoryc Storage System“ project is to develop a complete solution for an automated small-parts storage system modeled on industrial standards. This will help create a practical reference to the knowledge learned in class. Therefore, all control components will be implemented as industry-oriented as possible. Additionally, the system will be designed to be modular to allow future expansions.

The mechanical part consists of a custom-developed miniature high-bay storage system that, similar to a pallet racking system, can lift and store boxes from a rack with approximately 200 storage spaces. A transverse conveyor transports the boxes onto a conveyor belt, which can then move them to a picking station. The system is based on aluminum profile structures. The actuators consist of stepper motors.

For control, a server cabinet will be converted into a control cabinet, which will house all safety and control components. All connections between the control cabinet and the mechanical system are easily detachable. Both the storage system and the control cabinet are mobile to ensure easy transport.

The control system operates via a PLC. This PLC controls the stepper motors and processes sensor signals. These signals consist of reference and limit switch signals for all axes and are consolidated via a fieldbus.

The PLC then communicates with a self-developed warehouse management software that manages inventory and provides a user interface. Users can place orders and modify inventory levels.

Furthermore, the mechanical and electrical systems are designed to ensure the highest possible level of safety to protect both humans and machines.

Short Title: Automated Factory Storage System

Keywords: High-bay warehouse, warehouse management, control cabinet construction, PLC programming

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeiner Teil	7
1.1 Ausgangssituation	7
1.1.1 Anforderungen	7
1.2 Potentielle Lösungen	8
1.2.1 Lagermethoden	8
1.2.2 Steuerung	8
1.2.3 Schaltschrank	9
1.3 Verfolgter Lösungsansatz	9
1.3.1 Lagermethoden	9
1.3.2 Steuerung	10
1.3.3 Schaltschrank	10
1.4 Methodik	10
1.4.1 Software	10
1.4.2 Hardware	12
1.4.3 Fertigung	13
1.5 Sicherheitstechnik	14
1.6 Kooperationspartner	15
1.6.1 KNAPP AG	15
1.6.2 Weidmüller GmbH	15
1.6.3 igus GmbH	16
1.6.4 LAPP Austria GmbH	16
1.6.5 Mädler GmbH	17
2 Hardwareentwicklung, Softwarebackend und Benutzeroberfläche (Benedikt Simbürger)	18
2.1 Hardware	18
2.1.1 Planung - Grundanforderungen	18
2.1.2 Vorgehensweise	19
2.1.3 Rahmen	21
2.1.4 X-Achse	21
2.1.5 Y-Achse	24
2.1.6 Z-Achse	27
2.1.7 Lager	30
2.1.8 Querförderer	30
2.1.9 Fertigung der Einzelteile	30
2.1.10 Aufbau	34
2.1.11 Fazit	35
2.2 Software und Benutzeroberfläche	36
2.2.1 Grundlegendes	36
2.2.2 Aufbau	36

2.2.3 Benutzeroberfläche	37
2.2.4 Backend	39
2.2.5 APIs	40
2.2.6 Lageralgorithmus für SPS	41
2.2.7 Datenbanken	42
2.2.8 Docker	43
2.2.9 Artikelsuche	44
2.2.10 Fazit	47
3 Integration und Programmierung der Steuerungstechnik (Vincent Sonvilla)	48
3.1 Aufgabenstellung	48
3.2 Tia-Portal Grundlagen	48
3.2.1 Allgemeines	48
3.2.2 Programmbausteine	49
3.2.3 Technologieobjekte	51
3.2.4 Programmiersprachen	52
3.2.5 Bibliotheken	53
3.3 Motoransteuerung	54
3.3.1 Kontrollsignale für den Motortreiber	55
3.3.2 Motion Control Anweisungen	56
3.3.3 Konfiguration Technologieobjekt	57
3.3.4 Synchronisation	58
3.3.5 Ansteuerung des Förderbands	59
3.3.6 Tia-Portal Programm	60
3.4 SPS-Server Kommunikation	62
3.4.1 Zur Auswahl stehende Kommunikationsprotokolle	62
3.4.2 Verbindungsherstellung	64
3.4.3 Datenaustausch	64
3.4.4 Datenfilterung	65
3.4.5 Tia Portal Programm	66
3.5 Fazit	68
4 Elektroplanung und Realisierung (Nikolaj Voglauer)	69
4.1 Elektroplanung	69
4.1.1 Einleitung - Grundanforderungen	69
4.1.2 Elektrospezifische Anforderungen	69
4.1.3 Mechanische Planung	71
4.1.4 Grundkonzept der Module	76
4.1.5 Die elektrischen Komponenten	81
4.1.6 Elektrische Planung (E-Plan)	82
4.1.7 Schaltplan - Zeichenprozess	83
4.2 Die Auslegung diverser Schaltschränkelementen	93

4.3 Realisierung	94
4.4 Fazit	99
5 Sensorik und Sicherheitstechnik (Elena Widmann)	100
5.1 Sensorik	100
5.1.1 Aufgabenstellung	100
5.1.2 Endschalter	100
5.1.3 Referenztaster	102
5.1.4 Lichttaster	106
5.1.5 Barcode-Scanner	107
5.2 AS-Interface	109
5.2.1 Feldbussysteme	109
5.2.2 Programmierung im TIA-Portal	112
5.2.3 Verkabelung	113
5.3 Sicherheitstechnik	115
5.3.1 Aufgabenstellung	115
5.3.2 Personenschutz	115
5.3.3 Schutz des Systems	115
5.4 Fazit	117
6 Resümee	118
7 Anhang	119
7.1 Abmessungen	119
7.2 Projektmanagement	120
7.2.1 Aufgabenstellung des Gesamtprojekts	120
7.2.2 Produktstrukturplan	122
7.2.3 Terminplanung	123
7.2.4 Arbeitspakete	124
7.3 Inbetriebnahme	126
7.3.1 Server	126
7.3.2 Schaltschrank	126
7.4 Kostenaufstellung des AFSS	128
7.5 Besprechungsprotokolle	132
7.6 E-Plan	136
7.7 Arbeitsnachweis	170
7.7.1 Simbürger	170
7.7.2 Sonvilla	174
7.7.3 Voglauer	176
7.7.4 Widmann	179
Literaturverzeichnis	181

Abbildungsverzeichnis 186

Tabellenverzeichnis 188

1 Allgemeiner Teil

1.1 Ausgangssituation

Die HTL-Mössingerstraße arbeitet im Zuge der Werkstatt mit einer Factory, diese ist eine Miniatur-Firma bei der Lehrpersonal sowie SchülerInnen Bestellungen abgeben können. Diese Bestellungen werden dann von zugeteilten SchülerInnen abgearbeitet.

In dieser Factory laufen die Bestellprozesse digital über eine schulinterne Website. Verwendet werden von der Factory 3D-Drucker, CNC-Fräsen, Lasercutter und diverse weitere Maschinen, um Angefordertes zu produzieren. Die Factory stellt primär Einzelteile zur Verfügung, dazu gehört auch ein großes Repertoire an Bauteilen, die im Lager der Factory gelagert werden.

Die Handhabung dieses Lagers erfolgt bisher manuell. SchülerInnen schreiben in einer digitalen Applikation mit, welche Teile ein- bzw. ausgelagert werden. SchülerInnen sind im Schnitt nur ein Schuljahr in der Factory. In dieser Zeitspanne ist es kaum möglich eine Routine einzuarbeiten und die Fehlerquote bei der Arbeit im Lager ist relativ hoch. Das führt zu fehlerhaften Lieferungen oder verzögerten Produktionsketten.

Ein weiterer Nachteil des derzeitigen Lagers ist, die Örtlichkeit. Das Lager befindet sich zurzeit im Keller und ist dort fest verbaut. Die schweren Schränke und Regale können im Falle von Hochwasser, wie im Sommer 2023, weder schnell ausgelagert oder verschoben werden.

Im Allgemeinen Schulgeschehen ergeben sich zudem Möglichkeiten der Migration fürs Lager, um Prozesswege der Factory effizienter zu gestalten. Mit dem derzeitigen Lager können keine potenziellen Optionen wahrgenommen werden.

1.1.1 Anforderungen

Um die Automatisierung dieses Prozesses zu ermöglichen, soll ein System entwickelt und gebaut werden, das eine lagernde Box automatisch zu einer Kommissionierstation bringt. An dieser Station soll die Möglichkeit bestehen, Inventar anzufordern, Lagerbestände auszugeben oder aufzufüllen sowie Boxen wieder einzulagern.

Weiterhin muss dieses System erweiterbar sein, um zukünftig zusätzlichen Lagerplatz hinzuzufügen und die Integration anderer Systeme, wie beispielsweise einer Bauteilvereinzelung, zu ermöglichen.

Zudem soll das AFSS mobil sein – sowohl mechanisch als auch elektrisch –, da es nicht am endgültigen Standort errichtet wird und einen einfachen Transport bei möglichen Umbauarbeiten ermöglichen soll.

Die Rahmenbedingungen für die Umsetzung dieser Ziele sind stark davon geprägt, dass alle mechanischen Bauteile, die eigens gefertigt werden müssen, so konstruiert werden, dass ihre Herstellung mit den Mitteln der HTL möglich ist.

Das System soll nicht nur produzierbar, sondern auch reproduzierbar sein. Daher muss die

Dokumentation der Funktion sowie des Umsetzungsprozesses so erfolgen, dass das Projekt von nachfolgenden Schüler*innen weitergeführt werden kann.

1.2 Potentielle Lösungen

1.2.1 Lagermethoden

Die Industrie bietet viele Vorbilder dafür, wie ein boxenbasiertes Lagersystem aufgebaut sein kann.

Eine besonders platzeffiziente Variante ist beispielsweise die PickEngine von KNAPP (vgl. [1]). Bei dieser Lösung werden Boxen in mehreren Ebenen übereinander gelagert. Auf jeder Ebene gibt es bewegliche Roboter, die die Boxen abholen und zu einem Lift bringen, von dem aus die Box dann zur Kommissionierstation transportiert wird. Dieses System ist sowohl platzsparend als auch sehr ausfallsicher. Allerdings ist es schwierig, ein solches System in Miniatur nachzubauen, da die Hardwarefertigung sehr komplex ist.

Eine weitere Möglichkeit wäre ein rotierendes Magazin, in dem die Boxen auf einem horizontalen Karussell gelagert sind. Wenn ein bestimmtes Produkt benötigt wird, rotiert das Karussell so lange weiter, bis die gewünschte Box zugänglich ist. Das Prinzip dieses Systems ist zwar recht simpel, jedoch stellt die mechanische Umsetzung der Rotation mit den Mitteln der HTL eine Herausforderung dar, insbesondere im Hinblick auf einen zuverlässigen Dauerbetrieb.

Eine dritte Option besteht darin, die Ware vertikal von oben zu lagern. Über der Lagerstätte bewegt sich ein Roboter, der die Boxen ausheben, umschichten sowie ein- und auslagern kann. Dieses System ermöglicht eine hohe Lagerdichte, hat jedoch den Nachteil eines begrenzten Durchsatzes. Wenn eine Box benötigt wird, die nicht an oberster Stelle liegt, müssen erst alle darüberliegenden Boxen umgeschichtet werden. Zudem ist diese Lagervariante erst dann wirklich platzsparend, wenn sie sehr hoch gebaut wird. Bei wenigen Ebenen lohnt sie sich noch nicht, da trotz geringer Höhe bereits viel Fläche verbraucht wird.

1.2.2 Steuerung

Es gibt durchaus verschiedenste Methoden zur Steuerung von Anlagen. Bekannterweise werden hier Speicherprogrammierbare Steuerungen, kurz SPS, verwendet. Diese bieten den Vorteil, komplexe Steuerungen durch Programmierung mit intuitiven Programmiersprachen realisieren zu können. Jedoch erfordern SPS für jeden Zusatz, beispielsweise digitale Ein-/Ausgänge oder das Ansteuern von Motoren, verschiedenste Module.

Eine günstigere Variante zu Speicherprogrammierbare Steuerungen bieten Arduinos. Diese benötigen aber für das Ansteuern von energielastigeren Bauelementen auch zusätzliche Elemente. Zusätzlich steigt der Programmier-Aufwand, sowie die Komplexität des Programms, bei großen Anlagen ins Unermessliche, da jedweilige Motoransteuerung oder Verbindung mit Servern ausprogrammiert werden muss. Dieser Aufwand wäre in diesem Projekt zeitlich nicht schaffbar.

Ein wenig teurer als Arduino, aber noch unter dem Preis einer SPS, liegen Verbindungsprogrammierbare Steuerungen, welche die Funktion dadurch realisieren, wie sie verdrahtet sind, über Relais, Schalter, etc. Diese sind aber mit einem beträchtlichen Aufwand, aufgrund von Verkabelung sowie Anschaffung benötigter Materialien, verbunden. Zusätzlich ist die Realisierung von komplexeren Projekten durchaus zeitintensiv.

1.2.3 Schaltschrank

Für die Elektronik gibt es mehrere Möglichkeiten der Umsetzung. Beleuchtet wurden im Entwicklungsprozess integrierte Bauweisen in das AFSS, neuwertige Schaltschränke sowie Umbaumöglichkeiten.

Die erste Idee, die verfolgt wurde, war ein integrierter Schaltschrank im AFSS. Dieser hätte einen Rahmen aus Aluminiumprofilen, Plexiglasscheiben hätten die Komponenten vom Rest getrennt und die einzelnen Elemente wären auf eine gefrästen Aluminiumplatte montiert worden. Vorteil dieser Option ist eine kompakte Bauweise, man hätte keinen zusätzlichen Schrank. Nachteile sind Zusatzkosten, Lagerplatzverluste da das Lager nicht breiter gemacht werden kann und kein Platz für Erweiterungen.

Ein neuer Schaltschrank wäre grundsätzlich die naheliegendste Lösung. Für das AFSS hätte der Schaltschrank groß sein müssen, um alle Komponenten unterzubringen und um die Erweiterbarkeit zu gewährleisten. Vorteilhaft wäre, verminderter Bauaufwand und eine gute el. Sicherheit. Allerdings ist ein herkömmlicher Schaltschrank nicht mobil und ist somit für eine mobile Anlage ungeeignet, zudem entstehen Zusatzkosten.

Die letzte Option war ein alter Serverschrank, dieser kommt mit vier Profilschienen, einer Lüftungsanlage und war groß genug, um die Anforderung der Erweiterbarkeit auch zu erfüllen. Zusätzlich gemacht gehört sind Module, die auf die Schienen montiert werden, auf diesen wären die elektrischen Komponenten montiert. Die Module können aus kosteneffizienten Platten hergestellt werden. Um den Serverschrank mobil zu machen, müssten kleinere Umbauten durchgeführt werden.

1.3 Verfolgter Lösungsansatz

1.3.1 Lagermethoden

Nach Abwägung der Alternativen wurde bei der Auswahl der Lagermethode ein klassisches Palettenlager als Inspiration gewählt. Der Grundgedanke basiert auf einem Portalsystem, das mit einer Gabel Boxen in einem Regal ein- und aushebt. Diese Lagervariante vereint die Balance aus technischer Komplexität und dem Umsetzungsvermögen an der HTL. Zudem gibt es bei dieser Variante ebenfalls Potenzial zur Effizienzsteigerung, da die Möglichkeit besteht, links und rechts des Roboters Bestand zu lagern. Allerdings wird diese Variante nicht forciert, da die Komplexität eines solchen Mechanismus im kleinen Maßstab und mit eingeschränkter Fertigungstechnik recht schwierig umzusetzen ist.

Es wurde also ein Lagersystem gewählt, bei dem zwei Achsen hin- und herfahren und eine

Art Gabel die Boxen ein- und aushebt. Um die Boxen zur Kommissionierstation zu bringen, wird ein Förderband verwendet, das längs zum Lager verläuft. Der Lagerroboter kann die Boxen jedoch nicht selbstständig auf das Förderband laden. Zu diesem Zweck wird ein sogenannter Querförderer eingesetzt, der die Box von einem temporären Lagerplatz auf das Förderband und wieder zurück schiebt. An dieses Förderband können außerdem weitere solcher Lagerschränke angeschlossen werden, um mehr Lagerplatz zu schaffen und auch andere Systeme anzubinden. Darüber hinaus wird ein Lagerschrank als Komplettsystem konzipiert. Durch die Unterbringung aller Systeme in einem einzigen Objekt kann die Transportfähigkeit durch die Montage von Rollen einfach sichergestellt werden.

1.3.2 Steuerung

Als Steuerung wurde eine SPS von Siemens ausgewählt, da das Basic Know-How für die Programmierung solcher, bereits in der Schule gelehrt wird. Zudem sind speicherprogrammierbare Steuerungen ideal für komplexere Anlagen und ermöglichen die Ansteuerung der Motoren sowie die Kommunikation mit dem Server relativ simpel und bleiben dabei auch innerhalb der geforderten Zykluszeit.

1.3.3 Schaltschrank

Der Umbau vom Serverschrank war die beste Option. Es wird Altbestand verwertet, es ist eine kosteneffiziente Lösung die viel Freiheit zur Anpassung an spezielle Komponenten erlaubt. Zudem gibt es viel Platz für Erweiterungen und Räder an den Schrank zu montieren wäre kein großer Zusatzaufwand. Die elektrische Steuerung der Anlage, die Versorgungsgeräte und weiter Elemente finden in diesem Schrank auch platz. Weiters kann mit dieser Option auch erreicht werden, dass der Schaltschrank mittels weniger Handgriffe vollkommen vom Lagerschrank getrennt werden kann. Eine gute Lösung für die Ansprüche.

1.4 Methodik

1.4.1 Software

Zur Dokumentation der elektrischen Komponenten und deren Verbindungen wird E-Plan verwendet. E-Plan ist der Industriestandard und bietet unzählige Möglichkeiten für eine ausführliche Dokumentation. E-Plan hilft ein übersichtliches Schaltbild zu erstellen, und die Anlage lesbar festzuhalten. Auch im Planungsprozess ist E-Plan der Schlüssel zu einer vollständigen Planung.

Fusion360/PCB

Zur mechanischen Planung des AFSS wird vorrangig Fusion360 genutzt. Dies ist ein 3D-CAD (Computer-Aided-Design) Programm, welches eine breite Palette von Funktionen bietet, jedoch noch sehr bedienerfreundlich ist. Weiters ist es sehr nützlich, dass Fusion360

eine integrierte Cloud-Speicherung anbietet. So können die Konstruktionen von anderen Personen einfach eingesehen werden.

Die volle Integration von Eagle in Fusion360 im Jahr 2020 macht es möglich, auch in Fusion360 Leiterplatten zu entwerfen und die dazugehörigen Schaltungen zu zeichnen. Der Verkauf des Programms Autodesk Eagle wird mit Juni 2026 eingestellt und ist somit nicht mehr Stand der Technik (vgl. [2]). Das Entwerfen von PCBs (Printed Circuit Boards) ist durch die Integration in Fusion360 nicht nur einfacher, sondern auch einheitlicher geworden. Außerdem kann durch die Zusammenführung der beiden Programme ermöglicht werden, sodass Projekte auf einer zentralen Entwurfsplattform umgesetzt werden.

AutoCAD

Zur mechanischen Planung des AFSS wird auch AutoCAD verwendet. Vor allem für Pläne von Frästeilen oder Laserteilen bietet sich diese Applikation an. AutoCAD wird in der Industrie verwendet und bietet eine benutzerfreundliche Oberfläche sowie eine breite Palette an Funktionen.

Lagerverwaltungssoftware

Um Lagerbestand zu verwalten bedarf es eines ausgeklügelten Systems, welches einerseits eine Benutzerbedienung zulässt, und andererseits die Logik der Auslagerung übernimmt. Eine Möglichkeit dies zu erreichen, wäre eine reine Softwarelösung nur auf SPS-Basis. Dies ist aber sehr sehr umständlich und auch nicht skalierbar. Auch die Verwendung von graphischen Entwicklungswerkzeugen wie Node-Red wäre denkbar, jedoch ist es auch hier schwierig komplexe Operationen durchzuführen, wenngleich die Einbindung zur SPS einfacher ist.

Die favorisierte Lösungsvariante für diese Anforderungen ist die Entwicklung eines eigenen Servers in einer Programmierhochsprache. Die SPS soll mit diesem kommunizieren können. Außerdem kann dieser Server eine Benutzeroberfläche für die Bedienung zur Verfügung stellen, sowie die Steuerungslogik übernehmen. Dieser soll überdies auf eine Datenbank zugreifen, welche den Lagerbestand abbildet.

Tia Portal

Ist die Software, welche verwendet wird, um speicherprogrammierbare Steuerungen von Siemens anzusteuern. Tia-Portal bietet die Möglichkeit, in verschiedenen Programmiersprachen zu arbeiten (Funktionsplan (FUP), Kontaktplan (KOP), einer Anweisungsliste (AWL), mit Structered Code Language (SCL) oder Graph.) Zudem können externe Anwendungsspezifische Funktionsbausteine mit Bibliotheken eingebunden werden (vgl. [3]).

1.4.2 Hardware

Antriebe

Das elektrische Antriebssystem ist ein Kernbaustein des AFSS. Mit diesem werden alle beweglichen Aktoren betätigt. Hier ist es nötig, einen Kompromiss zwischen Leistung, Kosten und der Ansteuerbarkeit zu finden.

Industrieservomotoren, die typischerweise mit 400 V, Frequenzumrichtern und Gebern betrieben werden, sind zwar sehr leistungsdicht und gut steuerbar, jedoch auch sehr teuer. Aus diesem Grund wurde schnell ein Antriebssystem aus Closed-Loop- und Open-Loop-Schrittmotoren angestrebt.

Für alle Anwendungen mit hohen Drehmomenten (X- und Y-Achse) sollen Closed-Loop-Schrittmotoren im Formfaktor Nema23 verwendet werden. Diese können im Falle unerwarteter Laständerungen ohne Schrittverlust weiterbetrieben werden und sind zudem in den benötigten Drehmomentbereichen preiswert verfügbar. Jedoch müssen für diese Motoren Treiber eingesetzt werden. Diese verarbeiten die Signale der SPS und treiben den Motor an. Zudem verarbeiten sie auch die Gebersignale. Falls eine Diskrepanz zwischen Gebersignal und Steuersignal erkannt wird, wird dies automatisch ausgeglichen.

Für die Z-Achse (Gabel) sowie für den Querförderer ist lediglich ein Open-Loop (geberloser) Antrieb nötig. Hier werden Nema17 Motoren eingesetzt. Bei diesen Achsen ist es relativ einfach, bei jedem Verfahren die tatsächliche aktuelle Position mit der vermuteten Position zu vergleichen, da jedes Mal über den Referenzpunkt gefahren wird.

Sensoren

Die Sensoren sind wesentlich für eine sichere und korrekte Funktion des AFSS. Sie werden zur Übermittlung der genauen Positionierung der Achsen eingesetzt, aber auch zum Überprüfen, ob die jeweiligen Boxen an den Zielpositionen angekommen sind.

Zur Übertragung des Sensorsignals wird ein AS-i-Bus verwendet. Dieser bietet eine einfache Kommunikation zwischen den Sensoren und der SPS. Die Sensoren werden über den AS-i-Slave mit 24V versorgt, jedoch ist zu beachten, dass vereinzelte Sensoren mit einer niedrigeren Spannung betrieben werden müssen, um eine lange Lebensdauer und korrekte Funktion garantieren zu können.

Ohne mechanische Endschalter würde die Gefahr bestehen, dass die Motoren nicht gestoppt werden und der Rahmen angefahren wird, was zu erheblichen Schäden am System führen kann. Aus Verfügbarkeitsgründen werden an den verschiedenen Achsen unterschiedliche Arten von Sensoren als mechanische Endschalter eingesetzt. Die Achsen werden mittels eines Photo-Interrupters, der auf einer eigens entworfenen Platine untergebracht ist, referenziert. Zum Überprüfen, ob die jeweilige Box ihre Zielposition erreicht hat, werden Lichttaster eingebaut. Zur Zuordnung der Boxen und den sich darin befindenden Bauteile werden auf den Boxen Barcodes angebracht. Um diese einlesen zu können befindet sich auf der Kommissionierstation ein Barcodescanner, der die jeweilige EAN-Nummer an die SPS weitergibt, die diese wiederum an den Server weiterleitet.

Elektrik

Die elektrische Seite der Anlage besteht unter anderem aus diesen 7 Schrittmotoren, wobei drei davon schwächer sind. Wenn alle Motoren gleichzeitig anlaufen, können Ströme von gut mehr als 20 A entstehen. Deswegen werden die Motoren auf zwei 20 A/24 V Gleichspannungs-Netzteile aufgeteilt. Die Logik an der Anlage besteht aus einer Siemens SPS samt Ein- und Ausgangsmodul sowie zwei PTO-Modulen. Der Logikkreis samt SPS sollen getrennt gespeist werden, mit einem 24V/10A Gleichspannungsnetzteil-Netzteil. Die Sensoren auf der Anlage laufen über einen ASI-Bus, der Master ist eine Karte für eine ET200. Das ASI-System muss über ein ASI-Netzteil gespeist werden. Das Fließband wird von einem Asynchronmotor mit 1.1 A Nennstrom betrieben. Dieser wird über eine Wendeschützschaltung angesteuert. Die Schütz werden von Relais angesteuert und mit einem Motorschutz wird der Motor vor Überlast geschützt. Die Anlage wird über einen FI und einen Leitungsschutzschalter abgesichert und hat zudem einen Schlüsselschalter und einen dreiphasigen Drehschalter zur manuellen Freigabe.

Die Motoren haben jeweils einen Encoder dabei. Somit müssen ein Motorkabel und ein Kabel für den Encoder verlegt werden. Beide Kabel müssen geschriftet sein.

1.4.3 Fertigung

Lasern

An der HTL-Mössingerstraße ist es den SchülerInnen möglich einen Lasercutter zur Kunststoffverarbeitung zu verwenden. Um ein gewünschtes Teil fertigen zu können, muss die Kontur dieses als .dwg zur Verfügung stehen. Dieses kann dann unter Berücksichtigung der Materialstärke aus verschiedenen Farben geschnitten werden.

Fräsen

Um Aluminiumteile zu fertigen steht eine 3-Achsen CNC-Fräse zur Verfügung. In dieser ist es möglich die Teile zu fräsen, die aufgrund ihrer hohen mechanischen Beanspruchung nicht aus Kunststoff gefertigt werden können, aus anderen Materialien herzustellen. Um dies zu bewerkstelligen, muss zuerst der G-Code in Filou-NC16 programmiert werden und kann dann in NC-Easy auf der CNC-Fräse ausgeführt werden. Da der Fräser jedoch einen größeren Durchmesser als der Laser hat, muss, wenn Ecken benötigt werden, eine Aussparung größer dem Durchmesser des Fräzers, eingeplant werden.

Als Aluminiumlegierung wird hier die Legierung EN-AW 5754 (AlMg3) verwendet. Diese Legierung aus Aluminium und Magnesium eignet sich sehr gut zum Fräßen und ist in der Lage, die mechanischen Beanspruchungen auszuhalten.

Aluminium-Extrusionen schneiden

Um Aluminiumextrusionen abzulängen wird eine eigens dafür ausgelegte Kreissäge verwendet. In dieser ist es möglich einen Anschlag für eine bestimmte Länge einzustellen und dann

abzuschneiden. Dadurch ist es möglich in kurzer Zeit viele verschiedene Längen präzise zu-zuschneiden.

3D-Drucken

Für die Herstellung von Kunststoffteilen, die im Lasercutter nicht gefertigt werden können, stehen den Schülern mehrere 3D-Drucker zur Verfügung. Die Drucker können mit verschiedenen Materialen drucken, beispielsweise PLA oder ABS. Komplexe Bauteile die nicht über die räumlichen Begrenzungen der Drucker hinausgehen, können so gefertigt werden. Dazu wird ein 3D-Modell im stl.-Format benötigt, welches dann in einem Slicerprogramm in G-Code oder Bg-Code umgewandelt werden kann (vgl. [4]). Schulintern wird hierzu primär der PrusaSlicer verwendet.

1.5 Sicherheitstechnik

Um eine langjährige korrekte Funktion des AFSS sicherstellen zu können, müssen diverse Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Diese lassen sich unterteilen in die Sicherheit der Personen, die das Lagersystem bedienen, und in die Sicherheit des Systems selbst, vor Beschädigung durch Fremdeinwirkungen oder im eigenen Fehlerfall. Um die Sicherheitstechnik richtig umsetzen zu können, muss diese bereits im Vorhinein durchdacht und gut geplant werden.

Um die Benutzerinnen und Benutzer gegen Verletzungen zu schützen muss das AFSS so positioniert werden, dass diese bei ordnungsgemäßem Gebrauch nicht in Gefahr geraten können. Der Schaltschrank sollte so ausgelegt und abgesichert werden, dass Personen nicht bei normaler Benutzung in Stromkreise geraten oder in Berührung mit unter Spannung stehenden Betriebsmitteln kommen können. Die Sicherheit von Personen hat oberste Priorität und wird über die Sicherheit des Systems gestellt.

Ebenfalls müssen die mechanischen sowie elektrischen Elemente so ausgelegt werden, dass Nutzer beim Normalgebrauch des AFSS diesem keine Schäden zufügen können. In den meisten Fällen sorgen die Sicherheitsvorkehrungen, die bereits für die Sicherheit der bedienenden Personen sorgen, auch gleichzeitig für Schutz gegen Fremdeinwirkung. Dazu gehört die Abgrenzung der empfindlichen Mechanik des Lagers durch bewusste Positionierung, sowie eine verschließbare Türe am Schaltschrank, die eine klare Trennung zwischen Elektrik und Nutzer gewährleistet.

Damit die Motoren des Lagersystems nicht nur im Normalbetrieb zum Stoppen gebracht werden, sondern im Fehlerfalle auch die Grenzen der jeweiligen Achsen nicht überschreiten und so keine Schäden an der Mechanik anrichten können, werden neben den Software-Endschaltern zusätzliche Hardware-Endschalter eingebaut. Zur Sicherung der Motoren soll ein Überstromschutz eingebaut werden. Der Schaltschrank und die sich darin befindenden Elemente und deren Verkabelung sollen so geplant und verbaut werden, dass es zu keinen Kurzschläüssen, Bränden oder anderen Schäden kommen kann. Sollte es dennoch zu einer

Situation kommen, in der das AFSS sofort zu einem Stopp gebracht werden muss, werden zum Anhalten des gesamten Systems leicht sicht- und erreichbare Not-Aus-Taster verbaut.

1.6 Kooperationspartner

1.6.1 KNAPP AG

Die KNAPP AG ist ein vergleichsweise junges Grazer Unternehmen mit dem Schwerpunkt auf Intralogistik und automatisierten Lagerlösungen. Die Firma wurde 1952 von Günter Knapp gegründet und hat sich seitdem als einer der führenden Anbieter für Lagerlogistik behauptet. Mit über 40 Standorten weltweit und mehr als 4.100 MitarbeiterInnen arbeitet KNAPP stets an neuen innovativen Ideen und Lösungen für die komplexen Probleme der Lagerlogistik. Viele der etablierten Marktlösungen wurden von KNAPP entwickelt und umgesetzt (vgl. [5]). Für das Firmenlogo siehe Abb.1.1.

KNAPP ist seit der ersten Stunde ein Unterstützer des Projektes AFSS. Die Materialspenden deckten die meisten elektrischen Komponenten, sowie die Siemens-SPS, und ein weiterführendes Alleinstellungsmerkmal von KNAPP war, dass sie dem AFSS-Betreuung zur Verfügung gestellt haben. Vor allem im Bereich der Software und der Steuerung der Anlage konnte KNAPP mit dem Wissen aus der Praxis effizient helfen. KNAPP-Mitarbeiter waren bis zum Ende des Projektes stets in Kontakt mit dem AFSS-Team und bemüht zu helfen.

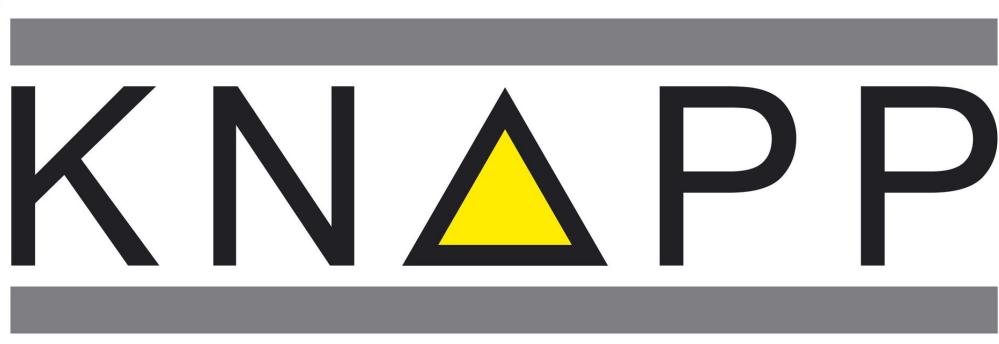


Abbildung 1.1: Logo der KNAPP AG, Quelle: [6]

1.6.2 Weidmüller GmbH

Weidmüller wurde 1850 von Carl August Weidmüller als Unternehmen in der Textilindustrie gegründet. Heute ist die Firma in mehr als 80 Ländern vertreten und arbeitet in der Branche Elektrotechnik und Automatisierung. Konkret deckt Weidmüller ein breites Spektrum an Produkten ab. Einerseits werden viele Komponenten für den Schaltschrankbau hergestellt, sowie die neuartigen Push-In-Klemmen, und andererseits hat das Unternehmen auch Produkte in Richtung Digitalisierung sowie Komponenten für den PV-Bereich (vgl. [7]). Für das Firmenlogo siehe Abb.1.2.

Weidmüller stellte dem AFSS viele Komponenten für den Schaltschrank zur Verfügung, wie

die genannten Push-In-Klemmen, aber auch DC-Sicherungen, Feldbuskoppler und PWM-/Schrittmotorkarten. Die Firma ermöglichte mit ihren Materialspenden, dass das Projekt so weitergeführt werden konnte.



Abbildung 1.2: Logo der Weidmüller GMBH, Quelle: [8]

1.6.3 igus GmbH

Die Firma igus ist Hersteller von Hochleistungspolymeren für Bewegungs-Applikationen. Sie entwickeln und produzieren sogenannte motion plastics, Produkte aus schmierfreien Kunststoffen. Dazu zählen unter anderem Energieketten, Kabel, Gleitlager, Gewindetechnik, Roboter sowie intelligente Sensorik. Der Firmenname leitet sich davon her, dass die meisten Produkte im Spritzgussverfahren hergestellt werden.

igus = Industriespritzguss (vgl. [9]). Für das Firmenlogo siehe Abb.1.3.

Igus unterstützte das Projekt durch die Bereitstellung der benötigten Kabelschleppketten, Linearführungen, sowie Spindeln. Zusätzlich wird Online eine Software von igus gestellt, welche gratis zur Verfügung steht, die zur Konfiguration der benötigten Teile genutzt wurde.



Abbildung 1.3: Logo der igus GmbH, Quelle: [10]

1.6.4 LAPP Austria GmbH

LAPP Austria GmbH wurde 1994 gegründet und ist Mitglied der globalen LAPP Gruppe. Ihr Standort in Österreich befindet sich in Linz. LAPP Gruppe ist weltweit führender Anbieter von Kabel-, Stecker- und Verbindungslösungen. Sie bietet ein umfassendes Sortiment an hochwertigen Produkten und maßgeschneiderten Lösungen, die in den verschiedensten Industriezweigen zum Einsatz kommen (vgl. [11]). Für das Firmenlogo siehe Abb.1.4.

Um unser Projekt verwirklichen zu können werden wir von LAPP durch die Bereitstellung diverser Schleppkettenkabel unterstützt, welche zur Motor- und Geberverkabelung sowie

zur Subbusverteilung verwendet werden. Außerdem haben wir Kabel zur Verdrahtung des Schaltschranks in verschiedenen Farben von LAPP erhalten.



Abbildung 1.4: Logo der LAPP Austria GmbH, Quelle: [12]

1.6.5 Mädler GmbH

Die Firma Mädler GmbH wurde 1882 gegründet und ist Hersteller und Großhändler von Antriebs- und Maschinenbauelementen. Ihr Sortiment umfasst eine Vielzahl an Produkten und wird stetig erweitert. Zu ihren angebotenen Diensten gehören das Trennen und Schweißen von Zahnriemen sowie das Trennen und Vernieten von Rollenketten auf die Wunschlänge der Kunden. Mädler geht flexibel auf die Kundenwünsche ein, auch Sonderanfertigungen nach Zeichnung gehören zu ihrem Angebot (vgl. [13]). Für das Firmenlogo siehe Abb.1.5.

Das Projekt wurde von Mädler durch die Bereitstellung von Zahnriemen sowie Zahnscheiben unterstützt.



Abbildung 1.5: Logo der Mädler GmbH, Quelle: [14]

2 Hardwareentwicklung, Softwarebackend und Benutzeroberfläche (Benedikt Simbürger)

2.1 Hardware

2.1.1 Planung - Grundanforderungen

Grundlegende Anforderungen zur Planung der AFSS-Mechanik sind Transportfähigkeit, eine möglichst einfache Realisierung mit HTL-Mitteln und möglichst wenige Kompromisse in der Funktion oder Zuverlässigkeit eingehen zu müssen.

Die Anforderung der Transportfähigkeit limitiert die Größe des Lagers auf 2,3 m Länge, um im Lift transportiert werden zu können, und auf 1,9 m Höhe aufgrund der Türhöhe im Keller. Weiters müssen auch noch Rollen an den Rahmen angebracht werden, um das Lager ohne großen Mehraufwand bewegen zu können. Diese Extrahöhe der Räder (ca. 80 mm) limitiert den Rahmen weiter.

Nun soll dieser rund 2,25 m lange und 1,8 m hohe Raum optimal genutzt werden, um eine möglichst große Lagerdichte sicherstellen zu können.

Damit eine möglichst gute Erweiterbarkeit sowie eine Fertigung an der Schule möglich sind, sollen für die mechanische Trägerkonstruktion sogenannte Item-Profile verwendet werden.

Item

Das Item-Profilsystem ist ein System, welches Aluminium-Extrusionen in verschiedenen Ausführungen sowie viele Verbindungsmöglichkeiten zu sich selbst, sowie zu anderen mechanischen Elementen bietet. Hierbei gibt es eine breite Auswahl an Profilen, von 20x20 mm bis 40x40 mm Querschnitt. Für alle Komponenten mit hoher mechanischer Beanspruchung werden 40x40-Extrusionen verbaut, da diese eine besonders hohe Biegefestigkeit aufweisen. Für Anwendungen mit geringerer Beanspruchung sowie aus Platz- und Gewichtsparitätsnahmen werden 20x20-Extrusionen verwendet. Zur Verbindung zu anderen Bauelementen gibt es die Möglichkeit, Nutensteinen mit verschiedenen Gewinden in die Nut einzulegen und dort Platten oder Ähnliches anzuschrauben. Um Item-Profile untereinander zu verbinden, können Standardverbindungssätze wie in Abb. 2.1 verwendet werden.

Die Anwendung im AFSS erfordert außerdem recht lange Verfahrwege. Um dies kostengünstig umsetzen zu können, werden V-Slot-Profile verwendet.



Abbildung 2.1: Item Profil mit Standardverbindungssetz, Quelle: [15]



Abbildung 2.2: V-Slot-Profil mit V-Wheel, Quelle: [16]

V-Slot

Auch V-Slot-Profile sind Aluminium-Extrusionen. Diese können grundsätzlich auch ähnlich wie Item-Profile mit Nutensteinen, etc. verwendet werden, sind aber zusätzlich darauf ausgelegt, dass ein V-Wheel in einer Narbe des Profils rollen kann (siehe Abb. 2.2). Diese Profile sind unter anderem in einer C-Profil-Form erhältlich. Diese sind für die langen Verfahrwege optimal, da einerseits mehr V-Wheels verwendet werden können, sowie andererseits ein sehr großes Widerstandsmoment aufweisen.

2.1.2 Vorgehensweise

Aufgrund der besonderen und sehr komplexen Anforderungen dieser Mechanik erfolgt die Entwicklung in mehreren Iterationen. Nach Auslegung der Grundparameter wird eine Grundkonstruktion erstellt, um mögliche Lösungsansätze für die jeweiligen Komponenten zu skizzieren. Durch diese grobe Planung können viele Konzepte mit geringerem Zeitaufwand iteriert werden und auch mögliche Missverständnisse o. Ä. frühzeitig aufgeklärt und überarbeitet werden. Weiters werden bei diesem Prozess wichtige Fähigkeiten in der Bedienung der CAD-Software gewonnen und so die Geschwindigkeit der zukünftigen Designiterationen beschleunigt.

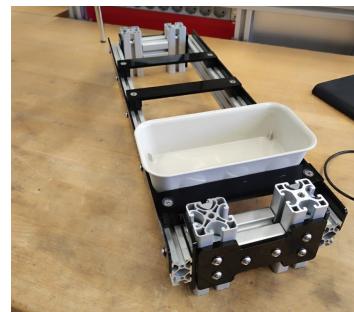
Um bestimmte Elemente der Mechanik einzeln zu testen, werden auch mehrere Prototypen gebaut und die gewonnenen Erkenntnisse in die finale Konstruktion miteingebunden.



(a) X-Achse



(b) Y-Achse



(c) Lagerregal

Abbildung 2.3: Prototypen

Rahmenbedingungen für die Fertigung

Damit die Fertigung der Mechanik an der HTL-Mössingerstraße in einem realistischen Zeitrahmen möglich ist, müssen gewisse Rahmenbedingungen bei der Planung beachtet werden.

- Für Verbindungen mit geringer bis mittlerer mechanischer Beanspruchung werden Bauteile so geplant, dass diese im Lasercutter gefertigt werden können, sowie in den Stärken, die der Werkstätte zur Verfügung stehen (3 mm, 4 mm und 5 mm). Dabei muss beachtet werden, dass die Acrylplatten gegossen sind und dadurch recht hohe Toleranzen (bis zu +0,3 mm) aufweisen.
 - Verbindungen zwischen Platten und Item- oder V-Slot-Profilen werden möglichst einheitlich gestaltet. Grundsätzlich gilt: Verbindungen mit Item-Baureihe BR5 (20x20) werden grundsätzlich in M5 ausgeführt, außer bei Platzmangel in M3. Verbindungen mit BR 8 (40x40) werden in M8 ausgeführt.
 - Bei Bauteilen mit hoher mechanischer Beanspruchung wird Aluminiumblech mit 5 mm Stärke verwendet. Dieses wird zwar CNC-gefräst, doch um bei der Fertigung Zeit zu sparen, wird davon abgesehen, Taschen o. Ä. einzuplanen. Stattdessen wird immer ein flaches Profil verwendet, welches sich mit 2.5D-Fräsverfahren mit Durchgangsfräsen, ähnlich einem Lasercutter, fertigen lässt. Bei Aluminiumteilen wird darauf geachtet, dass diese immer aus 5 mm dickem Aluminiumeloxal gefertigt werden.

Konstruktionsvorgang

Um ein so umfangreiches Projekt umsetzen zu können, muss auch bei der 3D-Planung größtmögliche Ordnung herrschen. Um effizient zu arbeiten, werden wiederverwendbare Bauteile in einer eigens angelegten Bauteilbibliothek abgelegt. So können beispielsweise Aluminiumprofile in Normlängen oder Sensoren einfach in die aktuelle Konstruktion eingefügt werden, ohne diese jedes Mal neu konstruieren zu müssen.

Auch innerhalb einer Konstruktion ist auf Übersichtlichkeit zu achten. Zu diesem Zweck ist

es sinnvoll, zusammenhängende Objekte in Komponenten zusammenzufassen. Diese sind vergleichbar mit Ordnern. Wie auch Ordner können Komponenten ineinander verschachtelt werden. Dadurch lässt sich eine saubere Struktur umsetzen, die es beispielsweise erleichtert, einzelne Konstruktionsteile zu betrachten oder gezielt Änderungen daran vorzunehmen.

2.1.3 Rahmen

Der Rahmen des AFSS bezeichnet jene Struktur, die sowohl als äußeres Gehäuse als auch zur grundlegenden mechanischen Stabilität dient. Er soll die maximal zulässige Höhe und Länge optimal ausnutzen, während die Breite so gering wie möglich gehalten wird.

Umgesetzt wird dies mit einem Gerüst aus 40x40-Aluminium-Extrusionen. Dieses besitzt zusätzlich oben und unten zwei Längsstreben, die eine möglichst platzsparende Aufhängung der X-Achsen-V-Slot-Profile ermöglichen. Auf einer Seite wird zudem eine Ausparung eingeplant, um ausreichend Freiraum zu schaffen, damit der Querförderer die Boxen reibungslos auf das Förderband transportieren kann.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass Rollen für den Transport angebracht werden. Da diese die maximale Höhe beeinflussen, muss dies in die Planung der Y-Achse einfließen, um sicherzustellen, dass das System problemlos durch Türen bewegt werden kann.

2.1.4 X-Achse

Die X-Achse des AFSS ist das mechanische Herzstück. Sie ist die Achse, die sich horizontal bewegt und einen langen Verfahrweg sowie hohe mechanische Anforderungen besitzt. Sie muss sowohl ihr Eigengewicht als auch das Gewicht der YZ-Achse tragen.

Das Grundelement der X-Achse besteht aus V-Slot-C-Profilen, die oben und unten aufgehängt werden. Diese Profile sind in Längen von 1,5 m erhältlich, daher wird die gesamte Achse so ausgelegt, dass zwei Stück (also insgesamt 3 m Schiene) verwendet werden. Zusätzlich sind die Profile mit jeweils sechs Nivellierungsschrauben pro V-Profil ausgestattet, um sie möglichst parallel zueinander sowie exakt in Waage auszurichten.

Grundanforderungen

Auf der X-Achse bewegt sich der X-Schlitten, dessen Aufgabe es ist, die Y-Achse präzise zu positionieren. Dafür muss er alle erforderlichen Motoren und Sensoren enthalten. Zudem muss er einen Angriffspunkt bieten, um seine Bewegung zu ermöglichen.

Der Schlitten sollte sowohl horizontal als auch vertikal möglichst kompakt konstruiert sein, um einen maximalen Verfahrweg in X- und Y-Richtung zu gewährleisten.

Antrieb

Angetrieben wird die X-Achse mit zwei Schrittmotoren, welche jeweils an einer Schiene (oben und unten) angebracht werden. Diese treiben mithilfe eines Zahnriemens die zwei X-Schlitten an. Als Zahnriemen wurde aufgrund der hohen Kraftübertragung sowie der großen

Länge ein AT5-Zahnprofil mit 16 mm Riemenbreite der Firma Mähdler gewählt. Dieser wird vom Motor über eine entsprechende Zahnscheibe angetrieben und am Shuttle befestigt. Als Schrittmotor wird aus Einfachheitsgründen dasselbe Modell wie bei der Y-Achse verwendet. Diese erzeugen auch genügend Moment, um die X-Achse anzutreiben.

Riemenspannung X-Achse

Da der Riemen für eine zuverlässige Kraftübertragung bei so langen Verfahrwegen eine relativ große Vorspannkraft benötigt, ist das Zahnriemenklemmelement auf der X-Achse auch dementsprechend auszuführen. Um den Zahnriemen zu greifen, werden Teile mit Negativverzahnung 3D-gedruckt, in dieses der Zahnriemen dann auf beiden Seiten des Schlittens geklemmt wird. Die Aufhängung der einen Seite ist einfach mit den Item-Profilen verschraubt, lässt aber noch etwas Platz, um den Riemen mit der Hand vorzuspannen. Auf der anderen Seite ist das Klembrett über zwei Gewindestangen mit dem restlichen Shuttle verbunden. Diese können festgezogen werden, um die nötigen Vorspannkräfte zu erzeugen (siehe 2.4a). Außerdem ist diese Spannvorrichtung in einem Formfaktor ausgeführt, welcher es erlaubt, direkt darüber die Motoren der Y-Achse anzubringen (siehe 2.4b).

Achsenführung

Die Führung der Achse im V-Slot-Profil wird mit V-Wheels durchgeführt. Sechs V-Wheels werden von oben auf das C-Profil gedrückt. Jedes Rad wird einzeln aufgehängt. Weiters ist überall eine Schraube verbaut, mit welcher das Rad weiter in die Führung hineingedrückt werden kann, sowie ein bis zwei Klemmpunkte, um bei Betrieb die Last von der Spannschraube nehmen zu können. Durch den geringen Platz im Schlitten war es durchaus eine Herausforderung, dass all diese Mechanik neben den Spannelementen und Motoren in einem so kleinen Shuttle Platz finden. Auf der Seite des Schlittens werden noch weitere V-Wheels angebracht, welche die Spurführung übernehmen. Im oberen Schlitten werden nur diese Führungsräder verbaut, da es nicht möglich und nötig ist, vertikale Kräfte zu unterstützen.

Kabelführung

Um Sensoren und Aktoren der Y- und Z-Achse zu versorgen, müssen dementsprechende Leitungen auf das X-Shuttle verlegt werden. Dies wird mithilfe einer Kabelschleppkette der Firma Igus umgesetzt. Diese wird parallel zum unteren C-Profil verlegt und unter Berücksichtigung der Biegeradien am X-Shuttle befestigt. Bei dieser ist darauf zu achten, dass sie genügend Platz für alle benötigten Leitungen, sowie genügend Freiraum für die Biegung der Kabelschleppkette einhält (vgl. [17]). Weiters müssen Signal- und Aktorstromkreise durch Trennstegs voneinander getrennt werden.

Um die weiteren Geräte am AFSS zu versorgen, müssen zusätzlich noch Verdrahtungskanäle am Rahmen angebracht werden.

Sensoren

Die Sensorik ist bei jeder Achse ähnlich aufgebaut. Immer zwei Endschalter und ein Referenzierschalter. Bei der X-Achse werden als Endschalter mechanische Rolltaster verwendet. Diese werden neben den V-Slot-Profilen befestigt und von einem, vom Schlitten abstehenden Arm ausgelöst.

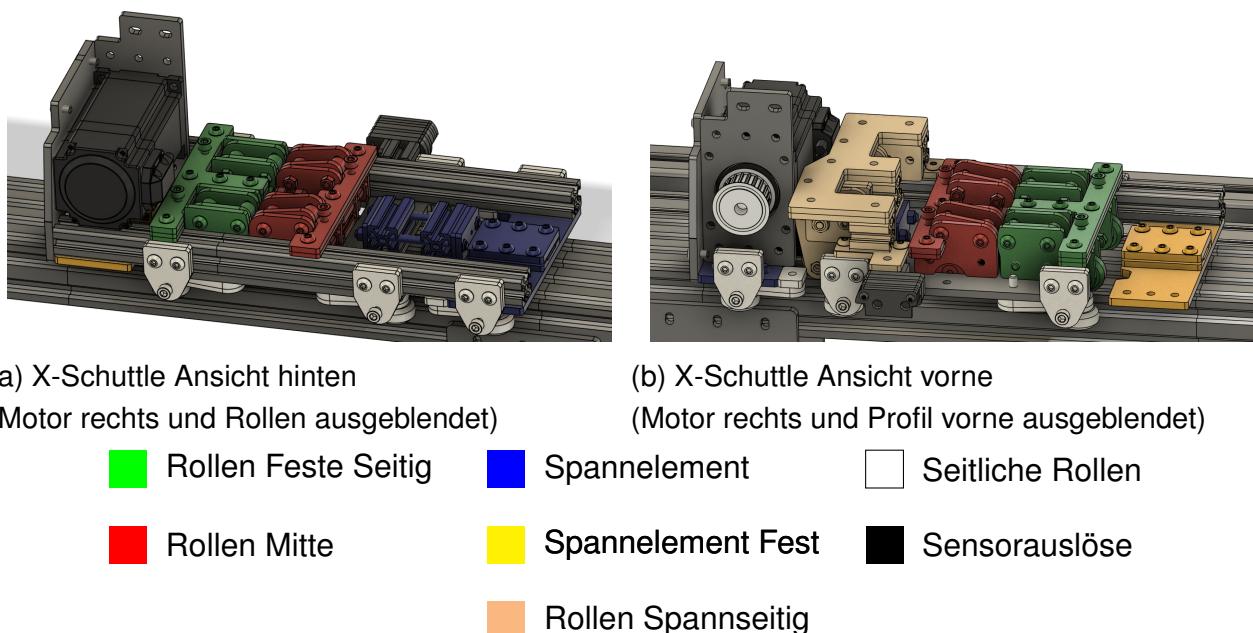


Abbildung 2.4: X-Achse

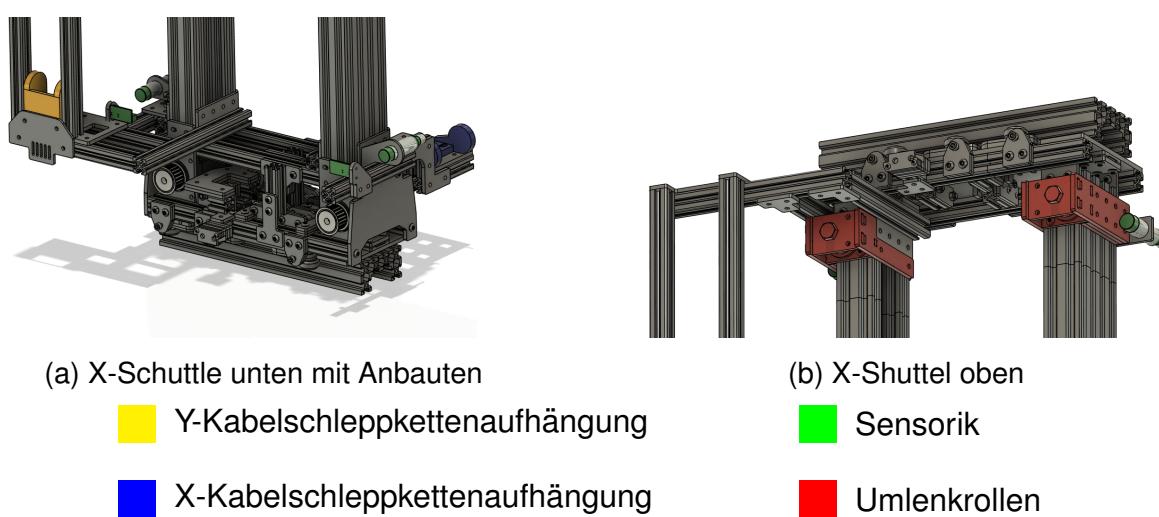


Abbildung 2.5: X-Achse Gesamtansichten

2.1.5 Y-Achse

Als Y-Achse wird jene Achse bezeichnet, die vertikale Bewegung durchführt. Sie hat die Aufgabe, die Z-Achse bzw. das YZ-Shuttle auf Position zu bringen. Wichtig hierbei ist jedoch, dass die Y-Achse die Aufgabe des Aufhebens der Box übernimmt.

Antriebsauslegung

Dadurch, dass die Y-Achse sowohl das YZ-Shuttle als auch die Boxen aufheben muss, wird der Antrieb dementsprechend dimensioniert. Als Formfaktor der Schrittmotoren soll Nema23 verwendet werden. Diese sind weit verbreitet und im Vergleich zu Servomotoren relativ kostengünstig. Als Grundformfaktor wird ein 2 Nm Motor gewählt. Nun soll überprüft werden, ob dieser die Last der YZ-Achse auch antreiben kann.

$$F = \frac{M}{\frac{d}{2} \cdot 1000} \cdot n$$

$$F = \frac{2 \text{ Nm}}{\frac{30 \text{ mm}}{2} \cdot 1000} \cdot 2 = 266 \text{ N}$$

F :	M :	d :	
Antriebskraft der Y-Achse	[N]	Drehmoment eines Motors	[Nm]
		Durchmesser der Zahnscheibe	[mm]
		n :	Anzahl der Antriebe

Bei der Konstruktion einer früheren Version des YZ-Shuttles wurde erfasst, dass das Shuttle bis zu 13 kg wiegen kann. Dies wird zwar in einer späteren Iteration des Designprozesses noch verbessert, dient jedoch als Richtwert für die Antriebsauslegung. 13 kg erzeugen ohne Berücksichtigung von Reibung eine Kraft von knapp 130 N. Die Antriebskraft der Schrittmotoren reicht auf jeden Fall aus. Doch diese Überdimensionierung ist unter dem Aspekt, dass die Antriebe über keine Bremse verfügen und somit das gesamte Gewicht der Z-Achse sowie der Kabelschleppkette immer unterstützt werden müssen, durchaus sinnvoll.

Zahnriemen und Umlenkung

Als Zahnriemen wird auch bei der Y-Achse auf ein AT5x16-Profil gesetzt. Doch hier gestaltet sich die Positionierung nicht so simpel wie bei der X-Achse. Da der Zahnriemen beim YZ-Shuttle an einem bestimmten Punkt befestigt werden muss, wird er auch dort wieder rückgeführt. Die Umlenkung des Zahnriemens gestaltet sich jedoch wesentlich anspruchsvoller als bei der X-Achse, da einerseits ein möglichst kompakter Formfaktor angestrebt wird und andererseits, eine aufhängungstechnisch sehr unvorteilhafte Positionierung vor dem V-Slot-C-Profil (da dort keine einfache Möglichkeit besteht, etwas in Z-Richtung vor der Y-Achse zu befestigen) erforderlich ist. Aus diesem Grund wird eine Konstruktion aus Aluminium, welche sich selbst verhakt, konstruiert (siehe 2.5b). Sie muss seitlich an den Profilen verschraubt werden. Im vorderen Überhang werden Aluminiumelemente eingehängt, die die Aufhängung der Achse für die Umlenkung erlauben.

Zahnriemenaufhängung

Um die optimale Position der Zahnriemenaufhängung für die Y-Achse bestimmen zu können, wird überschlagsmäßig ein Massenschwerpunkt in Z-Richtung berechnet. Um mit der Konstruktion beginnen zu können, werden hierfür näherungsweise Werte angenommen.

$$Z_s = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=0}^n z_i \cdot m_i$$

Z_s :	Position des Massenschwerpunkts	[m]
M :	Gesamtmasse	[kg]
z_1 :	Z-Koordinate der Teilmasse	[m]
m_1 :	Masse der Teilmasse	[kg]

Gegenstand	Masse in kg	Position in mm
Motor	0.3	21
Z-Schiene	1	150
Z-Gable	0.3	180

Tabelle 2.1: X-Achse unbeladen und eingefahren

Gegenstand	Masse in kg	Position in mm
Motor	0.3	21
Z-Schiene	1	150
Z-Gabel	1.3	380

Tabelle 2.2: X-Achse beim Ladevorgang

So werden zwei Schwerpunkte errechnet: ca. 130 mm im unbeladenen Zustand und 250 mm während dem Ladevorgang. Da die Stabilität des Y-Shuttles während dem Ladevorgang wichtiger ist als während einer Leerfahrt, wird das Y-Shuttle so positioniert, dass die Aufhängung des Zahnriemens bei rund 200 mm liegt.

Weiters muss auch dieser Zahnriemen wieder gespannt werden. Durch die geringere Zahnriemenlänge wird auch der Spannmechanismus verkleinert. Dieser muss aus Platzgründen, außerhalb der Flucht zum Zahnriemen angebracht werden. Die Folgen dieser Auslenkung auf die Riemenspannung können durch folgenden Ausdruck, der die Länge, die der Zahnriemen bei einer bestimmten Position braucht, um spannungslos zu sein, approximiert, ermittelt werden. (Hierbei wird von einem linearen Zusammenhang zwischen der Kraft auf die Aufhängung und der Längenkontraktion ausgegangen. In der Realität würde jedoch die Elastizität des Zahnriemens sowie jene der Aufhängung Auswirkungen haben, aber diese verringern die Auswirkungen).

$$K(h) = \sqrt{h^2 + d^2} + (l - h)$$

$$K(h) = \sqrt{h^2 + 28^2} + (1500 - h)$$

$K(h)$: theoretische Länge des Riemen [mm]
 h : Position des Schlittens [mm]
 l : Umlenkungsrollenabstand [mm]
 d : Abstand der Klemme zur Flucht [mm]

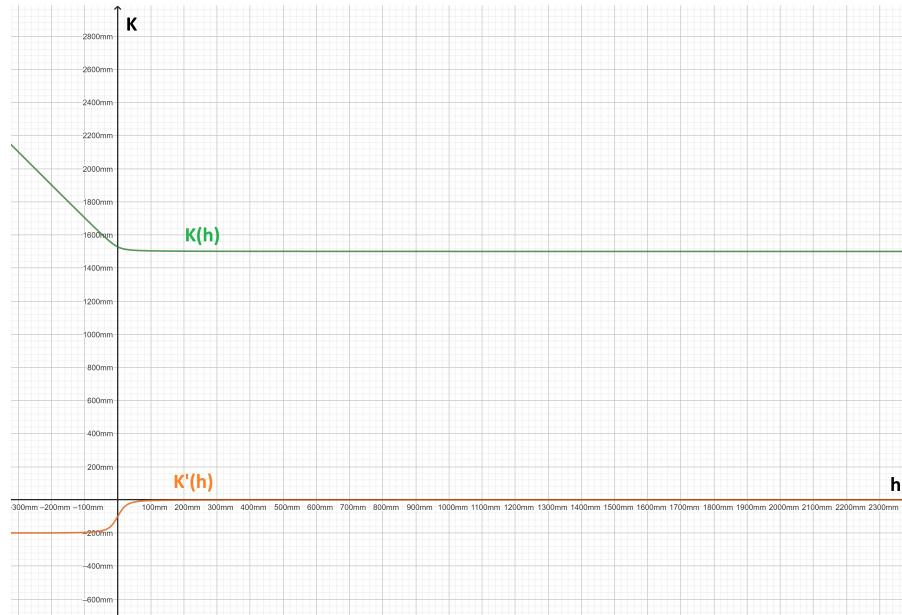


Abbildung 2.6: Zahnriemenkontraktion grafisch dargestellt

Aus der Abbildung 2.6 geht, wie schon intuitiv vermutet, hervor, dass diese Asymmetrie nur dann ein Problem darstellt, wenn der Schlitten weit unten ist. Ein konkretes Maß kann folgendermaßen ermittelt werden: $K(80) - (750) = 4.24\text{mm}$. Der Unterschied in der benötigten Riemenlänge zwischen der Mittelstellung (750 mm) und der Ruheposition (80 mm über der Zahnscheibe) beträgt also rund 4 mm. Im Hinblick darauf, dass diese Länge auf zwei Seiten (Hin- und Rücklaufseite) des Zahnriemens aufgeteilt wird (welcher etwas elastisch ist), sowie dass eine leichte Biegung in der Umlenkungsaufhängung auftritt, wird diese Extraspannung toleriert.

Shuttleführung

Das YZ-Shuttle wird aus Stabilitätsgründen ebenfalls mit V-Slot C-Profilen geführt. Diese sind auf beiden Seiten jeweils oben und unten befestigt. Die Länge wird so gewählt, dass die Verwendung eines 1,5 m langen Profils perfekt ausreicht. Da das YZ-Shuttle wesentlich weniger Kraft auf die Führung auswirkt, können weniger Führungsräder verwendet werden. Die Hauptführungsräder werden so positioniert, dass sich ein Dreieck ergibt. Dieses dient dazu, dass sowohl beim Aufhebevorgang als auch beim Leerlauf immer eine Klemmung um die Führungsschiene entsteht. Hierbei sind jene V-Wheels, welche beim Aufhebevorgang belastet werden, doppelt ausgeführt. Wie schon bei der X-Achse sind auch hier wieder alle V-Wheel-Abstände mit Schrauben einstellbar. Zusätzlich zur Hauptführung sind auch außen

jeweils noch zwei Führungsräder angebracht, um das Shuttle zusätzlich zu stabilisieren. Dabei muss die Halterung auf der Zahnriemenseite dünner ausgeführt werden, da sonst eine Kollision zwischen Riemen und Halterung zustande kommen würde.

Sensoren

Da die Endschalter der Y-Achse kapazitiv ausgeführt sind, muss auf dem Shuttle ein metallisches Gegenstück angebracht sein. Diese stehen oben und unten über und lösen so vor einer Kollision aus. Um die Sensoren anzubinden, wird auch ein ASi-Client auf dem X-Shuttle angebracht.

Kabelschleppkette

Um eine Versorgung der Z-Achse herstellen zu können, muss eine Kabelschleppkette vom X- zum Y-Shuttle angebracht werden. Auch diese muss Sonderanforderungen erfüllen. Da die Versorgung von unten ausgeht, muss die Kabelschleppkette stehend eingebaut werden. Dies ist grundsätzlich eine äußerst ungünstige Situation, da diese Schleppkette der Beschleunigung des X-Shuttles ausgesetzt ist. Um ein Schwingen möglichst zu verhindern, werden seitlich noch Führungselemente angebracht. Außerdem sind die Anschlusselemente fest, um die ersten Kettenglieder extra zu unterstützen (vgl. [18]).

2.1.6 Z-Achse

Als Z-Achse oder Gabel, wird jener Teil des AFSS bezeichnet, der die Boxen in das Lager ein- und ausfährt. Dieser ist in das YZ-Shuttle integriert. Es wird davon ausgegangen, dass um Boxen ein- und auszuheben ca. 210 mm Überstand der Gabel benötigt wird. Dies ist also der Mindestverfahrweg der Z-Achse

Linearführung

Geführt wird die Gabel mit zwei Führungsschienen von Igus. Diese bieten optimale Stabilität sowie, in Verbindung mit einem Führungswagen, eine reibungsarme Bewegung. Wichtig ist jedoch, dass der Schwerpunkt der am Führungswagen befestigten Last nicht mehr als die doppelte Wagenlänge über den Wagen hinausgeht. Ansonsten kommt es zu sehr starker Verklemmung, und ein Betrieb ist nur mehr schwer möglich. Da bei einer Auslegeroperation der Schwerpunkt sehr weit übersteht, wird eine TS-01 Führungsschienen- und -wagenkombination verwendet. Diese wirkt zwar recht überdimensioniert, doch da der Führungswagen so lang ist, kann so ein reibungsarmer Betrieb gewährleistet werden.

Motor

Als Antrieb für die Z-Achse sollen zwei Nema-17 Schrittmotoren verwendet werden. Hier ist es nicht nötig, eine Closed-Loop-Steuerung zu verwenden, da bei jedem Hub auch referenziert werden kann. Weiterhin kann dadurch Kabelschleppkettenplatz gespart werden.

Spindelauslegung

Die Z-Achse wird mit einer Spindel angetrieben. Dies bietet Vorteile in der Positionsgenauigkeit und der Kraftübertragung. Jedoch ist es wichtig, die richtige Spindelsteigung auszuwählen, um die Balance zwischen Geschwindigkeit und Kraft zu halten. Ziel ist es, für eine Richtung des Hubs, maximal 5 Sekunden zu benötigen. Die Spindel wird über eine Zahnscheibe und Zahnriemen mit dem Motor verbunden.

Berechnet werden kann diese Zeit mit folgendem Ausdruck:

$$\begin{aligned}
 M_{mot} &: \text{Drehmoment} & \left[\frac{N}{m} \right] \\
 v = \frac{k}{n_{welle}} &= \frac{k}{\frac{n_{motor}}{i}} & n_{mot} &: \text{Drehzahl} & \left[\frac{1}{s} \right] \\
 F = \frac{M_{mot} \cdot i \cdot k}{n_{welle}} &\cdot 2\pi f \cdot \eta & k &: \text{Wellensteigung} & \left[\frac{mm}{U} \right] \\
 && i &: \text{Übersetzungsverhältniss} \\
 && \eta &: \text{Wirkungsgrad der Gewindeschraube}
 \end{aligned}$$

So wird berechnet, dass eine DS10x12-Spindel mit ihrer 12 mm Steigung, bei einer Motordrehzahl von 600 U min^{-1} ($0,42 \text{ N m}$) und einem Übersetzungsverhältnis von 2:1, ca. 4 Sekunden pro Richtung benötigt und mit einer Kraft von ca. 90 N bewegt wird.

Dies entspricht den Anforderungen, und somit wird diese Spindel gewählt. Um sie zu lagern, wird vorne und hinten der Durchmesser der Spindel verringert, sodass diese in Kugellagern geführt werden kann.

Sensorik

Um auch die Endschalter der Z-Achse, sowie weitere Sensoren einzulesen, wird auch hier ein ASi-Slave montiert.

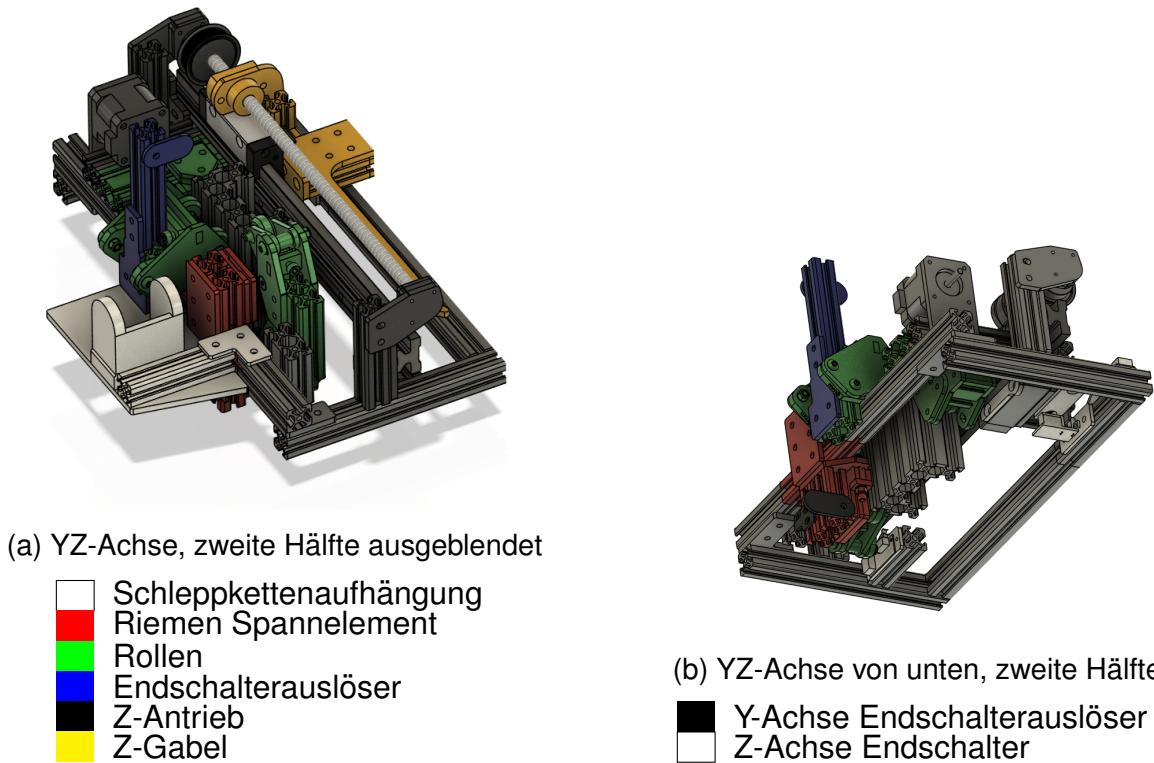


Abbildung 2.7: YZ-Achse

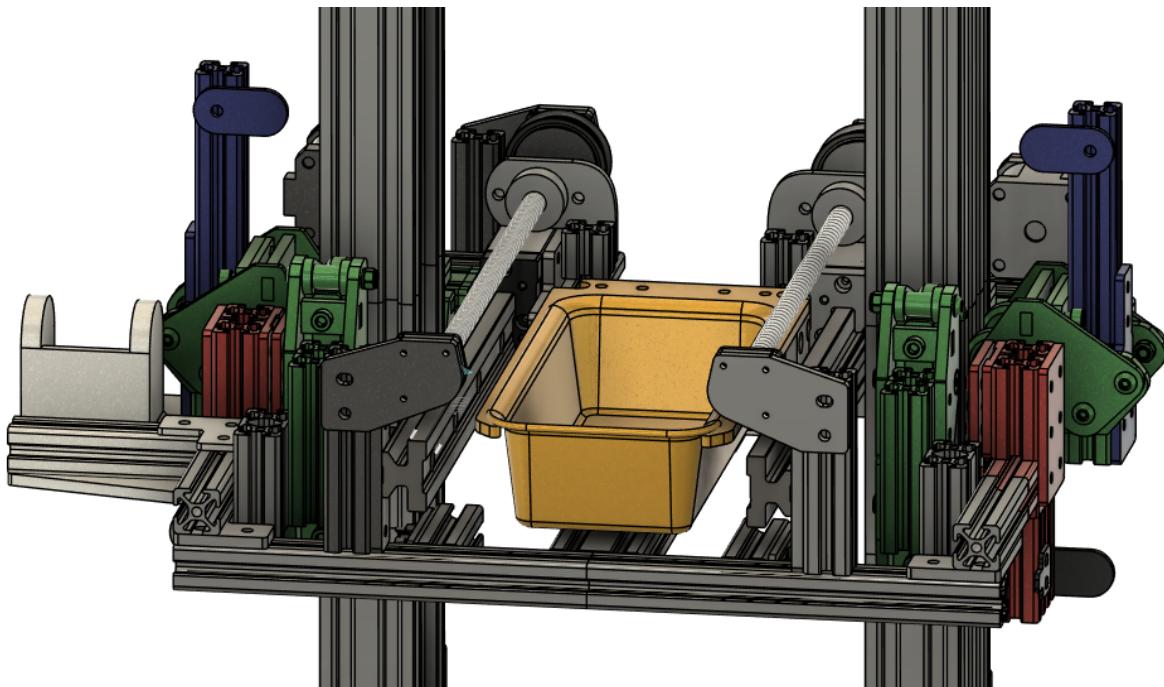


Abbildung 2.8: XY-Shuttle Gesamtansicht

2.1.7 Lager

Das Lager soll die Boxen beinhalten und die Möglichkeit zulassen, dass diese von der Gabel ein- und ausgehoben werden. Weiterhin muss die Box in X- und Z-Richtung geführt werden, um die Positionsgenauigkeit sicherzustellen, da sonst die Gabel möglicherweise in die Box fährt. Das Lager wird darauf ausgelegt, dass Boxen mit den Maßen 50 mm × 100 mm × 200 mm verwendet werden können. Diese Boxen sind nach unten hin verjüngt und haben oben eine Lippe, an der die Gabel greift. Umgesetzt wird dies mit einem Gerüst aus 40x40-Item-Profilen, welches im Nachhinein in den restlichen Rahmen eingesetzt wird. Auf diese werden 20x40-Profile horizontal aufgeschraubt, auf denen die Boxen stehen. Vorne und hinten wird eine Kunststoffplatte aufgeschraubt, welche leicht übersteht und somit die Box in Z-Richtung positioniert. Zwischen den Boxen wird ein Trennsteg eingebaut, welcher die Boxen in X-Richtung positioniert sowie den richtigen Abstand zwischen den Boxen erhält.

2.1.8 Querförderer

Da es dem Portalroboter nicht möglich ist, die Boxen direkt auf das Förderband zu legen, muss hier noch ein System eingebaut werden, welches dies erledigt. Da die Boxen beim Ein- und Auslagern den gleichen Weg zurücklegen, muss dieser Querförderer die Box sowohl auf das Förderband als auch vom Förderband herunterbewegen können.

Zu diesem Zweck wird eine weitere, der Gabel ähnliche Konstruktion montiert, welche auf einem 20x40-V-Slot-Profil verläuft. Die Box wird dann hin- und hergeschoben, um vom Lager auf das Förderband umzuladen. Dadurch ist es noch möglich, dass die Gabel der Z-Achse die Box in der Nullstellung ein- und aushebt.

2.1.9 Fertigung der Einzelteile

Die Fertigung der Bauteile erfolgt parallel zur Montage. Hierzu werden viele Teile gefräst, gelasert und Aluminiumprofile werden zugeschnitten. Manche Teile sind jedoch komplexer und müssen speziell angefertigt werden.

Umlenkrollen

Die Umlenkrollen sind jeweils am Ende der X- und Y-Achsen angebracht. Da diese der gesamten Spannkraft ausgesetzt sind, erfordert dies spezielle Anforderungen an die Aufhängung sowie an die Umlenkrolle selbst. Diese soll primär eine 180°-Wende des Zahnrämens ermöglichen und sekundär eine Führung für den Riemen bieten.

Um diese Anforderungen umzusetzen, werden vier Aluminium-Drehteile gefertigt, in welche Kugellager eingepresst werden.

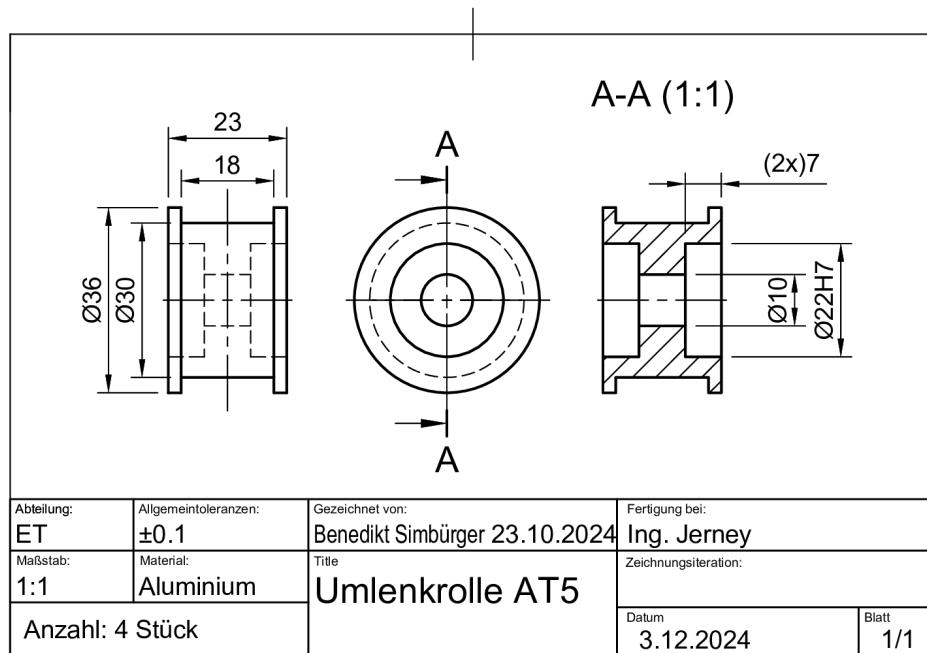


Abbildung 2.9: Bauteilzeichnung Umlenkrolle

Die Fertigung dieses Teils nach Abb. 2.9 lässt sich in folgende Teilschritte unterteilen:

- Zuerst die Frontfläche plandrehen (Drehzahl: 900 U min^{-1})
- Ungefähr 30 mm Länge auf das Außenmaß von 36 mm längsdrehen
- Mit 9,8 mm Bohrer das mittlere Loch vorbohren (540 U min^{-1})
- Mit 10 mm Reibeisen und viel Öl das Loch auf eine genaue Passung bringen (260 U min^{-1})
- Die Position relativ zum Backenfutter markieren, um beim Neu-Einspannen Rundlaufgenauigkeit zu gewährleisten
- Zylinder bei ca. 26 mm abstechen (540 U min^{-1})
- Umspannen und auf Maß plandrehen (900 U min^{-1})
- Die Aussparung für die Lager mit Eckdrehmeißel beginnen, jedoch nach innen hin nur 6,8 mm
- Bei ca. 17 mm Lochdurchmesser den tatsächlichen Durchmesser mit der Digitalanzeige vergleichen und gegebenenfalls korrigieren
- Bei 21,5 mm den Oberschlitten die restlichen 0,2 mm zustellen und die gesamte Tiefe plandrehen
- Den Lochdurchmesser auf 21,95 mm erweitern und dann in kleinen Inkrementen zustellen, bis das Lager gerade so nicht passt, um einen Presssitz zu gewährleisten. Dies tritt bei Lagern mit 22 mm Außendurchmesser bei rund 22,045 mm ein.

- Da für die Einsparung der Riemenführungsfläche kein Angriffspunkt verfügbar ist, wurde als Halterung ein Dorn nach Abb. 2.10a gedreht, auf welchen das Drehteil aufgeschraubt wird.
- Mit dem Abstechmeißel wird in 2 mm Inkrementen die Zahnriemenauflagefläche herausgedreht, bis auf 21,95 mm, sowie links und rechts den Rand 1 mm extra dick lassen (siehe Abb. 2.10b). (540 U min^{-1})
- Am Schluss wird die Rand Tiefe auf Maß gedreht.
- Als letzten Schritt werden links und rechts die zwei Lager eingepresst.

Durch die verhältnismäßig großen Toleranzen bei den Lageraussendurchmessern wird bei 2 der 8 Lagerpassungen zusätzlich Lagerkleber verwendet, um einen zuverlässigen Halt zu gewährleisten, da bei diesen die Toleranzen nicht eingehalten wurden.

Nach diesem Vorgang sind die vier Umlenkrollen fertig (siehe 2.10c) und können auf einem 8-mm-Schaft montiert werden.

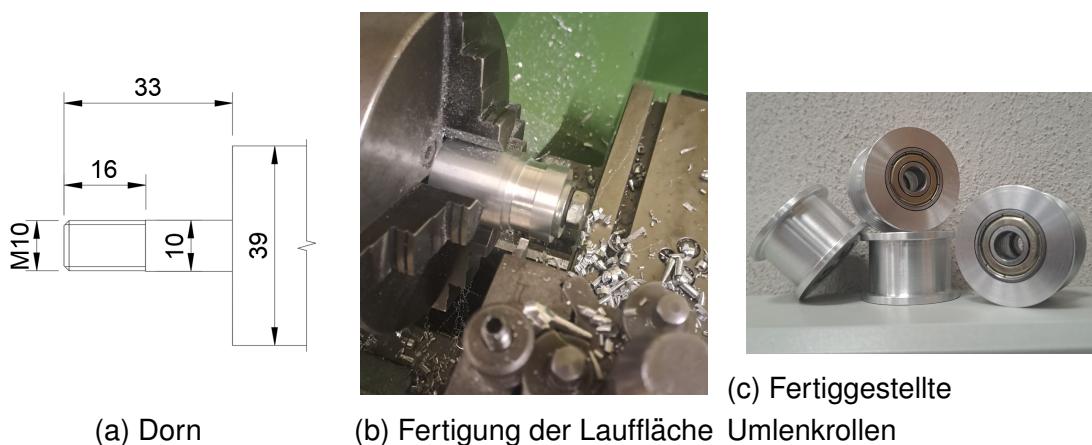


Abbildung 2.10: Umsetzung der Umlenkrollen

Distanzhülsen

Bei den meisten V-Wheels werden Distanzhülsen zur Klemmung benötigt. Diese müssen ein sehr spezielles Maß (13,4 mm Länge) haben. Deshalb müssen Hülsen mit einer Länge von 20 mm auf diese Länge heruntergedreht werden. Dies wird mit dem rechten Eckdrehmeißel bei einer Drehzahl von 740 U min^{-1} ausgeführt. Da relativ viele solcher Teile benötigt werden, wird beim Einspannen der Drehmeißel selbst als Endstopp verwendet, um ein relativ wiederholgenaues Maß zu erhalten sowie eine simple Durchführung zu erlauben. Es wird also der Meißel auf Position gefahren und das Werkstück eingespannt, sodass es am Drehmeißel ansteht. Nun wird der Drehmeißel zurückgefahren und die Hülse kann einfach durch mehrere Plandrehoperationen, bis der Schlitten ansteht, gekürzt werden. Es muss also weder gemessen noch die Digitalanzeige verändert werden, um schnell mehrere Teile hintereinander zu fertigen.

Zahnscheiben

Da die Welle des Motors recht kurz ist und die Motoraufhängung Platz wegnimmt, ist es erforderlich, die Zahnscheibe unkonventionell mit dem Motor zu verbinden. Es werden also in der Zahnriemen-Kontaktfläche zwei Löcher gebohrt, angesenkt und mit M4-Gewinde versehen, um dort 2 M4-Wurmschrauben einzuschrauben. Bei der Länge der Wurmschrauben muss darauf geachtet werden, dass sie im montierten Zustand vollständig unter der Oberfläche liegen, um den Zahnriemen nicht zu beschädigen.

2.1.10 Aufbau

Nach Fertigung der Einzelteile kann das AFSS sukzessive zusammengebaut werden.

Rahmen

Gestartet wird mit der Montage des Rahmen. Hierfür werden zuerst alle Aluminiumprofile auf Länge zugeschnitten und Gewinde in den Enden geschnitten. Da nicht genug Profile in der Gesamtlänge des AFSS verfügbar sind, müssen teils noch Verbinder eingesetzt werden. An den Ecken werden die Profile dann mit Standardverbindungssätzen verbunden. Unten werden dann noch die Rollen montiert.

X-Achse

Nachdem die Aufhängungen für die V-Slot Profile gefräßt sind, werden diese an den Rahmen angeschraubt. Auf die V-Slot Profile wird das Nivellierungssystem aufgeschraubt, dann werden die Profile, wie in Abb. 2.11, an der Aufhängung befestigt.

Danach werden die Umlenkrollen- und die Motoraufhängungen montiert. In diese werden dann Umlenkrollen und Motoren montiert.

Nach Fertigung der Bauteile erfolgt auch der Zusammenbau des sehr komplexen unteren X-Shuttels relativ reibungslos. Die Stoßverbindung der V-Slot-Profile kann jedoch nicht 100%ig ausgerichtet werden, weshalb dies Übergänge noch abgeschliffen werden.

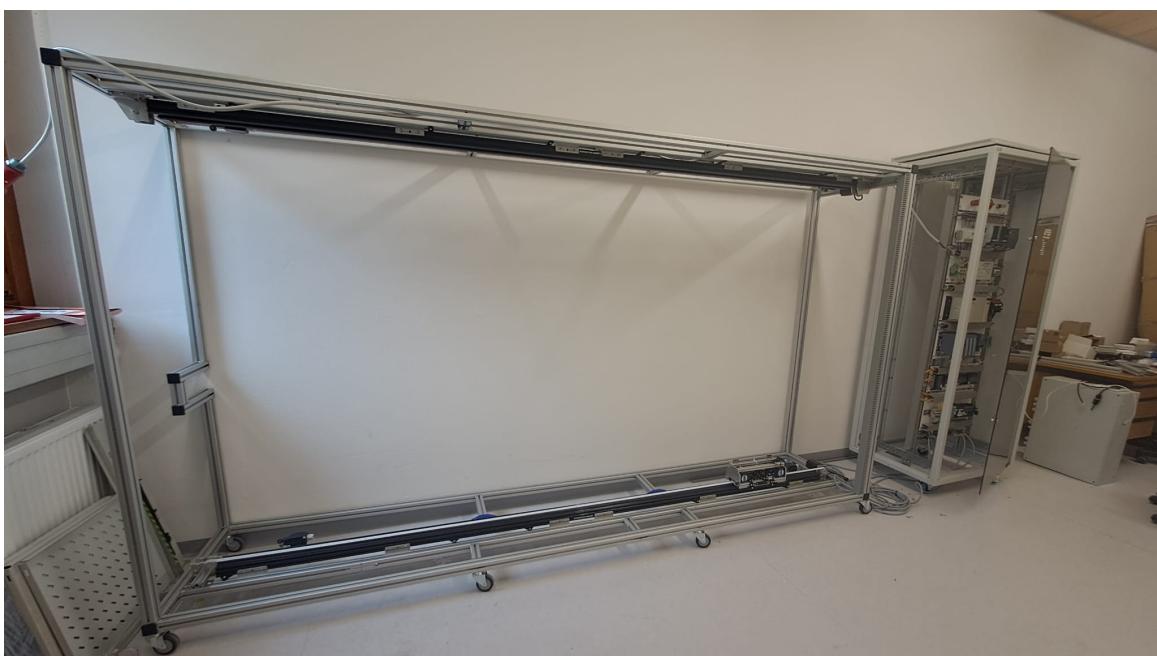


Abbildung 2.11: Aufgebauter Rahmen und X-Achse

2.1.11 Fazit

In der Mechanik des AFSS sind nach aktuellem Stand über 1000 Bauteile verbaut. Die Umsetzung dieses Projekts war nur durch eine sehr umfangreiche theoretische Planung möglich. Zwischen Haupt- und Einzelversionsiterationen wurden mehrere hundert Versionen der Mechanik in Fusion360 durchgeführt. Das dabei erlernte Wissen, sowie das daraus resultierende Design, welches viele Aspekte von Fertigung, Wartung und Zusammenbau bedenkt, macht es erst möglich ein solches Vorhaben zu versuchen. Das Gesamtkonstrukt (wie in 2.12 ersichtlich) beinhaltet dann die gesamte Mechanik. Erst dadurch, dass eine volle Konstruktion erstellt wurde, war es möglich mit den Aufbau zu beginnen. Diese funktionierte, nachdem die benötigten Teile soweit verfügbar waren, auch reibungslos.

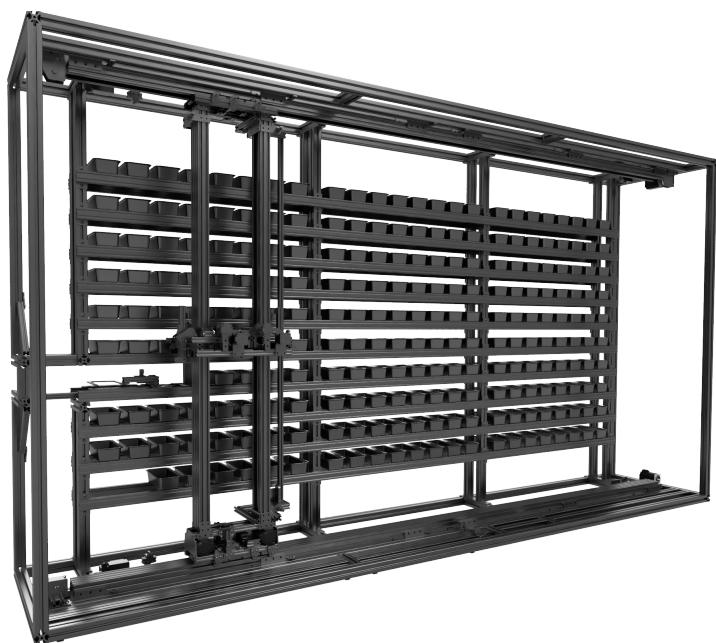


Abbildung 2.12: Gesamtkonstruktion

2.2 Software und Benutzeroberfläche

2.2.1 Grundlegendes

Um dem Endnutzer die Möglichkeit zu geben, das AFSS möglichst einfach zu bedienen und die komplexe Logik der Lagersteuerung auszuführen, bedarf es eines Servers (Backend) und einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI oder Frontend). Diese müssen eine Vielzahl an verschiedenen Funktionen beinhalten.

2.2.2 Aufbau

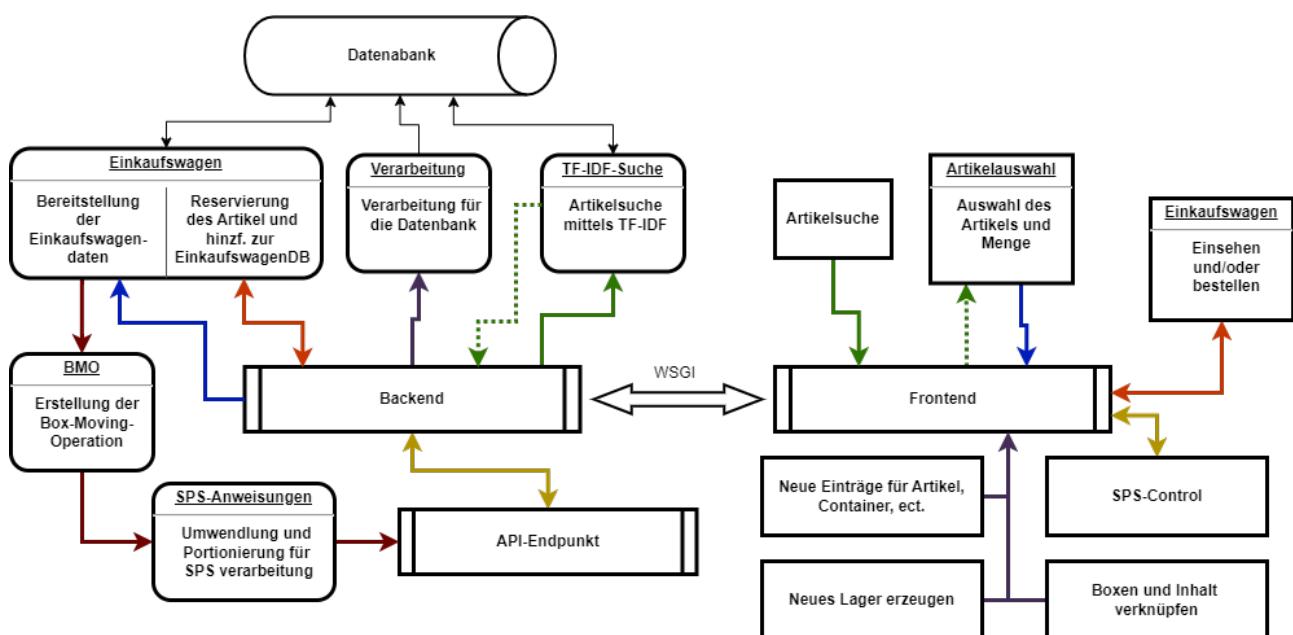


Abbildung 2.13: Gesamtüberblick des Servers

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muss eine Lösung mit sehr hohem Grad an Freiheit in der Logik sowie der UI (user interface)-Gestaltung gewählt werden. Weiters muss es möglich sein, dass zukünftige Schülerinnen und Schüler diese instand halten und erweitern. Aus diesen Gründen, sowie den bereits vorhandenen Kenntnissen, wird die Programmiersprache „Python“ als Grundlage des Servers verwendet.

Python

Python ist eine vielseitige und hochentwickelte Programmiersprache, die für ihre Einfachheit und Lesbarkeit bekannt ist und sich sowohl für Anfänger als auch für Fortgeschrittene eignet. Sie unterstützt mehrere Programmierphilosophien, darunter objektorientierte und funktionale Programmierung, und wird in Bereichen wie Webentwicklung, Datenanalyse, künstliche Intelligenz und wissenschaftlichem Rechnen häufig eingesetzt. (vgl. [19])

Flask

Flask ist ein leichtgewichtiges Web-Framework für Python, das durch seine Einfachheit und Flexibilität hervorsticht und sich ideal für kleinere Anwendungen oder Prototypen eignet. Es folgt einem minimalistischen Ansatz, bietet aber Erweiterungsmöglichkeiten, um komplexere Projekte zu realisieren. (vgl. [20])

Python - Virtuelle Umgebung

Dieses Projekt enthält sehr viele externe Bibliotheken. In Python sind diese Bibliotheken mit dem Interpreter verknüpft, da bei der Installation diese externen Bibliotheken direkt beim Interpreter gespeichert werden. So kommt es jedoch dazu, dass, wenn das Programm auf einer anderen Maschine ausgeführt wird, diese Bibliotheken nicht vorhanden sind. Um Abhängigkeitskonflikte und Portabilitätsprobleme zu verringern, werden virtuelle Umgebungen verwendet. Diese enthalten den Interpreter sowie die Bibliotheken und könnten einfach auf eine andere Maschine kopiert werden.

Dies ist jedoch bei diesem Projekt nur bei der Entwicklung vonnöten, da es bei Fertigstellung im Docker-Container ausgeführt wird.

2.2.3 Benutzeroberfläche

Um die Benutzeroberfläche zu realisieren, muss eine Weboberfläche erstellt werden. Auf dieser werden alle Inhalte angezeigt, die für die Benutzung nötig sind. Sie wird vom Server zur Verfügung gestellt, sobald dieser eine HTTP-Anfrage erhält. Um diese mit eigenen Inhalten und Funktionen zu befüllen, muss dies mit HTML geschehen.

HTML

HTML (HyperText Markup Language) ist die Standard-Auszeichnungssprache zur Strukturierung und Darstellung von Inhalten im Web. Sie definiert die grundlegende Struktur einer Webseite mit Elementen wie Überschriften, Absätzen, Links, Bildern und Formularen. (vgl. [21])

Dadurch, dass sich viele Elemente des UI wiederholen, wie z. B. die Navigationsleiste, bietet Flask die Möglichkeit, sogenannte „Templates“ zu verwenden. Diese können einmal definiert und dann an mehreren Teilen der Webseite verwendet werden. Um Elemente wie Formularfelder oder Datenanzeige einfach mit den benötigten Daten anzuzeigen, gibt es die Möglichkeit, Makros zu erstellen, welche von Flask mit den bestimmten Daten vorgerendert und in das restliche HTML eingefügt werden. Um HTML, welches grundsätzlich ohne Formatierung auskommt, zu stylen, muss CSS verwendet werden.

CSS

CSS (Cascading Style Sheets) ist eine Stylesheet-Sprache, die verwendet wird, um das Design und Layout von Webseiten zu gestalten. Sie ermöglicht die Trennung von Inhalt und Darstellung, indem sie Farben, Schriftarten, Abstände und andere visuelle Aspekte definiert. (vgl. [22])

Da auch Logik in der Webseite verbaut werden muss, muss zusätzlich auch Javascript verwendet werden, da HTML und CSS alleine, noch nicht gut genug mit dem Server kommunizieren können.

JavaScript

JavaScript (JS) ist eine vielseitige Programmiersprache, die hauptsächlich verwendet wird, um interaktive und dynamische Elemente auf Webseiten zu erstellen. Sie läuft direkt im Browser und ermöglicht Funktionen wie Animationen, Formularvalidierungen und die Kommunikation mit Servern in Echtzeit. (vgl. [23])

Praktisch geschieht diese Server-Kommunikation immer mithilfe dieser Programmblöcke:

```
1  function sendData(data, callback) {
2      var xhr = new XMLHttpRequest();
3      var url = "{{url_for('main.add_stock')}}"; //Flask markup, um
die richtige url zu erreichen, dies wird vor ausgabe auf der Webseite
noch eingesetzt
4
5      xhr.open("POST", url, true);
6      xhr.setRequestHeader("Content-Type", "application/json");
7
8      xhr.onreadystatechange = function () {
9          if (xhr.readyState === 4 && xhr.status === 200) {
10              callback(xhr.responseText) //die funktion wir
aufgerufen
11          }
12      };
13      var jsonData = JSON.stringify(data);
14      xhr.send(jsonData);
15  }
```

Code-Snippet 1: XHR-Kommunikationsblock

Dieser ermöglicht die Übergabe von Daten im JSON Format, und einer Funktion, die die zurückgeschickten Daten verarbeitet. In der Praxis wird dieser so aufgerufen:

```
1 function add_to_db(){
2     sendData({"add_stock": {"barcode": barcode, "quantity": quant,
"article": article}},
3     set_gen_stock)
4 }
5
```

```

6 function set_gen_stock(req){
7   document.getElementById("generated").innerHTML = req
8 }

```

Code-Snippet 2: JSON-Beispiel

Wie im Quellcode ersichtlich, werden Daten aus der Webseite ausgelesen und in JSON konvertiert. Danach werden diese Daten zusammen mit einer Funktion an „send_Data“ übergeben. Wie bereits erwähnt, gibt der Server dann Daten zurück. In diesem Fall werden dann Daten aus der DB vorformatiert. Diese werden dann in der zuvor übergebenen Funktion in die Webseite eingefügt.

2.2.4 Backend

Das Backend des Servers ist für die Datenverarbeitung verantwortlich. Es ist, wie bereits erwähnt, in Python geschrieben und stellt mit dem Flask-Framework die Benutzeroberfläche zur Verfügung.

Aufgebaut ist es in mehrere Bereiche: Einerseits die Webanwendung sowie die API (Application Programming Interface, Schnittstelle zwischen Anwendungen), die Anbindung an die Datenbank, die Verarbeitung der SPS-Befehle und auch der Zugriff auf die SPS.

Serverseite der Benutzeroberfläche

In Flask können „blueprints“ definiert werden. Dies sind Webseitelemente die einen bestimmten URL-Vorsatz haben. So werden anfangs „blueprints“ für Hauptfunktionen („/“, also ohne Vorsatz), Datenbankinteraktionen („/db_interactions“) usw. definiert. Die Funktionen dafür werden dann in jeweils eigene Dateien geschrieben. Dies ermöglicht eine weit aus bessere Übersicht bei großen Projekten.

Eine Funktion, die für die Verarbeitung der Anfragen einer bestimmten URL verantwortlich ist, sieht immer ähnlich aus.

```

1 @main.route("/add_stock", methods=["GET", "POST"])
2 def add_stock():
3     if request.method == "POST":
4         if request.data:
5             req = request.get_json()
6
7             if "add_stock" in req.keys():
8                 dt = req["add_stock"]
9                 new = Stock(
10                     container=db.session.query(Container)
11                     .filter_by(barcode=dt["barcode"]))
12                     .first()
13                     .id,
14                     article=dt["article"],
15                     quantity=dt["quantity"],
16                     )
17                     db.session.add(new)

```

```

18         db.session.commit()
19         return "Success"
20
21     return render_template("add_stock.html")

```

Code-Snippet 3: Blueprint Beispiel

Anfangs wird mit einem Decorator (@main.route(...)) die gewünschte URL, sowie unterstützte HTTP-Requests definiert. Decoratoren verändern oder erweitern die Eigenschaften von Funktionen. In diesem Fall wird in der Funktion (def ...()) definiert was geschieht, wenn ein erlaubter Request an der URL „add_stock“ eintrifft. Dieser Funktionsname kann auch in den Flask-Vorlagen verwendet werden um URLs dynamisch zu vergeben.

Weiters wird sortiert um welche Art von Anfrage es sich handelt. Bei GET-Anfragen wird typischerweise einfach nur das HTML der Webseite zurückgegeben. Bei POST-Anfragen werden zuerst die Daten dieser Anfrage extrahiert und dann entschieden was damit gemacht werden soll. In diesem Fall wird, wenn das richtige Schlüsselwort in der Anfrage enthalten ist, ein Datenbankeintrag, mit den Daten aus dem Request, hinzugefügt. Schlussendlich wird ein Wert zurückgegeben, entweder ein HTML-Statuscode, vorgerendertes HTML oder, wie in diesem Fall, ein Text.

2.2.5 APIs

SPS - Verbindung

Die Daten für die SPS werden in einem ähnlichen Vefahren zur Verfügung gestellt. Nun schickt nicht die Benutzeroberfläche oder der Browser eine Anfrage an das Backend, sondern die SPS. Der Programmblöck zur Verarbeitung dieser Anfrage sieht folgendermaßen aus:

```

1 @api.route("/afss", methods=["GET", "POST"])
2 def afss():
3     request_data = {...} #aus platzgründen verkürzt
4     if request.method == "POST":
5         ... # Abfrage ob der Sender eine Siemens SPS ist
6         if "next_bmos" in req.keys():
7             if req["next_bmos"] == "":
8                 return "400"
9
10            if is_SPS:
11                return convert_instruction_for_PLC(afss_stack.
12                get_current_bmos(int(req["next_bmos"])))
13
14                return jsonify(afss_stack.get_current_bmos(
15                    int(req["next_bmos"])))
16
17                if "inst_acknowledge" in req.keys():
18                    if is_SPS:
19                        ack = afss_stack.inst_acknowledge(
20                            int(req["inst_acknowledge"]))

```

```
20     if ack == "204":  
21         return ack  
22     return convert_instruction_for_PLC(ack)
```

Code-Snippet 4: Schnittstelle für die SPS

Die Funktion dieses Codeblocks besteht darin, herauszufiltern, ob eine Anfrage einer Siemens-SPS eintrifft und dann dementsprechend Daten zurückzugeben. Wenn eine Anfrage mit dem Schlüssel „next_bmos“ (next-box-moveing-operations) empfangen wird, wird diese dem sog. „stack“ weitergegeben, welcher diese dann verarbeitet (dies wird im Anschluss näher behandelt). Sollte diese von einer SPS kommen, werden die zurückgeschickten Daten vorher noch so bearbeitet, dass diese von der SPS möglichst gut übersetzt werden können. Sollte die SPS ein „inst_acknowledge“ sowie die dementsprechenden Daten zurückschicken, wird im „Stack“ vermerkt dass die dementsprechende Operation bei der SPS angekommen ist.

Weiters bietet Siemens auch die Möglichkeit über den Webserver der CPU auf diese zuzugreifen. Dies geschieht über das JSON-RPC Protokoll [24]. Aus Testzwecken ist es durchaus nützlich auch direkten Zugriff auf die CPU zu haben, wenngleich es für den Normalbetrieb nicht zwingend benötigt wird. Um eine möglichst einfache Bedienung zu ermöglichen wird ein Objekt angelegt, um JSON-RPC Befehle auszuführen.

- Login: Um auf die SPS zugreifen zu können muss erst ein Login geschehen. Hierbei werden Benutzername und Passwort benötigt, die zuerst in der SPS festgelegt wurden. Dieser führt bei Erfolg zu einem „Session-Token“, welches bei jeder folgenden Kommunikation zur Authentifizierung mitgeschickt wird.
- Daten Lesen: Die Methode „PlcProgram.Read“ gibt den Wert einer gegebenen Variable zurück.
- Daten Schreiben: Mit „PlcProgram.Write“ kann der Wert einer oder mehrerer Variablen geändert werden.

Dieses Objekt kann dann einfach in einen anderen Programmteil importiert werden, und dort dann die Verbindung zu einer SPS herstellen. Theoretisch könnte man auch mehrere dieser Objekte anlegen, um Zugriff mehreren Steuerungen umzusetzen.

2.2.6 Lageralgorithmus für SPS

Die Aufträge sind im Einkaufswagen oder Ähnlichem, im Format „Location - Location“ hinterlegt. Um dies in eine Operation zu zerlegen, die die SPS versteht, wird eine Box-Moveing-Operation erstellt. Diese enthält alle Teilschritte, wie Schlittenposition oder Förderbandstrecke, um eine Box von Position A zu Position B zu bringen. Die BMO wird dann in die einzelnen verwendeten Module, Förderband oder Lager, aufgeteilt und dann dem „stack“ zugeführt. Diese Instruktion enthält Daten wie:

- „instruction_id“: Eine fortlaufende Nummer um jede Anweisung zu identifizieren
- „order_id“: Zusammenhängende Anweisungen ,bzw. Anweisungen für die gleiche Box haben eine gleiche Nummer
- „relation“: eine Liste mit „instruction_id's“, welche vor dieser Anweisung erfüllt sein müssen

Bei Auswahl der zu schickenden Anweisung, wird zuerst die aktuelle von der SPS gemachte Anweisung vermerkt, danach wird in allen Modulen des „stacks“ nachgeschaut, welche Anweisungen jetzt ausgeführt werden können (siehe Abb. 2.14). Zu diesem Zweck wird die „relation“ einer Anweisung mit den bereits gemachten Anweisungen verglichen, wenn bereits alle relevanten Anweisungen gemacht wurden, wird der Auftrag in „to_send“ vermerkt. Schlussendlich wird einer der in „to_send“ vermerkten Aufträge für die SPS übersetzt und an diese geschickt. Wenn die SPS den Auftrag erhalten hat, schickt sie ein „acknowledge“ mit der erhaltenen ID zurück. Der Auftrag wird dann aus den „instructions_to_send“ gelöscht und entweder wird einfach der nächste Auftrag in „to_send“ geschickt oder der „BMOS“ Algorithmus wird erneut durchlaufen.

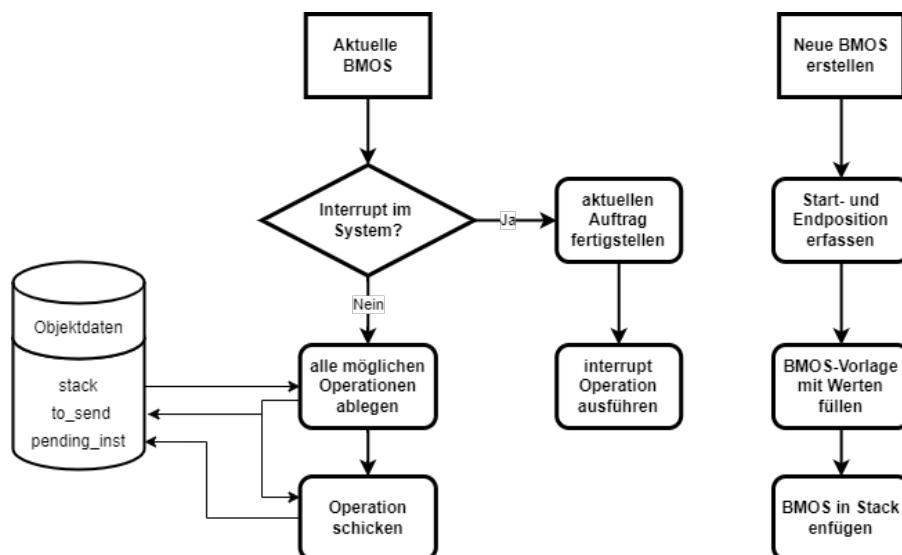


Abbildung 2.14: Diagramm der BMOS bereitstellung

2.2.7 Datenbanken

Als Datenbanksystem wird aufgrund des guten Supports MySQL gewählt. Dies ist ein relationales Datenbankmanagementsystem welches in einem Docker-Container aufgesetzt wird. In diesem werden alle Daten gespeichert, die zur Auswahl sowie zur Ausliefierung von Teilen nötig sind.

Wie in 2.15 ersichtlich, beinhaltet diese Datenbank fünf Tabellen. Diese hohe Komplexität resultiert daraus, dass diese Struktur eine 100%ige Flexibilität in der Ablage von Bauteilen in einem überliegendem System bietet.

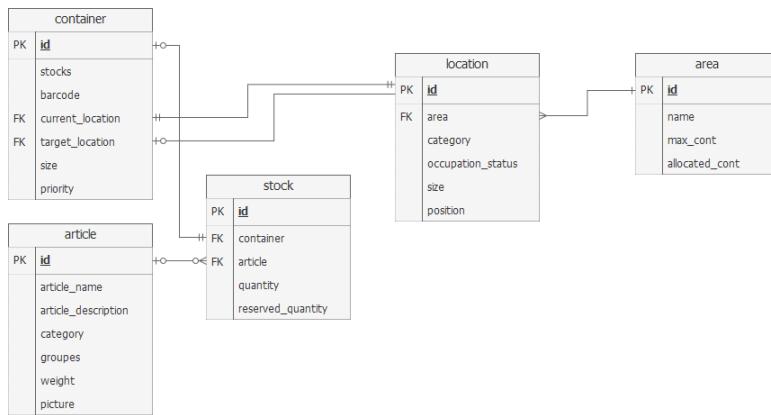


Abbildung 2.15: Datenbankschema des AFSS

Die erste Tabelle beschreibt ein einziges theoretisches Bauteil. Dieses hat einen Namen, Gewicht, Beschreibung und Kategorien zur Filterung. Unter der Spalte „picture“ wird ein Dateiname gespeichert, der zu einem Bild zeigt, das das Produkt abbildet. Die zweite beschreibt einen Container. Im Lagersystem entspricht dieser einer Box. Diese kann mehrere „stocks“ beinhalten, sowie durch einen Barcode identifiziert werden. Weiters muss jeder Container immer eine aktuelle Position („current_location“) besitzen, an der die Box gerade ist. Im ausgelagerten (und noch nicht eingelagerten) Zustand ist diese „location“ Position 0. Das Ziel der Box wird in „target_location“ gespeichert. Stimmt die aktuelle mit der Zielposition überein, so ist die Box an ihrem Ziel angelangt. Die Kategorie „size“ beschreibt die Größe eines Containers und lässt somit theoretisch zu, dass in Zukunft auch unterschiedlich große Boxen zuverlässig in die richtigen Lagerplätze eingelagert werden. „priority“ wird nicht verwendet.

Container und Artikel werden im sog. „stock“ verheiratet. Dieser kann als Bauteilhaufen in einer Box verstanden werden. Es können also auch mehrere „stocks“ mit dem selben Container geben, dies würde mehreren verschiedenen Bauteilen in einem einzigen Container entsprechen. Auch ist es möglich mehrere Container mit den selben „stocks“ abzubilden, welches einer Aufteilung von Bauteilen auf mehrere Container entspräche.

Die Positionen der Container werden in Standorte („locations“) abgebildet. Diese entsprechen den Lagerplätzen. Sie sind einer darüberliegenden „area“ zugeordnet, welche einerseits einen Lagerschrank, aber weiters auch Module wie Vereinzelungsanalgen, abbilden kann. Standorte verfügen weiters über eine Position welche in X, Y und Z-Richtung beschreibt, wo sich ein Standort im Referenzsystem des Lagers befindet. Auch die Größe des Lagerplatzes wird abgebildet, um sicherzustellen, dass auf jeden Fall nur die richtige Größe an Box eingelagert wird.

2.2.8 Docker

Docker ist eine Umgebung, in der Softwareprojekte isoliert werden können. Da es besonders bei Projekten mit vielen Paketen, mit verschiedenen Versionen, zu Konflikten kommen kann, ist es sehr hilfreich diese zu bündeln.

Umgesetzt wird dies mithilfe von Containern, welche einen gesamten Programmteil als alleinstehende Einheit enthält. Diese werden über ein „Dockerfile“ konfiguriert, welches sich im selben Ordner wie die Python-Anwendung befindet. In diesem werden Parameter wie die Python-Version und die benötigten pip-Pakete sowie den Programmeinstiegspunkt angegeben.

Ein zweiter Docker Container wird mit einem MySQL-Image erstellt. Dort wird die Datenbank aufgesetzt.

Um diese zwei Container miteinander Kommunizieren zu lassen, ist es nötig ein sog. docker-compose.yml File zu erstellen. Dies enthält alle Informationen über verwendete Container, deren Ports, sowie Speicher für Dateien (Volumes). Bei Testbetrieb wird der Datenbankcontainer alleinstehend betrieben und mit einem anderen Port, um keine Zugriffsprobleme zu generieren. In Produktion wird dann derselbe Container in den Containerverband übertragen und dort mit einem anderen Port weiterverwendet.

Erstellt wird dieser Containerverband mit den Konsolenbefehl der auf das docker-compose File zugreift.

```
1      docker build docker-compose.yml
```

Dann werden auch alle Logs in der Kommandozeile ausgegeben.

2.2.9 Artikelsuche

TF-IDF und Rust Implementierung

Der TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) Algorithmus, ist ein Weg um wichtige Wörter aus Dokumenten zu extrahieren. Er wird verwendet um beispielsweise in Suchmaschinen, eine Suchanfrage mit Webpagecontent abzulegen, und die am besten mit der Suchanfrage übereinstimmenden Dokumente zu sortieren.

Im Fall dieser Anwendung werden die Daten aus der Artikeldatenbank als „Dokumente“ angesehen und die Suchanfrage aus dem Suchfeld wird dafür verwendet um die am besten passenden Artikel zu finden.

Durch den Relativ hohen Rechenaufwand bei dieser Suchoperation wird dieser in der Programmiersprache Rust implementiert. Die Implementierung in Rust ist im Vergleich zu Python schon bei relativ kleinen Datenmenge bis zu 5-mal schneller.

Rust

Rust ist eine sehr effiziente und schnelle Programmiersprache, die in den späten 2000er und frühen 2010ern bei Mozilla und der Open-Source-Community entwickelt wurde. Sie unterstützt unter anderem mehr Typsicherheit und verhindert viele Programmierfehler. (vgl. [25])

Die Funktion dieses Algorithmus ist in drei Einzelteile unterteilt.

1. Term Frequenz

Die Termfrequenz gibt an, wie oft ein angegebenes Wort in einem Dokument vorhanden ist. Dies wird durch die folgende Funktion kalkuliert.

```
1 fn term_frequency(document: &str, term: &str) -> f64 {
2     // Store the lowercase document as a String to ensure it lives
3     long enough
4     let lower_document = document.to_lowercase();
5
6     // Split the document into words
7     let normalize_document: Vec<&str> = lower_document.
8     split_whitespace().collect();
9
10    // Make sure the searchterm is lowercase
11    let normalize_term = term.to_lowercase();
12
13    // Count occurrences of the term in the document
14    let count = normalize_document
15        .iter()
16        .filter(|&&word| word == normalize_term) // Compare each
17        word with the term
18        .count();
19
20    // Calculate the term frequency as occurrences / total number
21    of words
22    let total_words = normalize_document.len();
23    if total_words == 0 {
24        0.0 // Avoid division by zero if the document is empty
25    } else {
26        count as f64 / total_words as f64
27    }
28 }
```

Code-Snippet 5: Berechnung der Termfrequenz

Mithilfe dieser wird eine Liste aller Wörter und deren Vorkommenshäufigkeit erstellt.

2. Die zweite Komponente ist dann die Inverse Dokument Frequenz. Diese gewichtet die Anzahl der Dokumente in dem das gesuchte Wort enthalten ist relativ zur Gesamtdokumentanzahl vorkommt. Häufig vorkommende Worte wie z.B. „und“ werden hierbei weniger gewichtet als einzigartige Wörter.

```
1 fn inverse_document_frequency(term: &str, all_documents: &Vec<
2     String>) -> f64 {
3
4     let mut num_documents_with_this_term = 0;
5
6     // Iterate over all documents to check if they contain the term
7     for doc in all_documents {
8         // Normalize both term and document by converting them to
9         lowercase
10        let lower_doc = doc.to_lowercase();
11        let normalized_doc: Vec<&str> = lower_doc.split_whitespace()
12            .collect();
13
14        // Check if the term exists in the document
15        if normalized_doc.contains(&term.to_lowercase().as_str()) {
```

```

12             num_documents_with_this_term += 1;
13         }
14     }
15
16     // Calculate IDF
17     if num_documents_with_this_term > 0 {
18         // Apply the IDF formula: 1 + log(total_documents /
19         documents_with_term)
20         1.0 + ((all_documents.len() as f64) / (
21         num_documents_with_this_term as f64)).ln()
22     } else {
23         // If the term is not found in any document, return 1.0
24         1.0
25     }
26 }
```

Code-Snippet 6: Berechnung der Inversen Dokumentenfrequenz

3. Nun liegt eine Liste davon vor, wie oft ein Wort in den Suchdaten vorkommt, als auch, wie oft ein Suchbegriff in einem bestimmten Dokument ist.
Als nächsten Schritt werden diese beiden Werte für jeden Suchbegriff miteinander multipliziert und ergeben somit einen Vektor der die Suchwörter in Relation zu jedem einzelnen Dokument stellt.
4. Als letzten Schritt wird der zuvor errechnete Dokumentenvektor (der IDF jedes Suchterms in jedem Dokument) mit dem Suchvektor verglichen. Die geschieht mit der sog. Kosinus-Ähnlichkeit.

```

1 fn cos_similarity(query_p: Vec<f64>, document_p: Vec<f64>) -> f64 {
2     // Ensure that both vectors have the same length
3     if query_p.len() != document_p.len() {
4         return -1.0;
5     }
6
7     let mut dot_product = 0.0;
8     let mut abs_doc_squared = 0.0;
9     let mut abs_query_squared = 0.0;
10
11    // Calculate the dot product and the magnitudes (squared)
12    for i in 0..query_p.len() {
13        dot_product += query_p[i] * document_p[i];
14        abs_doc_squared += document_p[i].powi(2); // document_p[x]
15        ** 2
16        abs_query_squared += query_p[i].powi(2); // query_p[x] ** 2
17    }
18
19    // Calculate the magnitudes
20    let abs_doc = abs_doc_squared.sqrt();
21    let abs_query = abs_query_squared.sqrt();
```

```
22     // Handle division by zero in case of zero vectors
23     if abs_doc == 0.0 || abs_query == 0.0 {
24         return 0.0;
25     }
26
27     // Return the cosine similarity
28     return dot_product / (abs_doc * abs_query);
29 }
```

Code-Snippet 7: Berechnung der Kosinusähnlichkeit

Nach der Berechnung dieser für jedes Dokument werden alle Dokumente sortiert und ja nach Anforderung die benötigte Anzahl ausgegeben.

Das Aufrufen der Rust-Funktionen von Python aus, ist nicht nativ unterstützt. Die Einbindung erfolgt mithilfe PyO3/maturin.

Artikelsuche nach Kategorien

Um auch einen simpleren Weg der Artikelfindung zur Verfügung zu stellen, wird außerdem die Möglichkeit implementiert, Artikel anhand von Attributen zu suchen. Zu diesem Zweck werden schon bei der Artikelerstellung Attribute für die Einträge „Gruppen“ und „Kategorien“ vergeben. In „Gruppen“ wird eine Art Pfad angelegt, der die Suche eingrenzt. Beispielsweise würde so ein Eintrag folgende Daten enthalten: [’Item’, ’Verbindungssatz’]. So kann bei der Artikelsuche zuerst die Überkategorie „Item“ und dann die Unterkategorie „Verbindungssatz“ aus mehreren verschiedenen ausgewählt werden. Um Bauteile weiter zu unterscheiden, da es z. B. viele verschiedene Widerstände gibt, werden unter „Kategorien“ Einzelheiten zum Produkt, wie Wert, Farbe o. Ä., gespeichert.

Diese Informationen werden auch vom TF-IDF verwendet, dienen aber spezieller dazu, möglichst sicher das gewünschte Bauteil in einem Durchklickmenü zu finden.

2.2.10 Fazit

Die serverseitige Software des AFSS, also das WMS und die Benutzeroberfläche, wurde im Laufe des Projekts sehr komplex. Dadurch war es eine sehr gute Entscheidung, den Server in einer Hochsprache auszuführen. Um einen zuverlässigen Dauerbetrieb zu gewährleisten, wäre es jedoch noch nötig, Unitests für wichtige Funktionen wie APIs oder den Lageralgorithmus zu implementieren. Weiterhin müsste die Benutzeroberfläche noch benutzerfreundlicher gestaltet werden, da sie momentan noch eher rudimentär ausgeführt ist. Außerdem wären noch kleinere „Quality-of-Life“-Änderungen durchzuführen. Insgesamt ist die Software aber bereits sehr ausgereift und kann die Anforderungen der Lagersteuerung und -verwaltung erfüllen.

3 Integration und Programmierung der Steuerungstechnik (Vincent Sonvilla)

3.1 Aufgabenstellung

Die „Integration und Programmierung der Steuerungstechnik“ befasst sich mit der Bewegungskontrolle für die Motoren und dem notwendigen Datenaustausch zwischen Server und SPS. Auf dem Server läuft das Warehouse Management System (WMS), welches die Logik der Lagerung übernimmt. Die SPS wird erforderlich, um die Motoren anzusteuern sowie die Sensoren auszulesen, welche benötigt werden. Das Einbinden und Ansteuern der Sensoren wird durch die nette Kollegin der „Sensorik und Sicherheitstechnik“ im Teil 5 vorgenommen. Also ist das Ziel der Aufgabenstellung „Integration und Programmierung der Steuerungstechnik“, das Kommunizieren mit dem Server, um die notwendigen Daten zu erhalten, sowie das Ansteuern der Motoren.

3.2 Tia-Portal Grundlagen

Tia Portal (Totally Integrated Automation Portal) ist die zentrale Software von Siemens zur Programmierung, Konfiguration und Diagnose von Automatisierungssystemen. Es ermöglicht die Steuerung von SPS (Speicherprogrammierbare Steuerungen), HMI (Bedienpanels) und Antrieben in einer einzigen Umgebung. Alle folgenden Informationen, sowie Anwendungen beziehen sich auf die genutzte Tia Portal Version (V18) sowie Hardware (S7-1513).

3.2.1 Allgemeines

Arbeitsweise einer SPS

Eine SPS arbeitet zyklisch. In Abb. 3.1 wird gezeigt wie ein solcher Zyklus aussieht. Bei erstmaligem Starten oder Neustarten der SPS werden zuerst alle Ausgänge, Merker, etc. auf Null gesetzt. Danach startet die zyklische Arbeitsweise. Zunächst wird ein Prozessabbild der Eingänge gemacht. Mit diesen Eingangswerten wird dann das Programm ausgeführt. Anschließend wird ein Prozessabbild der Ausgänge gemacht. Dieses wird dann an die Ausgänge übergeben. Danach beginnt der Zyklus von vorne. (vgl.[26])

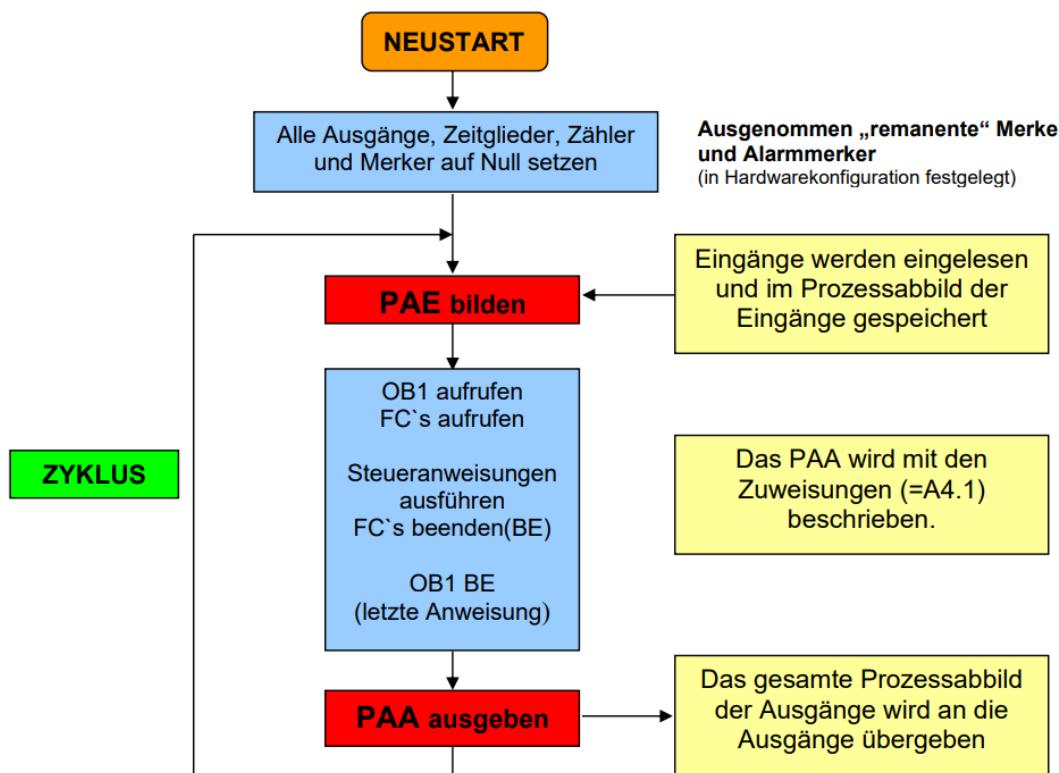


Abbildung 3.1: Arbeitsweise einer SPS, Quelle: [26]

3.2.2 Programmbausteine

In Tia Portal werden Programmbausteine genutzt, um Steuerungsprogramme modular und strukturiert zu gestalten. Dadurch werden Programme übersichtlicher, wiederverwendbar und effizienter. Es gibt unterschiedliche Arten von Programmierbausteinen:

1. OB (Organisationsbausteine)

Organisationsbausteine werden verwendet um das Anwenderprogramm hierarchisch zu strukturieren. Auch für OBs stehen, wie in Abb. 3.2 gezeigt, unterschiedliche Bausteine zur Verfügung:

Organisationsbausteine steuern unterschiedliche Vorgänge:

- Anlaufverhalten der Steuerung
- Zyklische Programmierung
- Alarmgesteuerte Programmierung
- Behandlung von Fehlern

Werden in einem Programm mehrere OBs aufgerufen, so werden die OBs in aufsteigender Reihenfolge der OB-Nummer abgearbeitet.

Organisationsbautein Typ	S7-1200	S7-1500	Nutzen
Zyklische und Anlauf OBs	100	100	Modularisierung des Anwenderprogramms
Prozessalarme	50	50	Separater OB je Ereignis möglich
Verzögerungsalarme	4*	20	Modularisierung des Anwenderprogramms
Weckalarme		20	Modularisierung des Anwenderprogramms
Uhrzeitalarme	*	20	Modularisierung des Anwenderprogramms

Abbildung 3.2: Organisationsbausteine, Quelle: [27]

2. FC (Funktionen)

Funktion haben keinen zyklischen Datenspeicher, deswegen können Bausteinparameter nicht bis zum nächsten Aufruf gespeichert werden. Daher müssen Funktionen bei jedem Aufruf mit Aktualparametern versorgt werden. Um kein zufälliges Verhalten entstehen zu lassen sind die Werte immer mit einem Standardwert vorbelegt. Will man die Daten einer Funktion dauerhaft speichern, so muss ein globaler Datenbaustein verwendet werden.

Funktionen werden eingesetzt, um häufig wiederkehrende Anwendungen durchzuführen.

3. FB (Funktionsbausteine)

Im Gegensatz zu Funktionen haben Funktionsbausteine einen zyklischen Datenspeicher -Instanz DB-, in welchem Werte dauerhaft gespeichert werden. Dadurch behalten statische Variablen ihren Wert von Zyklus zu Zyklus. Wie bei Funktionen sind die Werte mit einem Defaultwert vorbelegt.

Funktionsbausteine können genutzt werden, um Unterprogramme für unterschiedliche Anwendungen zu erstellen. Dies erleichtert das Strukturieren eines Anwenderprogramms. Bei mehrfacher Verwendung von Funktionsbausteinen empfiehlt sich die Verwendung von Multiinstanz-DBs (siehe 6.Multiinstanzen).

4. Global-DB (Datenbausteine)

Globale Datenbausteine speichern variable Daten, die dem kompletten Programm zur Verfügung stehen. Wie in Abb.3.3 ersichtlich, bedeutet das, dass alle Bausteine Zugriff auf den Global-DB haben.

In Globalen Datenbausteinen können jegliche Datentypen genutzt werden.

Globale DBs werden verwendet, wenn Daten in verschiedenen Programmteilen bzw. Bausteinen benötigt werden.

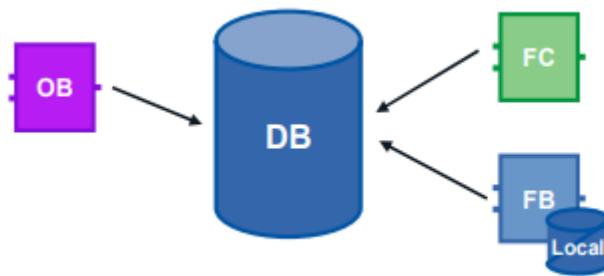


Abbildung 3.3: Zugriff auf Global-DB, Quelle: [27]

5. Instanzen

Wird ein Funktionsbaustein aufgerufen, so nennt man das Instanz. Die Daten der Instanz, werden im sogenannten Instanzdatenbaustein gespeichert. Instanz-DBs werden automatisch nach den Vorgaben des Funktionsbausteins erzeugt und können somit nicht direkt geändert werden. Der Instanz-DB hat einen dauerhaften Speicher, welcher die Schnittstellen Input, Output, InOut sowie Static beinhaltet. Zusätzlich besitzt der Instanz-DB einen flüchtigen Datenspeicher in dem temporäre Variablen gespeichert werden. Diese sind dadurch immer nur für einen Zyklus gültig.

6. Multiinstanzen

Bei Multiinstanzen speichert der Funktionsbaustein seine Daten in den Instanz-DB des übergeordneten Funktionsbaustein. Das heißt es wird in einem FB ein anderer FB aufgerufen. Dieser speichert seine Daten dann im Instanz-DB des Funktionsbausteins, welcher ihn aufgerufen hat. Multiinstanzen helfen das Programm übersichtlicher sowie strukturierter zu halten, da man mehrere Instanzen in einer einzigen vereint.

(vgl. [27])

3.2.3 Technologieobjekte

Technologieobjekte dienen dazu die Ansteuerung und Handhabung von technischen Funktionen, insbesondere von Motoren, Achsen, etc. zu vereinfachen. Es existieren eine Vielzahl an unterschiedlichen Technologieobjekten. In nachfolgenden Absätzen werden die für das Projekt relevanten Technologieobjekte genauer erklärt.

1. Positionierachse (PositioningAxis)

Dieses Technologieobjekt dient zur genauen Positionierung einer Achse, sowie der Rückmeldung der aktuellen Achsposition. Zusätzlich wird die Zielposition automatisch gehalten.

Für die Positionierachse stehen folgende Motion Control Anweisungen zur Verfügung:

– Home

Aktives oder passives Referenzieren der Achse.

– MoveAbsolut

Fahren der Achse auf eine absolute Position.

– MoveRelativ

Fahren der Achse auf eine Position relativ zur aktuellen Position.

– MoveSuperimposed

Starten einer überlagerten Bewegung zu einer bereits laufenden Bewegung.

– TorqueLimiting

Aktivieren einer Momentbegrenzung oder Festanschlagserkennung.

– SetSensor

Umschalten des Gebers für die Achse.

2. Gleichlaufachse (SynchronousAxis)

Das Technologieobjekt Gleichlaufachse enthält alle Funktionen des Technologieobjekts Positionierachse. Zusätzlich lässt sich die Achse mit einer Leitachse verschalten, sodass diese der Positionsänderung der Leitachse folgt. Dieses Technologieobjekt wird verwendet um synchrone bzw. positionsabhängige Bearbeitungsvorgänge auszuführen.

Der Gleichlaufachse stehen folgende zusätzliche Motion Control Anweisungen zur Verfügung:

– GearIn

Starten eines relativen Gleichlaufs einer Leit- und Folgeachse.

– GearInPos

Starten eines absoluten Gleichlaufs einer Leit- und Folgeachse unter Vorgabe einer Synchronposition.

– PhasingAbsolut

Absolutes Verschieben des Leitwertbezugs während eines aktiven Gleichlaufs.

– PhasingRelativ

Relatives Verschieben des Leitwertbezugs während eines aktiven Gleichlaufs.

– CamIn

Start eines absoluten Kurvenscheibengleichlaufs.

– SynchronizedMotionSimulation

Simulation eines aktiven Gleichlaufs.

(vgl. [28])

3.2.4 Programmiersprachen

In Tia Portal stehen unterschiedliche Programmiersprachen zu Verfügung. Je nach Präferenz bzw. Aufgabe ist das Nutzen der richtigen Sprache von Vorteil. Daher folgt hier

eine Auflistung der möglichen Programmiersprachen, welche sich in textbasierte (tb.) oder graphische (gr.) Sprachen unterteilen.

1. **Funktionsplan (FUP), gr.**

FUP ist eine graphisch augebaute Programmiersprache. Sie besteht aus unterschiedlichen Bausteinen, in Blockdarstellung, welche graphisch durch Linien verknüpft werden. Die Signalverarbeitung bei FUP läuft von links nach rechts. Die Programmierlogik in FUP ist übersichtlich und schnell nachzuvollziehen, weswegen diese Sprache für Anfänger relativ gut geeignet ist. (vgl. [29])

2. **Kontaktplan (KOP), gr.**

Der Kontaktplan ähnelt einem Stromlaufplan, der anstatt von oben nach unten von links nach rechts verläuft. Für die Programmierung werden Symbole wie Öffner, Schließer und Ausgänge verwendet. Da nicht für jeden Baustein ein Symbol verfügbar ist, werden solche Bausteine in FUP dargestellt. Der logische Verlauf der Schaltung ist dabei von links nach rechts und von oben nach unten. (vgl. [29])

3. **Anweisungsliste (AWL), tb.**

AWL ist eine textbasierte Programmiersprache, welche an Assembler angelehnt ist. Die Programmiersprache AWL wird hauptsächlich zur logischen Verknüpfung von Ein- und Ausgängen verwendet. In AWL werden Anweisungen in der Reihenfolge geschrieben, in der sie ausgeführt werden sollen. Da AWL für die Programmierung von größeren Projekten eher ungeeignet ist, wird es in neueren Programmen immer weniger verwendet. (vgl. [30])

4. **S7-Graph, gr.**

S7-Graph wird verwendet um Ablaufsteuerungen übersichtlich und schnell zu programmieren. Die zu ausführenden Aktionen werden in unterschiedliche Einzelschritte aufgeteilt. Zwischen diesen Einzelschritten befinden sich Transitionen. Transitionen sind Weiterschaltbedingungen, welche erfüllt werden müssen damit zum nächsten Schritt weitergeschaltet wird. Der Ablauf der Steuerung erfolgt von oben nach unten.

5. **Structured Code Language (SCL), tb.**

SCL ist eine höhere Programmiersprache, welche sich an Pascal orientiert. SCL ist für mathematische Funktionen, sowie das Programmieren von Schleifen oder if-Bedingungen besser geeignet als andere Programmiersprachen der SPS. In SCL hat man trotzdem Zugriff auf die typischen Elemente einer SPS, wie Eingänge, Ausgänge, Zeiten, Merker, Baustinaufrufe und dergleichen. (vgl. [31])

3.2.5 Bibliotheken

In Tia Portal sind nicht alle Funktionen integriert zur welcher die SPS fähig wäre. Deswegen gibt es Bibliotheken, um projektspezifische Funktionen in das Programm zu integrieren. Bibliotheken können zusätzlich dazu genutzt werden um projektspezifische Bausteine

oder Funktionen auch für andere Programme zugänglich zu machen. Generell kann man Bibliotheken in zwei unterschiedliche Arten unterteilen: Projektbibliothek (Project library) und Global Bibliothek (Global library). Projektbibliotheken sind im Projekt integriert und werden im Projekt verwaltet. Dies ermöglicht eine Wiederverwendung von Bausteinen, Funktionen, usw. innerhalb des Programms. Globale Bibliotheken hingegen sind projektunabhängig und können deshalb innerhalb von mehreren Projekten verwendet werden. In Bibliotheken gibt es dann wieder zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Ablagerung. Man unterscheidet zwischen Kopiervorlagen (Master copies) und Typen (Types). Elemente, die in „Kopiervorlagen“ gespeichert sind, sind mit dem kopierten Element nicht verbunden. Typen hingegen sind mit ihren Verwendungsstellen im Projekt verbunden. Das heißt, wenn Type verändert werden, wird dies im Projekt automatisch aktualisiert. Im Falle, dass ein Typ gelöscht wird, werden alle Verwendungen automatisch mitgelöscht. (vgl. [27])

Einbindung von globalen Bibliotheken

Bibliotheken in Tia Portal hinzuzufügen ist intuitiv und simpel. Der erste Schritt ist das Downloaden der richtigen Bibliothek. Diese können Online auf Websites, von Siemens oder Drittherstellern, gefunden werden. Um diese jedoch herunterzuladen, braucht man einen dazu berechtigten Siemens-Account. Ist die richtige Bibliothek gefunden und heruntergeladen, erfolgt der zweite Schritt. Zuerst wird Tia Portal geöffnet. Dann geht man auf die Projektansicht. Daraufhin findet man ganz rechts, als vierten Reiter von oben den Punkt Bibliotheken. Klickt an auf diesen erscheint ein Fenster, welches der Höhe nach in zwei Teile aufgeteilt ist. Die obere Hälfte ist für die Projektbibliothek. In der unteren Hälfte findet man die Globalen Bibliotheken. Um nun eine neue Bibliothek einzubinden, klickt man auf das zweite Symbol von links "Globale Bibliothek öffnen". Das Symbol ist ein Buch mit einem grünen Pfeil rechts oben. Jetzt öffnet sich wieder ein Fenster. Hier befindet sich dann der Ordner, aus dem die zu integrierende Bibliothek ausgewählt wird. Im Anschluss wird die Datei mit dem Datenformat .alxx (xx ... Version Tia-Portal (18)) geöffnet. Nun ist die gewünschte Bibliothek verfügbar. Alle Bausteine die diese Bibliothek zur Verfügung stellt, können nun per Drag-and-Drop ins Programm gezogen werden. (vgl. [32])

3.3 Motoransteuerung

Eine weitere Hauptaufgabe der SPS ist es, die Ansteuerung der Motoren zu vollziehen. Hierbei stehen die Daten zur Verfügung, welche vom Server geschickt werden. Dies beinhaltet für die Motoransteuerung folgende Aufgaben: Positionsfahren (Ein/Auslagerung), Ansteuerung des Motors des Querförderers sowie die Ansteuerung der Asynchronmaschine des Förderbandes. Bei allen Motoren, bis auf den Motor für das Förderband, handelt es sich um Schrittmotoren. Es werden zwei unterschiedliche Motortypen verwendet: Nema 23 Closed Loop und Nema 17, wobei Nema 23 der stärkere der beiden Motoren ist. Die Nema 23 Motoren werden für das Ansteuern der X- und Y-Achse verwendet. Der Querförderer sowie die Z-Achse über die Nema 17 Motoren. Zu bedenken ist, dass jede Achse von zwei Motoren

angetrieben wird und sich daher eine Anzahl von 7 Schrittmotoren plus einen Asynchronmotor ergibt. Für jeden der Schrittmotoren gibt es eine Schrittmotortreiber. Dieser regelt den Motor anhand der Kontrollsingale, die dieser von der SPS bekommt.

3.3.1 Kontrollsingale für den Motortreiber

Die zwei Hauptsignale die der Treiber von der SPS bekommt, sind ein PTO-Signal sowie ein boolsches Signal, welches für die Drehrichtung verwendet wird (Direktion). Zusätzlich dazu gibt es ein zweites boolsches Signal für die Freigabe des Motors (Enable). Ein weiteres Signal geht vom Motortreiber aus, nämlich ein Alarmsignal (Alarm). Dieses wird gesendet, wenn der Motortreiber folgende Fehler erfährt: Überspannung, Überstrom, Kurzschluss sowie Positionsschleppfehler.

1. Pulse Train Output (PTO)

Das PTO-Signal besteht aus verschiedenen Pulsen mit Ein- zu Auszeit im Verhältnis 50 : 50 Prozent. Für jeden dieser Pulse bewegt sich der Motor um einen Schritt. Wie groß dieser Schritt ist hängt davon ab, wie viele Schritte benötigt werden um eine volle Umdrehung des Motors zu vollziehen. Dies kann man am Schrittmotortreiber einstellen. Bei diesem Projekt ist eine Umdrehung des Motors in 1600 Schritte eingeteilt. Das heißt, das PTO Modul schickt 1600 solcher Pulse, damit sich der Motor einmal dreht. Das heißt die SPS regelt die Frequenz mit welcher die Pulse hinausgeschickt werden und somit die Geschwindigkeit des Motors.

2. Direktion

Dieses Signal ist wie bereits erwähnt ein boolsches Signal. Dies bedeutet, dass das Signal nur zwei Zustände besitzt. Entweder HIGH oder LOW. Dieses Signal bestimmt die Richtung, in welche sich der Motor dreht. Entweder im Uhrzeigersinn (CW) oder gegen den Uhrzeigersinn (CCW). Bei einem HIGH Signal dreht der Motor gegen den Uhrzeigersinn und bei einem LOW Signal im Uhrzeigersinn.

3. Enable

Hat wie das Direktion-Signal zwei Zustände: HIGH und LOW. Dieses Signal ist jedoch logisch invertiert. Dies bedeutet, dass bei einem HIGH Signal der Motor gesperrt ist. Der Motor ist nur bei einem LOW-Signal freigegeben.

4. Alarm

Ist ebenfalls ein boolsches Signal mit HIGH und LOW. Sobald der Motortreiber oben genannte Probleme erkennt, wird dieses Signal auf HIGH gesetzt. So sieht man auch in der SPS, dass es zu einem Fehler am Motortreiber gekommen ist.

Um falsche Ausführungen sowie Abweichungen zu vermeiden, müssen die in Abb. 3.4 gezeigten, Minimal- und Maximalwerte, eingehalten werden. Damit ein Signal als HIGH aufgefasst wird, muss es über 3,5 V haben. Soll es jedoch als LOW gesehen werden, so muss die Spannung des Signals unter 0,5 V fallen. Die Periode des PTO Signals muss länger als

5 µs sein, um eine sichere Abarbeitung zu garantieren. Auch darf die Pulsweite, sowie die Zeit die der Puls auf LOW ist, nicht unter 2,5 µs fallen. Zusätzlich muss das Enable-Signal mindestens 5 µs vor dem Direktion Signal und 10 µs vor dem PTO Signal am Motortreiber anstehen. Wie in Abb. 3.4 zu sehen, muss das Direktion-Signal auch mindestens 5 µs vor dem PTO Signal ankommen.

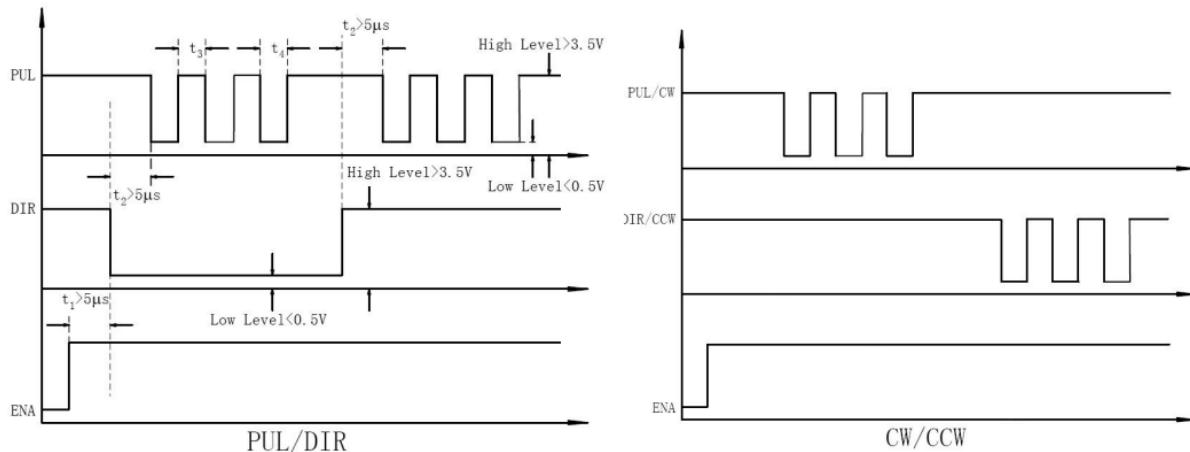


Abbildung 3.4: Sequenzdiagramm der Kontrollsiegelne, Quelle: [33]

(vgl. [33])

3.3.2 Motion Control Anweisungen

Um den Motor in der SPS durch das Programm steuern zu können, wird zuerst das Technologieobjekt für diesen Motor erstellt und mit den richtigen Daten ausgefüllt. Danach ist dieses Technologieobjekt durch Motion Control Anweisungen steuerbar. In den folgenden Abschnitten werden alle für das Projekt relevanten Motion Control Anweisungen erklärt.

1. MC_Power

Diese Motion Control Anweisung gibt ein Technologieobjekt frei beziehungsweise sperrt es. Wird der Parameter enabel auf HIGH gesetzt, so wird das Technologieobjekt freigegeben. Das Technologieobjekt ist solange freigegeben, solange enable auf HIGH ist. Am Parameter Status kann man dann erkennen, ob das Technologieobjekt freigegeben wurde oder nicht.

2. MC_Home

Wird verwendet um eine Achse zu referenzieren. Die Dynamikwerte mit welcher dieser Baustein ausgeführt wird, sind jene, die in der Konfiguration des Technologieobjekts voreingestellt wurden. Es wird unterschiedlich referenziert, je nach dem welcher Wert (0-13) am Parameter Mode anliegt. Ausgeführt wird diese Motion Control Anweisung sobald eine steigende Flanke am Parameter execute erfasst wird. Referenziert ist die Achse erst, wenn der Parameter Done auf HIGH umschaltet.

3. MC_MoveAbsolut

Mit dieser Anweisung wird eine Achse auf eine absolute Position gefahren. Die Parameter Velocity (Geschwindigkeit), Jerk (Ruck), Acceleration (Beschleunigung) und Deceleration (Verzögerung) können bestimmt werden. Werden diese nicht ausgefüllt oder mit einem Wert kleiner null ausgefüllt, so werden die voreingestellten Werte übernommen. Diese Motion Control Anweisung kann nur ausgeführt werden, wenn das Technologieobjekt bereits referenziert ist. Ist das der Fall so wird das Technologieobjekt ausgeführt, wenn es am Parameter execute eine steigende Flanke erkennt. Wenn die Zielposition erreicht wird, schaltet der Parameter Done auf HIGH.

4. MC_GearIn

Startet einen Getriebegleichlauf zwischen einer Leit- und einer Folgeachse. Dies kann sowohl in Bewegung als auch im Stillstand erfolgen. Als Leitachse können folgende Technologieobjekte ausgewählt werden: Positionierachse, Gleichlaufachse, Externer Geber und Leitachsstellvertreter. Als Folgeachse kann jedoch nur das Technologieobjekt Gleichlaufachse agieren. Der Auftrag wird gestartet sobald am Parameter execute eine steigende Flanke kommt. Die Synchronisation ist fertiggestellt, wenn der Parameter InGear auf HIGH schaltet.

(vgl. [34])

3.3.3 Konfiguration Technologieobjekt

Um die Technologieobjekte nutzen zu können, müssen diese korrekt konfiguriert werden. Das Technologieobjekt für den Nema23 Motor wird wie folgt konfiguriert:

Positionierachse

1. Technologieobjekte
2. Neues Objekt hinzufügen
3. Motion Control
4. TO_PositioningAxis
5. Konfiguration
 - Antrieb → Local Modules → PTO Modul auszuwählen
 - Mechanik → Spindelsteigung: = 134,9942 *
 - Dynamik-Voreinstellung:
 - Geschwindigkeit: 300 mm/s
 - Beschleunigung: 6000 mm/s²
 - Verzögerung: 6000 mm/s²

- Positionsgrenzen
 - HW-Endschalter aktivieren
 - Variablen wählen
 - Pegelauswahl: oberer Pegel
- Dynamikgrenzen
 - Geschwindigkeit: 1000 mm/s
 - Beschleunigung: 20 000 mm/s²
 - Verzögerung: 20 000 mm/s²
- Referenzieren → aktives Referenzieren
 - Variable wählen
 - Pegelauswahl: oberer Pegel
 - Refernzierrichtung: Positiv
 - Refernziergeschwindigkeit: 25 mm/s

* Dieser Wert kommt zustande indem man sich anschaut wie weit sich die X-Achse bewegt, wenn der Motor eine Umdrehung macht. Bei einer Drehung des Motors, bewegt sich die X-Achse um den Umfang des Zahnrades, also:

$$X\text{-Achse}_{Bewegung} = 2 * r * \pi$$

Bei einem Durchmesser des Zahnrades von 42,97 mm ergibt sich so:

$$Spindelsteigung = 2 * r * \pi = 42,97 \text{ mm} * \pi = 134,9942 \text{ mm}$$

Gleichlaufachse

Bei der Gleichlaufachse ist bei der Konfiguration ein zusätzlicher Schritt vorzunehmen. Unter Konfiguration - Leitwertverschaltung wird eine Leitwertverschaltung hinzugefügt, in dem man auf „hinzufügen“ klickt und anschließend das Technologieobjekt auswählt, dem die Gleichlaufachse folgen soll.

3.3.4 Synchronisation

Die X,Y,Z -Achsen werden von jeweils zwei Motoren angetrieben. Daher müssen die zwei Motoren, welche zusammenarbeiten, synchronisiert werden. Dies wird in der Software, durch die Motion Control Anweisung MC_GearIn, gelöst. Bei dem Slave muss es sich, wie beschrieben um eine Gleichlaufachse (TO_SynchronousAxis) handeln. Da die beiden Achsen hardware technisch verbunden sind, muss die Synchronisation im Stillstand erfolgen. Ausgeführt wird die Synchronisation bei einer steigenden Flanke am Parameter Execute. Die Folgeachse bleibt nun solange synchron zur Leitachse, bis es entweder zu einem MC_GearOut Auftrag kommt, oder die Freigabe der Folgeachse, durch ein LOW Signal am Parameter enable des MC_Power Bausteins (Folgeachse), nicht mehr vorhanden ist. Ein

Sperren der Leitachse über MC_Power (Leitachse) führt nicht zu einem Synchronisationsverlust. Die voreingestellten Werte bei den Parametern RationNumerator sowie RatioDenominator können übernommen werden. Diese werden nur geändert falls zwischen den zu synchronisierenden Motoren, ein Getriebe vorhanden ist, was bei diesem Projekt jedoch nicht der Fall ist. Ansonsten bleibt der Getriebefaktor bei 1. (siehe Abb. 3.5)

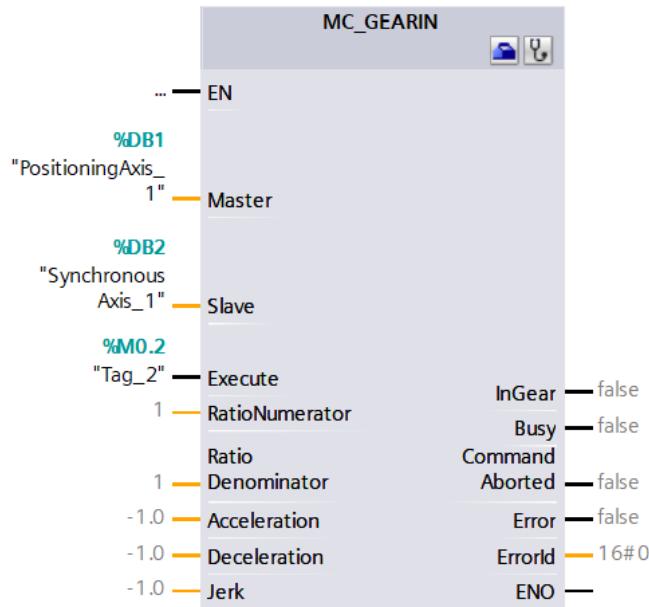


Abbildung 3.5: Baustein MC_GearIn

3.3.5 Ansteuerung des Förderbands

Die Ansteuerung des Förderbands erfolgt im Gegensatz zu den anderen Motoren nicht über Motortreiber. Die Asynchronmaschine des Förderbands wird schlicht und einfach über Relais mit der Spannungsversorgung verbunden oder getrennt. Die Ansteuerung der Relais erfolgt dann über die Digitalausgänge der SPS. Die Relais schalten jeweils die drei Phasen. Eine Richtungsumkehr wird durch eine Vertauschung zweier Phasen erreicht. Deswegen ist das Relais 1 so verschalten, dass das Förderband im Uhrzeigersinn läuft. Beim zweiten Relais sind dann zwei Phasen vertauscht, sodass es zu einer Richtungsumkehr kommt. Dies bedeutet das bei Ansteuern des Relais 1 sich das Förderband im Uhrzeigersinn (+ Richtung) läuft und beim Ansteuern des Relais 2 gegen den Uhrzeigersinn (- Richtung). Jedes dieser Relais beistzt auch Hilfskontakte. Diese werden so verkabelt, dass eine Ansteuerung des einen Relais nur geht, sofern das andere Relais nicht angesteuert ist. Dieser Aufbau gleicht einer Wendeschützschaltung.

Nun wird bestimmt wie lange man ein Relais ansteuern muss, damit das Förderband eine bestimmte Strecke zurücklegt. Aufgrund des hohen Zeitaufwandes dieses Projektes konnte folgender Ansatz noch nicht umgesetzt werden. Der Ansatz ist es, das Förderband per Direktstart anlaufen zu lassen. Daraufhin wäre die Distanz, die das Förderband nach einer

bestimmten Zeit zurücklegt zu messen und mehrere Datenpunkte anzulegen. Beispielsweise bei 0,5 s, 1 s, 2 s und 5 s. Dann wäre eine Regressionsrechnung durchzuführen, um eine Funktion für die zurückgelegte Strecke, in Abhängigkeit von der Zeit zu bekommen. Von dieser Funktion wäre nun eine Umkehrfunktion zu erstellen. Diese liefert dann, die Zeit die es braucht um eine bestimmte Wegstrecke zurückzulegen. Mit dieser Funktion kann dann in Tia Portal gearbeitet werden, in dem man die gewünschte Wegstrecke einsetzt und den zugehörigen Zeitwert bekommt. Dieser Zeitwert ist dann die Zeit, wie lange die Relais angesteuert werden sollen.

3.3.6 Tia-Portal Programm

Durch die SPS-Server Kommunikation stehen die benötigten Daten sowie der Auftrag, welcher ausgeführt werden muss, zu Verfügung.

Ein-/Auslagerung

Bei dieser Aufgabe stehen als Informationen die X,Y,Z -Werte der Lagerposition zu Verfügung und ob es sich um eine Ein- oder Auslagerung handelt. Die Lagerposition ist der linkeste, oberste und vorderste Punkt bei einer Box, wenn diese gelagert ist. Die Tiefe, also der Z-Wert, ist nur wie weit die Z-Achse nach vorne fährt.

Einlagerung

Bei einer Einlagerung muss die Box zuerst beim Querförderer geholt werden. Das Abholen der Box beim Querförderer erfolgt wie die Auslagerung. Dann wird die Box auf die Zielposition gelagert. Die anzufahrenden Wert unterscheiden sich von der Lagerposition. Der anzufahrende X-Wert liegt in der Mitte der Box.

$$X_{Wert} = X_{Lagerposition} + \frac{Breite_der_Box}{2} = X_{Lagerposition} + \frac{100 \text{ mm}}{2}$$

Beim Y-Wert wird der Abstand zur Einlagerungsschiene berücksichtigt, welcher aufgrund von Toleranzen sowie der Höhe der Z-Achse, zustande kommt. Dieser Abstand beträgt 30 mm. Um nun den X-Wert und Y-Wert, welcher angefahren wird, zu bestimmen, wird folgende Rechnung angewendet:

$$X_{Wert} = X_{Lagerposition} + 50$$

$$Y_{Wert} = Y_{Lagerposition} + 30$$

Dann wird der Z-Wert angefahren und die Box anschließend auf:

$$Y_{Wert} = Y_{Lagerposition} - 20$$

gesenkt. Dies wird getan um sicherzustellen, dass die Box in der Einlagerungsschiene liegt. Daraufhin kann die Z-Achse wieder eingefahren werden (Z-Wert = 0).

Auslagerung

Zuerst die zu auslagernde Box anfahren.

$$X_{Wert} = X_{Lagerposition} + 50$$

$$Y_{Wert} = Y_{Lagerposition} - 20$$

Dann wieder die Z-Achse auf den gegebenen Wert ansteuern und die Box auf:

$$Z_{Wert} = Z_{Lagerposition} + 30$$

heben.

Nun die Box wieder einfahren (Z-Wert = 0). Daraufhin die Position des Querförderers anfahren. Damit wäre der Befehl „Auslagerung“ abgeschlossen.

Querförderer

Der Querförderer fördert Boxen von Lager auf das Förderband und umgekehrt. Er wird über einen Motor angesteuert. Wenn der Querförderer angesteuert wird, stehen nur die Information zu Verfügung, auf welche Position dieser fahren soll.

Förderband

Beim Ansteuern des Förderbands liegen folgende Informationen vor. Zu fahrende Strecke und die Richtung (plus oder minus). Die Richtung wird darüber bestimmt, welches Relais man ansteuert. Relais 1 für plus und Relais 2 für minus. Wie weit nun das Förderband fährt wird über die Einheit des Relais bestimmt. Die Zeit wie lange das Relais ein sein soll, hängt von der zurückzulegenden Strecke ab. Diese Information steht zu Verfügung, weshalb man diese in die Funktion einsetzt, welche man wie in Punkt 3.3.5 gezeigt ermittelt hat, und bekommt so die Zeit, wie lange das Relais ansteuert wird. Die Bewegung des Förderbands erfolgt immer relativ zur aktuellen Position und nicht absolut.

Beispiel für eine solche Ausführung

Befehle könnten in folgender Reihenfolge kommen:

1. A01 P+1000
2. A11 P2500
3. A11 P0000
4. A10 X0100Y0500Z0250R1

Diese werden wie folgt ausgeführt:

1. A01: steht für eine Bewegung des Förderbandes.
+1000 : Eine Bewegung um 1000 mm im Uhrzeigersinn
2. A11: Ausfahren des Querförderers auf die Position 2500 mm

3. A11: Einfahren des Querförderers auf die Position 0 mm
4. A10: Einlagerung der Box

Angesteuert werden dann folgende Werte:

$$X_{Wert} = 100 + 50 = 150$$

$$Y_{Wert} = 500 + 30 = 530$$

$$Z_{Wert} = 250$$

Die X-Achse und Y-Achse können gleichzeitig auf den richtigen Wert gefahren werden. Erst wenn die X- und Y-Position erreicht wurde, wird die Z-Achse angesteuert.

Daraufhin folgt das Absetzen der Box. Nun wird folgender Y-Wert angefahren:

$$Y_{Wert} = 500 - 20 = 480$$

Schlussendlich wird die Z-Achse wieder eingefahren.

$$Z_{Wert} = 0$$

5. Nun sind alle Aufträge abgeschlossen.

Bei diesem Beispielauftrag wurde nicht auf die zeitliche Ausführung geachtet. In welcher Reihenfolge sowie Zeitabstand indem die Befehle kommen, hängt alleine von der Logik am Server ab.

3.4 SPS-Server Kommunikation

Da die Lagerlogik auf einem Server ausgeführt wird und die SPS nur das ausführende Element ist, muss eine Verbindung zwischen SPS und Server aufgebaut werden. Das Ziel dieser Verbindung ist es, die nötigen Informationen, sowie die Übertragung des Auftrags auszuführen.

3.4.1 Zur Auswahl stehende Kommunikationsprotokolle

Kommunikationsprotokolle ermöglichen den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen, indem sie Standards und Regeln für die Kommunikation definieren. In diesem Projekt wurden zwei Protokolle getestet und miteinander verglichen: OPC-UA sowie das HTTP-Protokoll.

Allgemeines

- **HTTP (Hypertext Transfer Protocol):**

HTTP ist eines der bekanntesten Protokolle, welches für die Datenübertragung zwischen Clients und Servern verwendet wird. Es basiert auf einem Anforderungs-Antwort-Prinzip, bei dem ein Client (Bsp.: Webbrower) Anfragen an einen Server sendet, welcher anschließend die entsprechenden Daten zurückschickt. Die Anfrage wird als HTTP Request und die Antwort als HTTP Response bezeichnet.(vgl. [35])

- **OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture):**

OPC-UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ist ein plattformunabhängiges Kommunikationsprotokoll, das speziell für industrielle Anwendungen entwickelt wurde. Es ermöglicht eine herstellerunabhängige Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten bzw. Systemen. (vgl. [36])

Funktionsweise

- **HTTP (Hypertext Transfer Protocol):**

Eine Kommunikation mit dem HTTP Protokoll findet wie folgt statt. Wie oben bereits erwähnt funktioniert das HTTP- Protokoll nach dem Anforderungs-Antwort-Prinzip. Wie in Abb. 3.6 ersichtlich wir als Erstes eine Anfrage vom Client zum Server gesendet (HTTP-Request). Darufhin wird diese Anfrage vom Server bearbeitet und dieser sendet dann die geforderten Informationen zurück (HTTP-Response). Danach ist die Verbindung beendet. (vgl. [37])

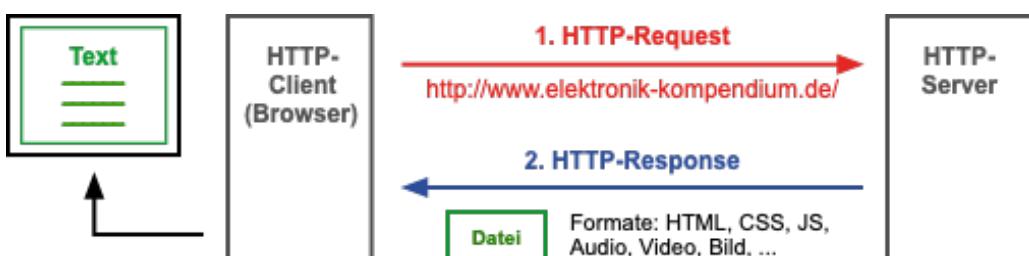


Abbildung 3.6: HTTP-Client-Server Kommunikation, Quelle: [37]

- **OPC-UA (Open Platform Communications - Unified Architecture):**

Auch bei OPC UA gibt es Server und Clients. Dabei stellt der Server Daten bereit und die Clients können diese Daten abfragen oder Werte überschreiben. Dies ermöglicht einen sichere sowie zuverlässige Datenübertragung. (vgl. [36])

Auswahl des Protokolls

Bei diesem Projekt wurde das HTTP Protokoll ausgewählt, um die Kommunikation zwischen SPS und Server auszuführen. Das HTTP Protokoll wurde ausgewählt, da die SPS direkt mit dem Server kommunizieren kann. Bei OPC-UA hätte ein zusätzlicher Server gehostet werden müssen. Dieser OPC-UA Server hätte dann mit dem eigentlichen Server, welcher die Lagerlogik übernimmt, kommuniziert. Die SPS hätte dann auf den OPC-UA Server zugegriffen und nicht direkt auf den Zielserver. Um diesen zusätzlichen Aufwand sowie weitere Fehlerquellen zu vermeiden, wurde das HTTP Protokoll ausgewählt.

3.4.2 Verbindungsherstellung

Aus den in Punkt 3.4.1 genannten Gründen wurde das HTTP Protokoll ausgewählt. Um in TIA-Portal die Verbindung via HTTP aufzubauen, benötigt man bestimmte Libraries die von Siemens zu Verfügung gestellt werden. Diese müssen dann wie im Punkt 3.2.5 gezeigt eingebunden werden, um die Funktionsbausteine der Library nutzen zu können.

Funktionsbausteine

In der Library für das HTTP Protokoll stehen dann folgende Bausteine zur Verfügung:

- GET
- POST-PUT

Als Baustein zur Verbindungsherstellung wurde der POST-Befehl ausgewählt, da mit diesem unbegrenzte Datenmengen geschickt werden können. Damit der Baustein nun eine Verbindung herstellen kann müssen folgende Parameter angegeben werden: **URL** [string], die zu schickenden Daten **data** [string] und ein Speicherplatz für die empfangenen Daten **response Data** [Array of Char]. Die restlichen Eingabeparameter, welche in Abb. 3.7 ersichtlich sind, müssen nicht unbedingt ausgefüllt werden, sondern werden automatisch vorausgefüllt. Standardmäßig ist die richtige Methode (POST) schon ausgewählt, da die Eingabe **method** automatisch mit **0** ausgefüllt wird.

Wird nun die Eingabe **execute** HIGH, so wird der Baustein einmalig ausgeführt. Rechnet man mit einem häufigeren Datenaustausch, mit Hilfe dieses Bausteins, so empfiehlt es sich den Parameter **keep Connection** auf **true** zu setzen. Dadurch bleibt die Verbindung mit dem Zielserver erhalten und weitere Kommunikationen werden schneller ausgeführt.

3.4.3 Datenaustausch

Die SPS und der Server arbeiten mit verschiedenen Datentypen. Bei dem Datenaustausch erwartet der Server die Daten in einem json-Format. Deswegen müssen die Daten, welche gesendet werden, zuerst in dieses Format gebracht werden. Um dies in Tia Portal zu realisieren wird die Bibliothek LStream eingebunden. Mit dieser werden dann Daten aus einem json-Datenbaum in ein Array of Byte umgewandelt. Dieses Array of Byte wird anschließend

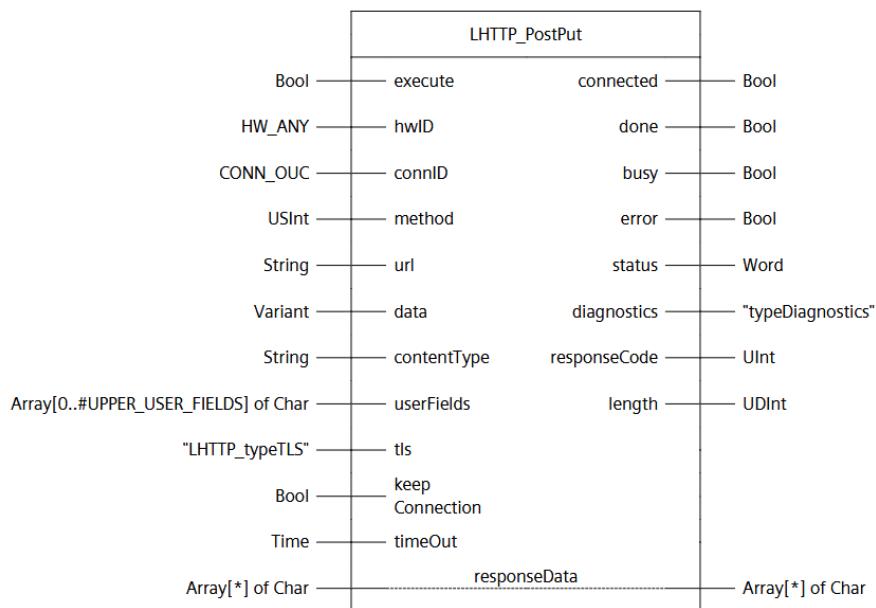


Abbildung 3.7: POST-Put Baustein, Quelle: [38]

in den Datentyp string umgewandelt. Nun kann dieser string an den POST-Datenbaustein weitergegeben werden.

Ist nun der Datenaustausch abgeschlossen, so sind die empfangenen Daten als Array of Char verfügbar. Da man in Tia-Portal nur umständlich mit diesem Datenformat umgehen kann, wird das Array of Char nun in das Datenformat string umgewandelt. Die Daten sind nun noch immer nicht einzeln verfügbar, weswegen man nun diesen string nach den Daten filtern muss.

3.4.4 Datenfilterung

Die vom Server geschickten Daten werden in einem Befehl geschickt. Aus diesem Befehl muss herausgelesen werden, um welche Aufgabe es sich handelt und welche Daten erforderlich sind, um diese Aufgabe auszuführen.

Datenformatierung

Die Daten werden in einem string geschickt, welcher in zwei Teile aufgeteilt wird. Der zweite Teil ist jedoch abhängig vom ersten.

(In folgenden Punkten dient x immer als Platzhalter für eine Nummer null bis neun.)

- 1.Teil:

IDxxxxAxx

Aus diesem Teil werden die ID-Nummer sowie der Auftrag herausgefiltert. Die ID-Nummer ist eine 4 stellige Nummer welche nach ID steht. Der auszuführende Teil der Hardware steht in den zwei Stellen nach A.

Diese werden nach folgender Codierung ausgelesen:

- 00: Kommissionierstation
- 01: Förderband
- 10: Lager 1 (Aus-/Einlagerung)
- 11: Lager 1 (Querförderer)

- 2.Teil:

Der zweite Teil steht in Abhängigkeit zum Ersten. Je nachdem welche Zahl nach A steht, also der Code welche Area angesprochen wird, ist der zweite Teil anders aufgebaut.

- 00: SB
Bei diesem Befehl muss der Barcodescanner angesteuert werden um an der Kommissionierstation einen Barcode einzuscannen.
- 01: P ±xxxx
Gibt an um wie viel sich das Förderband (in mm) bewegen muss. Vor der Zahl steht jedoch entweder ein plus oder minus um festzulegen, in welche Richtung sich das Förderband bewegen muss.
- 10: XxxxxYxxxxZxxxxRx
Nach jeder Achse X,Y,Z steht ein vierstelliger Wert, der die Position des gewünschten Lagerplatzes angibt. Der Wert nach R ist entweder 0 oder 1 und gibt an ob es sich um eine Einlagerung (1) oder Auslagerung (0) handelt.
- 11: Pxxxx
Nach P steht ebenso ein vierstelliger Wert, der angibt auf welche Position der Querförderer gefahren werden muss.

3.4.5 Tia Portal Programm

Im Programm werden zwei Funktionsbausteine aufgerufen. Nämlich FB_Kommunikation und FB_Datenfiltern. FB_Kommunikation übernimmt den Datenaustausch zwischen Server und SPS. In diesem Baustein werden zuerst die Daten die an den Server geschickt werden, wie in Punkt 3.4.3 erklärt, ins richtige Datenformat (string) gebracht. Daraufhin wird der HTTP POST-Aufruf ausgeführt und die empfangenen Daten, wie in 3.4.3 gezeigt, wieder ins richtige Datenformat gebracht. Somit ist die Aufgabe dieses Datenbausteins erfüllt. Nun erfolgt der Aufruf des zweiten Funktionsbausteins FB_Datenfiltern. Dieser Funktionsbaustein ist in unterschiedliche Funktionsbausteine aufgeteilt. Der erste dieser Funktionsbausteine filtert nach ID sowie der Area (Aufgabe). Daraufhin wird der Baustein FB_Kommunikation innerhalb des Bausteins FB_Datenfiltern aufgerufen, um sofort die ID-Nummer an den Server zurück zu schicken, damit dieser weiß, dass die SPS den Auftrag erhalten hat. Die restlichen Bausteine die im FB_Datenfiltern enthalten sind, warten darauf, dass sie von ihrer Area, beispielsweise 01, angesprochen werden. Sollte dies der Fall sein, so filtern sie die für den Auftrag benötigten Informationen. Nach dem Aufruf beider Bausteine sind nun die

geforderten Informationen verfügbar. Bei beiden Funktionsbausteinen handelt es sich um Multiinstanzen, um das Programm übersichtlicher zu halten.

SCL-Bausteine (am Beispiel „ID + Area“)

Alle Bausteine zur Datenfilterung wurden in SCL programmiert. Als Eingabe dient der string, welcher die Daten beinhaltet. In diesem wird zuerst nach ID gefiltert (siehe Code-Snippet 8, Zeile 1). Dies liefert die Position von ID innerhalb des Strings. Daraufhin werden alle Zeichen links von ID + ID wegelöscht (siehe Code-Snippet 8, Zeilen 2 bis 5). Nun weiß man das rechts von ID eine vierstellige Nummer (ID-Nummer) steht. Da alles links von dieser Nummer weggeschnitten wurde, weiß man das diese Nummer ganz links im string ist. Deswegen werden die ersten vier Stellen von links genommen und dem Ausgang Q_Info_ID zugewiesen (siehe Code-Snippet 8, Zeile 6). Dieser Ausgang ist für das gesamte Programm erreichbar. Dasselbe Suchen und Löschen der Zeichen links vom Gesuchten wird ebenfalls für A (Area / Auftrag) erledigt (siehe Code-Snippet 8, Zeilen 10 bis 13). Da man den Wert von Area, welcher den Auftrag definiert, vergleichen will um den richtigen Baustein auszuführen, werden die zwei Zeichen links von A, von denen wir wissen das es Zahlen sind, in das Datenformat int konvertiert und dem Ein-Ausgang IQ_Info_Area zugewiesen (siehe Code-Snippet 8, Zeilen 19 bis 23).

```
1      #T_Int := FIND(IN1 := #I_Datenstring, IN2 := 'ID');
2 IF #T_Int > 0 THEN
3      #X_Info_ID := #T_Int + 1;
4      #X_String_bearbeitet := DELETE(IN := #I_Datenstring, L :=
#X_Info_ID, P := 1); //Alles bis inkl. X wegschneiden
5
6      #Q_Info_ID := LEFT(IN := #X_String_bearbeitet, L := 4);
// 4 Zeichen links von X nehmen
7
8 END_IF;
9
10 #T_Int := FIND(IN1 := #I_Datenstring, IN2 := 'A');
11 IF #T_Int > 0 THEN
12      #X_Info_Area := #T_Int + 0;
13      #X_String_bearbeitet := DELETE(IN := #I_Datenstring, L :=
#X_Info_Area, P := 1);
14
15      // Lager herausfinden          10: Lager 1      11:
Puscher (Lager 1)      00: Kommissionierstation
16      // (zurzeit nur 1 Lager verfuegbar)      20: Lager 2      21:
Puscher (Lager 2)      01: Foerderband
17      // -->nur 00/01/10/11 relevant      30: Lager 3      31:
Puscher (Lager 3)
18
19      #Area_Info_1_string := LEFT(IN := #X_String_bearbeitet, L := 2);
20      STRG_VAL(IN := #Area_Info_1_string,
FORMAT := #Area_convert_Format_auswaehlen,
```

```
22      P := 1,  
23      OUT => #IQ_Info_Area);  
24  
25 END_IF;  
26
```

Code-Snippet 8: SCL Baustein „ID+Area“

3.5 Fazit

Was bei dieser Diplomarbeit noch nicht erwähnt wurde, ist das dauernde Experimentieren sowie Ausprobieren, ob es so funktioniert, wie man es sich vorstellt. Natürlich funktioniert nicht alles beim ersten Mal. Bei der Motoransteuerung wurde zuerst eine Lösung über ein Weidmüller-Modul angestrebt. Dieses ist jedoch ein PWM-Modul, welches nicht zum Ansteuern von Motortreibern verwendet werden kann. Diese benötigen ein frequenzabhängiges PTO Signal. Auch die SPS-Server-Kommunikation wurde mehrmals ausgetestet. Zuerst über OPC-UA und anschließend erst über HTTP. Daraufhin folgt dann gleich die nächste Herausforderung. Die gesendeten Daten ins JSON-Format zu bringen sowie den HTTP-Post-Put Baustein richtig anzusteuern. Manchmal scheitert es auch an den kleinen Sachen, wie beispielsweise darauf zu achten, dass der Server im richtigen Netzwerk hängt. Den richtigen Namen der SPS zu geben, ist in Tia Portal auch wichtiger als man annehmen möchte und hat am Anfang durchaus für Verwirrung gesorgt. Mittels Versuchen wurde auch herausgefunden, wie man die Daten im JSON-Tree richtig einträgt. Sowohl die HTTP Bau steine als auch die Bausteine, welche verwendet werden, um die Daten ins JSON-Format zu bringen, sind als globale Bibliothek einzubinden. Aufgrund eines fehlenden Siemens-Accounts musste man sich hier immer an einen zuständigen Werkstättenlehrer wende. Hier besteht immer eine zeitliche Diskrepanz, etwas was durchaus öfters aufgefallen ist. Egal, was man machen will, es benötigt Vorbereitung und oft auch eine zweite Person. Dies sollte immer im Vorhinein ausgemacht werden. Zudem wurde gelernt, besser mit Datenblättern sowie dem Internet umzugehen, da jedes Austesten eine Recherche sowie Fehlerbehebung benötigt. Schlussendlich ist das Projekt, eine positive Erfahrung. Daher möchte ich an dieser Stelle einen Dank an meine Teamkollegen aussprechen.

4 Elektroplanung und Realisierung (Nikolaj Voglauer)

4.1 Elektroplanung

4.1.1 Einleitung - Grundanforderungen

Die Zielsetzung bei der elektrischen Planung, war es eine Lösung zu finden, die einerseits die Anforderungen von Erweiterbarkeit und Mobilität erfüllt und andererseits in der Schule beziehungsweise in der Werkstätte produzierbar ist. Die Elektrik des AFSS befindet sich in einem umgebauten Serverschrank, dessen physische Limitierungen bei der Planung ebenfalls berücksichtigt wurden.

In der Anlage sollten während dem Normalbetrieb alle Komponenten vor elektrischen Störungen geschützt sein. Der Fokus liegt hierbei auf dem Schutz von Messleitungen und Steuerleitungen, denn diese liefern präzise Daten, die nicht verzerrt werden sollen.

In der Planung wurde stets darauf geachtet, die elektrischen Komponenten so zu verbauen, dass im Falle eines Fehlers sowohl Personen gut geschützt und betroffene Geräte leicht auszuwechseln sind.

4.1.2 Elektrospezifische Anforderungen

Versorgung

Zur Verfügung steht dem AFSS ein Starkstromanschluss mit 400V Außenleiterspannung. Damit kann nur der Asynchronmotor für das Fließband direkt angesteuert werden.

Alle anderen Elemente brauchen eine andere Spannungsebene. Die insgesamt sieben Schrittmotoren benötigen 24 V mit einem möglichen Dauersummenstrom von über 20 A. Die Steuerlogik besteht aus Siemens-SPS, mit Ein- und Ausgangskarten sowie PTO-Karten und einer ET200 mit ASi-Master. Diese Logik benötigt ebenfalls 24 V und sollen getrennt versorgt werden, um von potentiellen Fehlern geschützt zu sein. Der ASi-Kreis benötigt eine eigene ASi-24V-Versorgung.

Antriebe

Angesteuert werden müssen folgende Motoren:

- 1 Asynchronmotor (250 W)
- 4 stärkere Schrittmotoren (2 Nm)
- 3 schwächere Schrittmotoren (40 Ncm)

Der Asynchronmotor braucht keine Drehzahlregelung und wird über eine Wendeschützschaltung angesteuert. Die Schrittmotoren werden über Schrittmotortreiber angesteuert. Diese Treiber werden von PTO-Karten der SPS gesteuert.

Sicherheit

Für die Anlage sind folgende Schutzgeräte ausgelegt:

- Fehlerstromschutzschalter (FI);
- Leitungsschutzschalter (LS);
- Motorschutzschalter;
- Gleichstromsicherungen für jeden Schrittmotor.

Um die Anlage bei Fehlern, die potentiell von den elektrischen Schutzeinheiten nicht erkannt werden, nach wie vor abschalten zu können, verfügt die Anlage über mehrere Not-Aus-Schalter. Zwei beim Regal selbst, einen im Schaltschrank und einen am Kommissionierplatz. Diese Positionierung soll es Nutzerinnen und Nutzern ermöglichen, aus jeder Position an der Anlage einen Not-Aus-Schalter zu erreichen.

Bedienelemente

Physische Bedienelemente sind beim AFSS ein Schlüsselschalter zur Freigabe und ein Drehtrennschalter für eine manuelle Freischaltungsoption.

Schaltschrank

Grundsätzlich haben Schaltschränke genormte Anforderungen (IEC 60208 und IEC 61439). Dazu gehört eine Auslegung von Verdrahtungskanälen, die die Kabel schützen und Umbauten nicht zusätzlich erschweren sollen. Lose verlegte Kabel sollen unter allen Umständen verhindert werden. Das Gehäuse muss geerdet sein und die inneren Komponenten vor Staub und Schmutz schützen. Bei einem potenziellen Lichtbogen soll der Schaltschrank Personen in der Nähe schützen. Zudem muss der Schrank gegen thermische Einflüsse geschützt sein, gegebenenfalls sollte der Schaltschrank, nach Norm, über eine Belüftung verfügen.

Der gewählte Serverschrank, schützt gegen Staub und Schmutz und enthält eine Lüfteranlage, die die Abwärme von mehreren Gleichrichtern gut abführen kann. Zudem sind die Materialien des Schrankes vor Korrosion geschützt (vgl. [39]).

Bei der Planung muss beachtet werden, dass die Erdung aller leistungsfähigen Elemente eingehalten wird. Außerdem dürfen Umbauten, wie die Montage von Rädern, keiner der angeführten Anforderungen widersprechen.

Kabelauslegung

Beim Auslegen von Kabeln gibt es mehrere Punkte, die beachtet werden müssen:

- Spannungsabfall
- Nennstrom

- Sicherungskonzept
- Verlegeart
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Während der Spannungsabfall bei den Längen des AFSS vernachlässigt werden kann, muss besonders auf Schleppkettentauglichkeit geachtet werden. Steuer- und Messkabel müssen entsprechend geschirmt werden und abhängig vom Strom muss der passende Querschnitt gewählt werden. Dabei müssen die Querschnitte auch auf die Schutzautomaten im Stromkreis abgestimmt werden.

Module

Die Paneele/Module, zur Montage der elektrischen Komponenten, müssen ebenfalls eine umfassende Erdung ermöglichen und mechanisch den Belastungen standhalten. Dabei ist das Gewicht die maßgebliche Belastung. Die Verdrahtungskanäle müssen eine übersichtliche Verdrahtung gewährleisten, die Modularität der Paneele soll vorteilhaft ausgenutzt werden und soll das Projekt nicht unnötig verkomplizieren. Kostentechnisch soll dabei ein möglichst günstiges, aber standhaftes Material gewählt werden.

4.1.3 Mechanische Planung

Schalschranksrahmen

Bevor man sich den Details des Schaltschrankes widmet, muss zuerst der Rahmen festgelegt werden. Grundsätzlich würde man einen herkömmlichen Schaltschrank verwenden, allerdings sind diese teuer und erfüllen auch nicht die Anforderung der Mobilität. Deswegen wurden mehrere alternative Optionen in Betracht gezogen.

Anfangs wurde der Ansatz verfolgt, die elektrischen Komponenten in den Lagerschrank selbst einzubauen. Dabei hätte man entweder einen eigenen Abteil für die Elektrotechnik einplanen können, der auch mittels entsprechendem Material räumlich getrennt wäre, oder man hätte die Elemente fluide unterbringen können. Damit ist gemeint, dass in dem ganzen Lagerschrank verteilt die elektrischen Komponenten montiert wären.

Die fluide Variante benötigt sorgfältige Planung und auch durchgehende Absprache mit der restlichen mechanischen Planung des AFSS. Dafür hätte man ein kompaktes Design, allerdings wäre das Risiko für Verletzungen und Schäden höher, da die elektrischen Komponenten nur schwer räumlich trennbar wären. Aufbauend auf der fehlenden Sicherheit und der Tatsache, dass die benötigte Kommunikation in einer Entwicklungsphase nicht möglich wäre, wurde diese Option nicht verfolgt.

Wesentlich realistischer ist der Ansatz ein eigenes, kleines Abteil in den Schrank einzubauen. Der Rahmen sowie das Lager wären aus Aluminiumprofilen gebaut und die jeweiligen Seiten mit Kunststoffen verkleidet, um die räumliche Trennung zu gewährleisten. Diese Option ist kommunikationstechnisch möglich, da man sich mit der restlichen mechanischen

Planung nur auf die Außenmaße und Position dieses Abteils einigen muss. Allerdings bedeutet ein integriertes Abteil auch weniger Lagerplätze und einen deutlichen Zusatzaufwand in der Realisierung. Diese Variante wurde verworfen, um die Lagerplätze zu maximieren.



Abbildung 4.1: Serverschrank bei Übergabe an das AFSS-Team

Auf der weiteren Suche nach einer Alternative zum herkömmlichen Schaltschrank wurde die Möglichkeit, einen alten Serverschrank der Schule (siehe Abbildung 4.1) zu recyceln, erkannt. Ein fertig gebauter Schrank, der im Fehlerfall die Umgebung ausreichend schützt und keine Zusatzkosten mit sich bringt, wurde als beste Option gewählt. Die im Inneren bereits vorhandenen Profilschienen bieten viele Möglichkeiten die Elektrotechnik, zu montieren. Zudem bietet der Innenraum des Serverschrankes viel Platz und auch die Möglichkeit, die Elektrotechnik im Bedarfsfall rasch und einfach zu erweitern, da man die Profilschienen sehr individuell nutzen kann.

Es wurde entschieden, den Serverschrank zu einem Schaltschrank umzubauen. Im Zuge des Umbaus wurde der Innenraum umgebaut und der Serverschrank mobil gemacht.

Modulprinzip

Das Innenleben des Schaltschrankes ist in mehrere Module getrennt. Die Anforderungen an diese wurden schon beschrieben, doch ursprünglich waren weitere Alternativen für den Innenraum des Serverschrankes in Diskussion.

Anstatt mehrerer Module, die später genauer beschrieben werden, hätte man eine durchgehende Platte verwenden und diese an den Profilschienen des Serverschrances festschrauben können. Vorteilhaft an einer durchgängigen Platte wäre gewesen, dass man in der Positionierung der Komponenten mehr Freiheiten gehabt hätte. Die große Platte entfällt als Möglichkeit allerdings insofern, da diese nicht in der Schule produzierbar ist.

Eine andere Option wäre eine plattenlose, bei welcher man die Hutschienen direkt auf die Profilschienen des Serverschrances montiert. Man spart sich so Platten. Die plattenlose Option ist eine kosteneffiziente Möglichkeit, allerdings gibt es viele Elemente, die im Schaltschrank nicht auf Hutschienen montiert werden können, diese bräuchten immer eine Montageplatte.

Damit ein einheitliches Design eingehalten werden konnte, wurde ein Modulprinzip gewählt. Dieses ermöglicht, alle Elemente, auch für die, die für Hutschienen ungeeignet sind, zu montieren und ist dennoch in der Schule herzustellen.

Platten-Material

Für die Materialwahl gab es drei realistische Möglichkeiten:

- Aluminium;
- Dibond;
- Kunststoff.

Die Aluplatten bieten den Vorteil der Leitfähigkeit und somit müsste man nur die Platte erden und die Elemente auf der Platte wären alle dementsprechend geerdet. Bei reinen Kunststoffplatten gibt es keine Leitfähigkeit und zusätzlich bieten die meisten Kunststoffe keine ausreichende mechanische Stabilität.

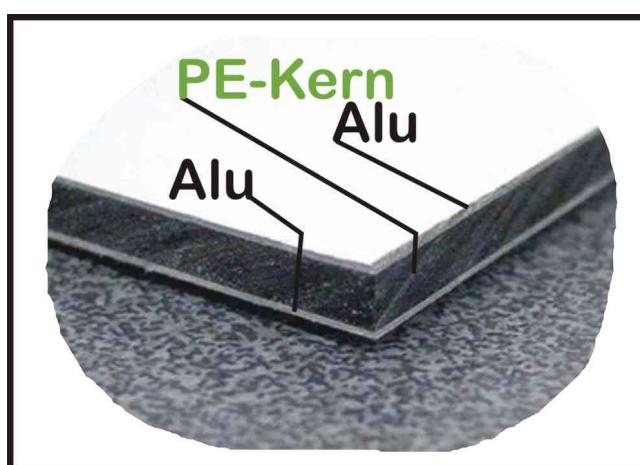


Abbildung 4.2: Dibond-Platte, Quelle: [40]

Aluminium erfüllt alle Anforderungen, ist aber teuer und ein wertvoller Werkstoff. Da ein umsichtiger Umgang mit Ressourcen wichtig ist, wurde nach einer Alternative gesucht. Dibond

wurde daraufhin als Projektstandard für die Module definiert (siehe Abbildung 4.2). Dieser Stoff besteht aus zwei dünnen Aluminiumplatten, die auf eine Kunststoffplatte aufgepresst werden. Dibond bietet keine elektrische Leitfähigkeit, folglich müssen alle Elemente, wie Hutschienen, zusätzlich geerdet werden. Das leichte Gewicht und die hohe mechanische Stabilität machen Dibond daher zur besten Option.

Digitaler Zwilling

Moderner Schaltschrankherstellung begegnen im Herstellungsprozess oft große logistische Probleme. Jeder Prozessschritt ist eine Fehlerquelle und wenn Fehler nicht früh erkannt werden, setzen sich diese fort. Damit zwischen den Prozessschritten keine Kommunikationsprobleme entstehen, setzen viele Hersteller auf das Prinzip des digitalen Zwilling. Dieser ist im Grunde ein digitaler Schaltschrank, welcher im ersten Prozessschritt, der Planung, ausgeplant wird und im Herstellungsprozess, sei es beim Schrankbau oder bei der Bestückung, aktualisiert und referenziert wird. Das heißt alle Prozessschritte beziehen sich auf denselben Plan bzw. digitalen Zwilling (siehe 4.3). Es setzt auch ein breites Feld an

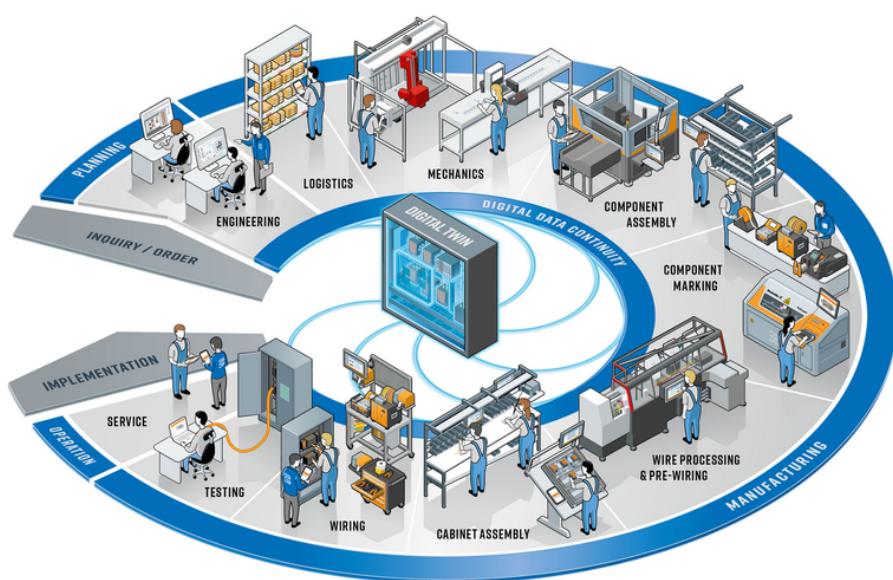


Abbildung 4.3: Digitaler Zwilling, Quelle: [41]

Firmen auf dieses Prinzip. Firmen wie Weidmüller, Komax, Steinhauer und noch viele mehr haben eine Firmenzusammenarbeit, die ohne einen digitalen Zwilling nicht möglich wäre (vgl. [42]). In diesem Fall werden die jeweiligen Prozessschritte meistens von einer neuen Firma übernommen. In diesem Bündnis ist der digitale Zwilling der Schlüssel zum Erfolg. Man kann dieses Prinzip der Dokumentation bzw. Planung als Industriestandard verstehen. Um den Prozess der Herstellung des Schaltschranks möglichst nahe an die Praktiken aus der Industrie anzugeleichen, wird auch der Schaltschrank des AFSS mithilfe eines digitalen Zwilling geplant. Dieser wird in Fusion360 gezeichnet und soll den Sollzustand

des Schaltschrankes abbilden.

Um die Konstruktion zu beginnen, braucht es eine möglichst ausführliche Ausmessung des bereits bestehenden Serverschrankes. Besonders wichtig sind die Elemente, die direkt am Umbau beteiligt sind, wie die Profilschienen (Abstände der Löcher, Abstände der Profilschienen zueinander und detaillierte Abmessungen der Profilschienen selbst), die Türen und die Lüfter.

Digitaler Zwilling - Umsetzung



Abbildung 4.4: Sommerprototyp eines Serverschrankes

Als Erstes wird der Serverschrank, ausführlich ausgemessen. Äußere Höhe, innere Höhe, äußere Breite, innere Breite und noch viele mehr müssen richtig gemessen werden. Für die Messungen werden Messschieber und bei größeren Abständen Maßbänder verwendet. Um die mechanische Konstruktion zu erleichtern, werden alle Daten digital festgehalten. Während die Messungen des Serverschranks für den finalen digitalen Zwilling wichtig werden, gibt es aber auch noch andere Punkte die berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise die Frage, ob das Modulkonzept so möglich sei. Aufgrund dessen und des Umfangs der Diplomarbeit, sowie der begrenzten Zeit, wurde ein erster Entwurf eines Serverschranks in Fusion360 konstruiert (siehe Abbildung 4.4) und weiters ein Probemodul gezeichnet. Die Maße dieses digitalen Prototyps sind von einem Standard-Serverschrank übernommen.

Dieser Prototyp hat nicht die selben Werte wie der richtige Serverschrank, der dem AFSS zur Verfügung steht. Aufgrund der Prototyp-Konstruktion stand fest, dass das Modulkonzept

so umsetzbar war. Weiters wurde festgestellt, wie eine Fusion360 Zeichnung optimaler gestalltet werden kann. Eine Erkenntnis des Prototyps war, dass man den Serverschrank nicht als ein großes Element konstruieren sollte. Wenn ein Fehler spät erkannt wird, ist dieser so gut wie nicht mehr zu beheben. Wenn die Konstruktion allerdings auf viele verschiedene Elemente aufgeteilt wird, dann ist der Schaden bei einem Fehler begrenzt. Nachdem das Grundprinzip erfolgreich konstruiert wurde, ist der Serverschrank auf Grundlage der echten Maße zu konstruieren gewesen (siehe Abbildung 4.5). Die gewonnenen Erkenntnisse wurden dabei bestmöglich miteinbezogen.

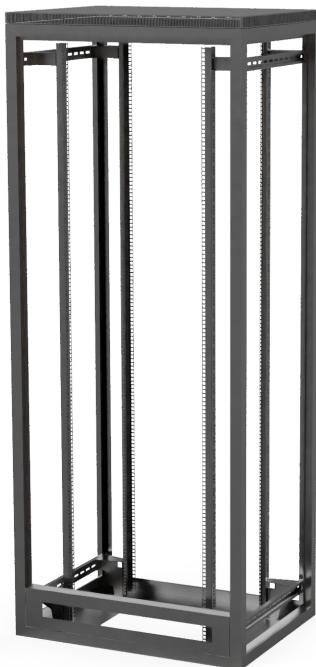


Abbildung 4.5: Serverschrank konstruiert

Mit dem fertig konstruierten Serverschrank konnte dann die Planung der Module beginnen. Dafür wurde zuerst ein Konzept erstellt, welche elektrischen Baugruppen wo im Schaltschrank platziert werden sollten. Das Konzept richtete sich einerseits nach der Vorgabe, zusammengehörige elektrische Komponenten sollten auf dasselbe Modul kommen und andererseits zusammenhängende Module sollten sich möglichst nahe sein.

4.1.4 Grundkonzept der Module

Modul 1 - Bedienelemente

Im Schaltschrank vorhanden sind jeweils ein:

- Not-Aus-Schalter

- Schlüsselschalter
- Dreh trennschalter

Diese Elemente sind gemeinsam auf einem Modul verbaut, da sie alle Bedienelemente sind.

Modul 2 bis 3 - Schutzorgane und Versorgungen

Direkt unter dem Drehstromschalter liegen die Schutzorgane. Da der Leitungsschutzschalter und der Fehlerstromschutzschalter wenig Platz benötigen, sind auf dem 2. Modul zusätzlich zwei Gleichrichter auf dieselbe Hutschiene gesteckt. Damit besteht das 2. Modul aus Schutzorganen und Gleichrichtern. Auf der Platte ist damit eine durchgängige Hutschiene und ein Verdrahtungskanal montiert.

Für die reguläre Versorgung des AFSS werden drei normale Netzteile benötigt. Das Dritte, das Deutronic Netzteil, kann nicht auf eine Hutschiene montiert werden und hat zudem einen großen Platzbedarf. Dieses ist auf einem eigenen Modul montiert. In den Leerräumen des 3. Moduls sind Hutschienen mit Reihenklemmen montiert. Diese Reihenklemmen sorgen für eine übersichtliche Verdrahtung der Versorgungsleitungen.

Modul 4 - ASi-Versorgung und DC-Sicherungen

Konzepttechnisch war das 4. Modul ein Erweiterungsmodul auf welchem Platz gelassen wurde, für potentielle Erweiterungen. Nur eine Ein/Ausgangsbaugruppe von Weidmüller wurde auf eine kleine Hutschiene verplant.

Im Entwicklungsprozess wurde deutlich, dass die PWM-Signalerzeugung, der Ausgangsbaugruppen nicht in der Lage ist ein veränderbares PWM-Signal zu erzeugen. Damit können diese Elemente nicht verwendet werden, zeitgleich wurde erkannt, dass es eine getrennte 24V-Versorgung für den ASi-Kreis geben muss. Deswegen ist im ursprünglichen Erweiterungsbereich dieses Modules ein 24V-ASi-Gleichrichter montiert, der keine Hutschiene benötigt. Anstatt der ursprünglichen Ausgangsbaugruppen sind alle DC-Sicherungen für die Schrittmotoren montiert. Zudem ist auch ein Verdrahtungskanal am Modul.

Modul 5 - SPS und Sicherungen

Das 5. Modul beinhaltet die Siemens SPS und die ET 200 SP samt ASi-Master. Für die SPS ist eine Siemens-Profilschiene auf der Platte und für die ET 200 SP eine durchgängige Hutschiene sowie ein anfälliger Verdrahtungskanal. Auf der Hutschiene neben der ET 200 SP sind drei Schrittmotor-Treiber, für die 40 Ncm Schrittmotoren, aufgesteckt.

Modul 6 - Schrittmotoren

Für die stärkeren Schrittmotoren werden Treiber verwendet die direkt auf einen Untergund montiert sind. Die vier Treiber sind auf eine eigene Platte gesetzt. Auch auf diesem Modul ist ein Verdrahtungskanal vorhanden.

Modul 7 - Ausgangsmodul

Das Ausgangsmodul hat einen Verdrahtungskanal und eine durchgängige Hutschiene. Auf diese Hutschiene sind Elemente wie Motorschütze, Relais und ausreichend Reihenklemmen.

Modul 8 - Erdungsmodul

Etwaige Kabel des AFSS haben einen Schirm der geerdet ist. Deswegen ist eine Erdungsplatte nötig die aus leitfähigen Aluminium gemacht ist. Auf dieser ist eine Ankerschiene zur Zugentlastung von Kabeln und Erdung von Leiterschirmen vorhanden. Zudem sind in diesem Modul vier rechteckige Ausfräslungen, für die Buchse vom RJ45-Stecker.



Abbildung 4.6: Siemens SITOP in Fusion360

Module - 3D Konstruktion

Die einzelnen Module wurden im Anschluss an die Konzeptionierung, in Fusion360 gezeichnet. Dafür wurden zuerst die einzelnen Komponenten wie Hutschienen, Verdrahtungskanäle, Gleichrichter und alle anderen Komponenten als unabhängige Konstruktionen gezeichnet. Mit dieser breiten Bibliothek an Komponenten, konnte man dann einfach und effizient den digitalen Schaltschrank bestücken. Bei den jeweiligen Elementen standen nicht die kleineren Details im Vordergrund, vielmehr wurden die Außenmaße, die Positionen von Montagelöchern oder des Klemmmechanismus für die Hutschiene akkurat abgebildet (siehe Abbildung 4.6).

Fusion360

Nachdem die einzelnen elektrischen Komponenten gezeichnet waren, wurde in Fusion die erste Platte gezeichnet. Hierbei muss man nicht sofort die richtige Größe abschätzen, da Fusion spätere Änderungen zulässt. Nachdem eine Platte im Serverschrank konstruiert wurde, wurden die Hutschienen und Verdrahtungskanäle eingefügt. Daraufhin wurde die Unterkonstruktion bestückt. Beim Einfügen von Konstruktionen in andere Konstruktionen bleiben die kopierten Elemente mit der originalen Zeichnung verknüpft. Diese Verknüpfung wurde bei den Elementen gelassen, die keine Änderungen erwarten lassen. Bei Komponenten wie einem Verdrahtungskanal sollte man die Verknüpfung trennen um das Element nachträglich



Abbildung 4.7: Der Schaltschrank in Fusion360 gezeichnet

zuschneiden zu können. Eine Verknüpfung bedeutet, dass Veränderungen nur in der ursprünglichen Zeichnung getätigt werden können. So wurde jedes Modul der Reihe nach gezeichnet.

Beim Zeichnen und Konstruieren fiel auf, dass die Module aus dem Serverschrank, beziehungsweise Schaltschrank, herausragten. Es wurde festgestellt, dass die Profilschienen nach innen verschoben werden müssen, um zu ermöglichen, dass sich die Wände des Schaltschrances auch schließen lassen. Die Bauart des Serverschrances erlaubte eine solche Veränderung.

Es wurden, bis auf das Erdungsmodul, alle Module auf diese Art konstruiert. Man konnte schön erkennen, welche Reihenfolgen sinnvoll ist und wie sich welche Komponenten am besten montieren lassen. Beispielsweise wurde ausgetestet, ob bei gewissen elektrischen Komponenten eine vertikale Montage zielführend wäre. In der Abbildung 4.7 sieht man die fertige Konstruktion des Schaltschrances.

Zu dieser Version des Schaltschrances ist zu sagen, dass ab der Realisierung des Geplanten, dieser digitale Plan sich fließend transformiert zum digitalen Zwilling. Dieser Zwilling

gehört nach der Realisierung konstant gepflegt. Das Erdungsmodul beispielsweise, welches erst mitten in der Realisierung eingeplant und umgesetzt wurde, musste dem digitalen Zwilling nachträglich hinzugefügt werden.

AutoCAD

Nachdem der digitale Plan/Zwilling vollständig ausgeplant war, mussten die jeweiligen Platten gefräst werden. Um die Platten auch fräsen zu können, mussten diese zuerst als DXF-Datei in Filou-NC eingefügt werden. Dazu mussten die einzelnen Module in AutoCAD nachgezeichnet werden. Idealerweise hätte man hierfür nur die Oberfläche der Platten in Fusion zur Skizze gemacht und diese dann als DXF exportiert. Bei einem nachträglichen Ausmessen der 3D-Konstruktion wurde allerdings festgestellt, dass sich die Plan-Maße der Löcher der Profilschiene nicht mit dem Naturmaß decken. Zudem wurden weitere minimale Abweichungen festgestellt. Keiner der Fehler war so gravierend, dass man die digitale Konstruktion des Schaltschrankes nicht weiterverwenden hätte können, aber für eine präzise Fräsumgebung auf der Fusion-Konstruktion waren die Abweichungen zu groß. Deswegen wurden alle Module in AutoCAD sorgfältig nachgezeichnet.

Beim Nachzeichnen wurden alle fehlerhaften Maße ausgebessert. Mit den richtigen Maßen wurde festgestellt, dass gewisse Module nicht wie geplant gebaut werden konnten. Beim Modul 6 gingen sich die vier Schrittmotortreiber nicht vertikal nebeneinander aus. Deswegen wurde in AutoCAD einer der Treiber vertikal angeordnet und weiterführend wurde die Änderung auch in Fusion nachgebessert.

Räder

In der Transformation vom Serverschrank zum Schaltschrank des AFSS gehört auch, dass der Schrank mobil gemacht wird. Dazu wurden zwei flexible und zwei starre Räder zur Verfügung gestellt. Planungstechnisch wurde diesbezüglich besprochen, dass die Räder direkt an das bestehende Gerüst geschraubt werden. Montiert werden die Räder mit simplen Schrauben und Muttern. Die Räder wurden in AutoCAD nicht gezeichnet, da dies nicht als Zweckerfüllend erachtet wurde.

Nach dargestellter Verplanung ist die Detailzeichnung des Schaltplanes erstellt worden.

4.1.5 Die elektrischen Komponenten

Das AFSS verfügt über eine große Bandbreite elektrischer Komponenten. Jede Art von Elementen ist zur besseren Verständlichkeit kurz aufgelistet (siehe Tabelle 4.1), bevor im nächsten Kapitel die jeweiligen Funktionen beleuchtet werden.

Übersicht der Komponenten

Allgemeine Bezeichnung	Typenbezeichnung	Funktion
Trennschalter	/	Manuelle Trennung vom Netz
Schlüsselschalter	/	Freigabeschalter
Not-Aus-Schalter	/	Manueller Not-Aus
Motorschutzschalter	/	Schutz für ASM
FI	TYP A 30mA	Fehlerstromschutzschalter
LS	C13	Leitungsschutzschalter
SITOP	6EP1436-3BA00-8AA0	400/24V Netzteil
Deutronic	DP500IP/3-24	400/24V Netzteil
Meanwell-Netzteil	DRT-240-24	400/24V Netzteil
Telemecanique	TSX-SUP-A054	400/24V ASi-Netzteil
SPS	6ES7515-2AN03-0AB0	Steuereinheit
SPS-DI-Karte	6ES7521-1BL00-0AB0	Digitale Eingänge
SPS-DO-Karte	6ES7522-1BL01-0AB0	Digitale Ausgänge
SPS-PTO-Karte	6ES7553-1AA00-0AB0	Erzeugung von PWM-Signalen
ET 200 SP	6ES7155-6AU01-0CNO	dezentrale Peripherie
ET 200 Busadapter	6ES7193-6AR00-0AA0	Busanschluss
ET 200 ASi Master	3RK7137-6SA00-0BC1	ASi-Master
ET 200 Steckadbater	6ES7193-6BP20-0DC0	Steckadapter für ASi-Master
ASi-Slaves	3RK2200-0CE02-0AA2	Nimmt Sensoren auf
Feed-In-Modul	2081870000	Eingang zu DC-Sicherungen
Service-Schnittstelle	IE-FC-SET-SPDEK001-KY-P	Schnittstelle für externen Zugriff
8A-DC-Sicherung	2080600000	Sicherung von SM
2A-DC-Sicherung	2080480000	Sicherung von SM
SM-Treiber groß	CL57T(V4.0)	Ansteuerung von SM
SM-Treiber klein	TB6560	Ansteuerung von SM
SM 2Nm	23E1K-20	Antrieb X und Y Achse
SM 40Ncm	17HS4417P1-X4	Antrieb für Gabel und Querförderer
ASM	Spörk Antriebssysteme	Antrieb für Förderband

Tabelle 4.1: Übersicht der elektrischen Komponenten (SM steht für Schrittmotor)

4.1.6 Elektrische Planung (E-Plan)

Für das Zeichnen eines E-Plans ist ein großes Produktwissen nötig. Um dieses zu erlangen, wurde die mechanische Seite zuerst geplant, da man im Zuge dieser die elektrischen Komponenten sehr gut kennenlernen kann. Als ein Großteil der mechanischen Seite für den Schaltschrank ausgeplant war, wurde der E-Plan parallel zur mechanischen Planung erstellt. Es wurde die E-Plan Education Version verwendet. Diese Version ist kostenlos und bietet alle Funktionen, die für die Planung der Verdrahtung des AFSS nötig sind.

E-Plan Allgemein

Die Firma E-Plan bietet verschiedenste Möglichkeiten zur Planung und Dokumentation von elektrischen Anlagen. Das Programm bietet auch die Möglichkeit eines Aufbauplanes, in diesem werden die elektrischen Komponenten der Anlage in einer 2D-Ansicht dargestellt. Diese Art des Aufbauplanes ist weit verbreitet und übersichtlich, doch die Stärke liegt beim herkömmlichen Schaltschrank. Da beim AFSS-Schaltschrank wesentlich mehr zu beachten ist, wurde der Aufbauplan nicht in E-Plan sondern in Fusion360 gezeichnet.

E-Plan bietet ebenfalls die Möglichkeit verschiedenster Übersichten. Diese sind vor allem bei sehr großen Anlagen zur Orientierung sehr hilfreich. Da das AFSS aber eine eher kleinere Anlage ist, wurde in Abstimmung mit dem Kunden (der Werkstatt der HTL-Mössingerstraße) entschieden, dass die Übersichtstabellen nicht benötigt werden.

Der Fokus lag daher auf dem reinen Schaltplan des AFSS. Für den grundsätzlichen Schaltplan bietet E-Plan mehrere Tools an. Einerseits gibt es die E-Plan Cloud, in dieser finden sich die meisten Geräte, die am Markt erhältlich sind. Unglücklicherweise sind mehrere Geräte des AFSS aus einem älterem Jahrgang und damit nicht in der E-Plan Cloud vorhanden. Für diesen Fall bietet E-Plan die Möglichkeit ein eigenes Gerät anzulegen. Dazu muss ein Gerätekasten eingefügt werden und in diesen müssen daraufhin die Geräteanschlüsse gelegt werden. Zum besseren Verständnis kann man selbstgezeichnete Geräte noch mit gewissen Schaltzeichen versehen. Weiterführend kann man in E-Plan alle vorstellbaren elektrischen Komponenten finden. Motoren, Geber, Schütze, Relais und noch vieles mehr findet sich in der lokalen E-Plan Bibliothek. Mit E-Plan lassen sich auch die benötigten Reihenklemmen herausfinden. Ab einem gewissen Maßstab kann man sich die Reihenklemmen nicht mehr denken und genau da hilft es, dass man in E-Plan die Klemmen genau planen muss. Das ausführliche Beschäftigen mit den Reihenklemmen ist wichtig, da diese für die Nachvollziehbarkeit eine große Rolle spielen. Für das Zeichnen eines Schaltplans ist es wichtig, im konstanten Austausch mit der Sensorik und der Steuerungstechnik zu stehen, um eine korrekte und realistische Verdrahtung zu planen.

Komponentenkenntnisse

Wie bereits erwähnt braucht es für eine richtige E-Plan Zeichnung ein ausführliches Wissen über die elektrischen Komponenten der Anlage. Dafür ist es auch nötig, dass man weiß, wo

man sich informieren kann. Deswegen wurde eine Excel-Tabelle angelegt, in welcher alle elektrischen Komponenten aufgelistet waren. Diese Liste diente primär zur elektrischen Planung, wurde aber schon angelegt, als die mechanische Seite des Schaltschrankes geplant wurde. In dieser Liste wurden Links zu Datenblättern hinterlegt, sowie festgehalten ob das jeweilige Element im Schaltschrank oder am AFSS verbaut wird. Auch mechanische Daten wie die Maximalwerte von Breite, Höhe und Tiefe wurden eingefügt. Die Excel-Tabelle beinhaltete weiters auch die Anzahl der jeweiligen Komponente, die Art der Montage (Hutschiene, Siemens-Profilschiene oder andersartige Montage) und die Gerätenummer wurde ebenfalls festgehalten. Diese Liste ist das wichtigste Dokument in der elektrischen Planung gewesen, da man sich konstant an die spezifischen Daten von beispielsweise einem Netzteil erinnern musste. Zu guter Letzt wurde in dieser Excel-Liste ebenfalls dokumentiert wie weit das Element eingeplant wurde. Das heißt, es wurde festgehalten, ob es im E-Plan fertig war oder ob es in der mechanischen Planung konstruiert wurde.

Schaltplan - Strukturzugang

Es gibt keine vorgeschriebene Orientierung bezüglich einer Schaltplanstruktur. Grundsätzlich gilt aber, der Schaltplan sollte nachvollziehbar gezeichnet werden. Beispielsweise bedeutet dies, dass thematisch zusammenpassende Seiten auch nacheinander dargestellt werden sollten. Auch der Schaltplan des AFSS sollte dementsprechend nachvollziehbar strukturiert sein. Das heißt strukturtechnisch beginnt der Plan beim Starkstrom, zu den Schutzorganen, geht über zu den Netzteilen dann zu den DC Sicherungen, daraufhin zu den SM-Treibern und zu letzt zu den Motoren. Der Sensorkreis mit ASi-Bus wurde zusammenhängend gezeichnet, der Schaltplan im Detail wird in Kürze beleuchtet. Kurz und knapp war der Anspruch, einen intuitiven Plan zu zeichnen, der sich am Stromfluss orientiert.

4.1.7 Schaltplan - Zeichenprozess

E-Plan benötigt immer ein Vorlage-Projekt, nach dem es sich orientieren kann, ein sogenanntes Basisprojekt. Für dieses wurde ein Projekt aus der Werkstätte verwendet namens „2022-09-HU Basisprojekt (1).zw9“. Der auf dieser Basis aufbauende Schaltplan wird im Folgenden genau beschrieben.

Schutzelemente

Der Schaltplan orientiert sich, wie erwähnt, am Stromfluss. Damit wurden zuerst der Fehlerstromschutzschalter und der Leitungsschutzschalter sowie der Dreh trennschalter gezeichnet. Diese Elemente sichern die Anlage, beziehungsweise dienen zur manuellen Freischaltung aller Elemente und wurden allen anderen Komponenten vorgeschaltet.

Netzteile für 24V

Auf der zweiten Seite befinden sich alle Netzteile für die normale 24V DC Spannung (siehe Abbildung 4.8). Es sind in Summe drei Netzteile auf dieser Seite, die jeweils an L1, L2, L3 und PE angeschlossen gehören. Deswegen wurden die vier Leiter zuerst in Klemmen geführt, dort mit Querverbindern so verbunden, dass man ohne potentiell gefährliche Drahtbrücken alle Netzteile versorgen kann. Von diesen querverbundenen Reihenklemmen wurden auch Abgänge für den Asynchronmotor eingezeichnet und ein Abgang für die Versorgung des ASi-Netzteils sowie der Service-Schnittstelle.

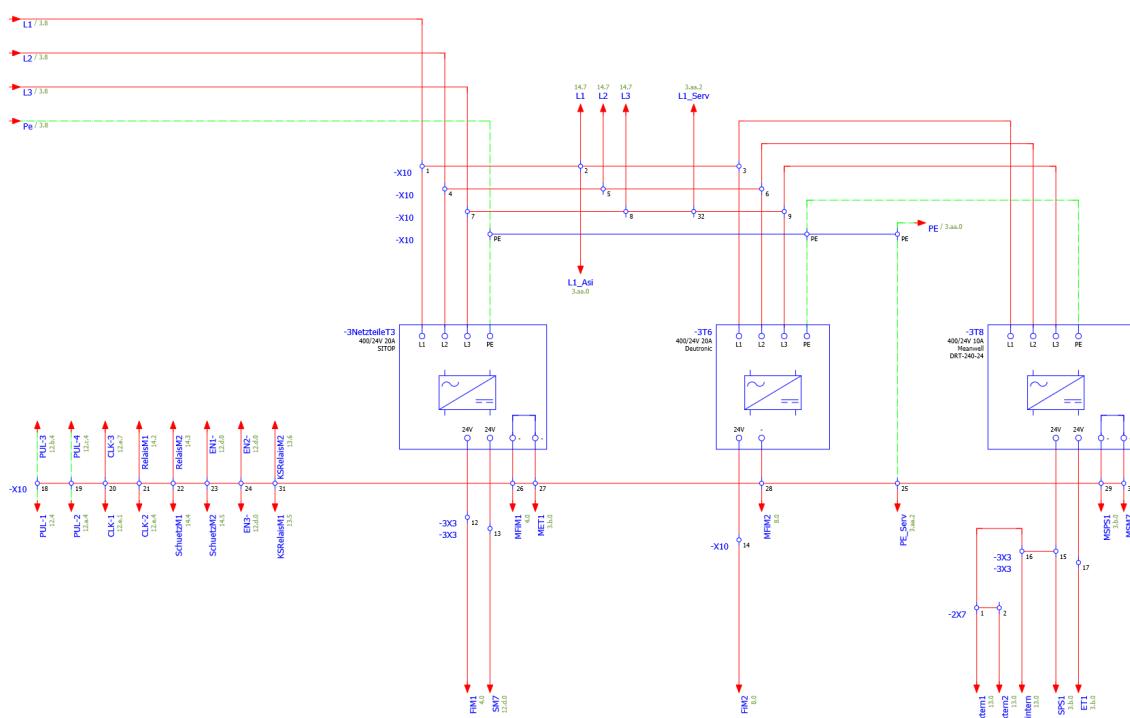


Abbildung 4.8: Schaltplan: Netzteile

Zwei der Netzteile (Deutronic und SITOP) können jeweils 20A auf der 24V-Seite liefern. Diese leistungsstarke Versorgung wird verwendet, um die Schrittmotoren zu versorgen. Beide Gleichrichter-Netzteile teilen sich die Schrittmotoren auf. Drei auf die Deutronic und vier auf die SITOP. Von der SITOP kommen zwei 24V Ausgänge. Das eine Netzteil ist mit einem von zwei Feed-In-Modulen verbunden. Der Zweite ist direkt mit einem ungesicherten und kleineren Schrittmotor verbunden. Die Deutronic bietet einen Ausgang, dieser ist mit dem zweiten Feed-In-Modul verbunden. Damit ist auf dieser Seite die Versorgung von den Schrittmotoren gewährleistet. Übrig bleibt noch das Netzteil von der Firma Meanwell. Dieses ist mit 10A leistungsschwächer. Dieses Netzteil wird nur zur Versorgung von den Logikkreisen verwendet, darum wird nicht mehr Leistung benötigt. Das bedeutet, von den beiden 24V DC Ausgängen dieses Netzteils sind Verbindungen zur SPS, ET200 und internen sowie externen Not-Aus-Schaltern gezeichnet. Auf dieser Seite bedeutet dies Klemmen mit Abgängen.

Die 24V-DC-Minuspole der Netzteile sind auf Reihenklemmen geführt. Diese Reihenklem-

men sind über Querverbinder miteinander verbunden und im Anschluss auch mit den PE-Klemmen der 230V Seite verbunden. Die Entscheidung den Steuerstromkreis zu Erden beruht auf der Norm EN60204-1. Demnach hilft die Erdung gegen EMV-Probleme und gewährleistet im Fehlerfall die Abschaltung (vgl. [43] u. [44]).

ASi-Versorgung sowie Service-Schnittstelle

Der folgende Abschnitt ist ein Nachtrag, denn anfänglich wurde nicht bedacht, dass der ASi-Kreis eine eigene 24V-DC-ASi-Versorgung braucht. Auf die zweite Seite ist demnach die ASi-Versorgung gezeichnet sowie der Anschluss an den ET200-ASi-Master. Eingehend sind auf dieser Seite der L1, N und ein Set, Letzteres ist ein Eingang beim ASi-Master und wird von der SPS aus gesetzt und ausgehend ist der ASi-BUS vom ASi-Master. Weiters befindet sich auf dieser Seite auch die Verdrahtung der Service-Schnittstelle. Diese wird auch zusätzlich mit einem zweiphasigen Leitungsschutzschalter gesichert.

Versorgung der Logik

Auf der dritten Seite ist der Versorgungsanschluss von SPS und ET200 gezeichnet. Eingehend sind 24V einmal für die SPS sowie für die ET200 und der jeweilige Minuspol dazu. Auf dieser Seite sind Drahtverbindungen gezeichnet, die die SPS, die Ein und Ausgangskarten sowie die beiden PTO-Karten versorgen.

Versorgung von DC-Sicherungen

Auf der vierten Seite findet sich das erste Feed-In-Modul von Weidmüller. Hier eingehend sind 24V, mit Minuspol, von der SITOP und ausgehend sind die Brückenverbindungen von den DC-Sicherungen. Das wären zwei mal Brücken für 24V, zwei mal Brücken für GND und eine Brücke für den BUS dieser Baugruppe.

DC-Sicherungen 8 A

Auf den nächsten beiden Seiten finden sich jeweils eine 8A-DC-Sicherung. Eingehend sind die bereits genannten Brücken, diese gehen dann auch weiter zur nächsten Sicherung, und ausgehend sind einmal + und - für die stärkeren Schrittmotoren.

DC-Sicherung 2 A

Auf Seite sieben findet sich eine 2A-DC-Sicherung für einen von drei schwächeren Schrittmotoren. Diese hat ebenfalls die Brückenverbindung eingehend, allerdings hört die Brückenverbindung mit dieser Sicherung auf. Das bedeutet ein Feed-In-Modul versorgt drei Sicherungen. Abgehend hat diese Sicherung + und - für den passenden Schrittmotor.

Zweiter DC-Sicherungsblock

Ab der achten Seite wiederholen sich die letzten vier Seiten, mit dem Unterschied, dass die gebrückte Versorgungsleitung nicht von der SITOP kommt, sondern von der Deutronic. Auf der Ersten ist damit wieder das Feed-In-Modul für die zweite Baugruppe. Somit hat man auf den drei folgenden Seiten drei DC-Sicherungen (8A, 8A, 2A), auf jeder Seite jeweils eine und von jeder Sicherung zwei Abgänge für die passenden Schrittmotoren.

2 Nm Schrittmotor mit zugehörigem Treiber

Wenn wir diesen Teil des Schaltplanes von der Motorseite aus betrachten, gibt es für den Motor vier Spulenanschlüsse (zwei pro Spule), die in Tabelle 4.2 aufgelistet sind.

A+	A-	B+	B-
----	----	----	----

Tabelle 4.2: Anschlüsse des Schrittmotors

Im Vergleich zum Motor hat der über eine Welle gekoppelte Geber mehr Kontakte, diese sind in Tabelle 4.3 aufgelistet.

EB+	EB-	EA+	EA-	VCC	GND
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabelle 4.3: Anschlüsse des Gebers

Der Treiber CL57C hat Ausgänge, die genau dieselbe Bezeichnung haben. Die gleichnamigen Anschlüsse wurden miteinander verbunden.

Da der Motor nicht im Schaltschrank sondern am Lagerregal verbaut wird, muss vom Treiber zum Motor beziehungsweise Geber ein Kabel verlegt werden. Dies wiederum bedeutet, dass im Schaltschrank vom Treiber zuerst auf Reihenklemmen gegenagen wird und an diese Reihenklemmen dann die Kabel geklemmt werden. Für den Schrittmotor wird ein 5adriges Kabel (inklusive PE) verwendet mit der Kabelbezeichnung „ÖLFLEX® CLASSIC FD 810 CY 5G0,75“. Der PE-Leiter wird an eine Erdung angeklemmt und dieses Kabel hat, um die elektromagnetische Verträglichkeit zu gewährleisten, eine Schirmung. Die Schirmung muss, um zu funktionieren, an die Erdung gelegt werden, weil der Schirm nur so eine Senke sein kann, für die von den Leitern abgestrahlten elektromagnetischen Wellen. Das Kabel wird auf einer Ankerschiene mit der entsprechenden Zugentlastungsklemme, auf dem Erdungsmodul, nicht nur zugentlastet, es wird auch der Schirm geerdet. Dabei muss dann bedacht werden, dass die Klemme Kontakt zum Schirm hat, und die Ankerschiene geerdet sein muss. Der Schirm sowie die Erdung dessen wurde im Schaltplan hinzugefügt. Bezuglich den Motorkabeln wurde ebenfalls die Farbe der Adern bedacht. Während beim „ÖLFLEX® CLASSIC FD 810 CY 5G0,75“ die Adern durchgängig nummeriert sind, sind es die Adern des Schrittmotors nicht. Diese haben die Farben Schwarz, Grün, Rot und Blau. Da man beim Verdrahten nicht immer wissen kann, welche Farbe zu welchem Anschluss

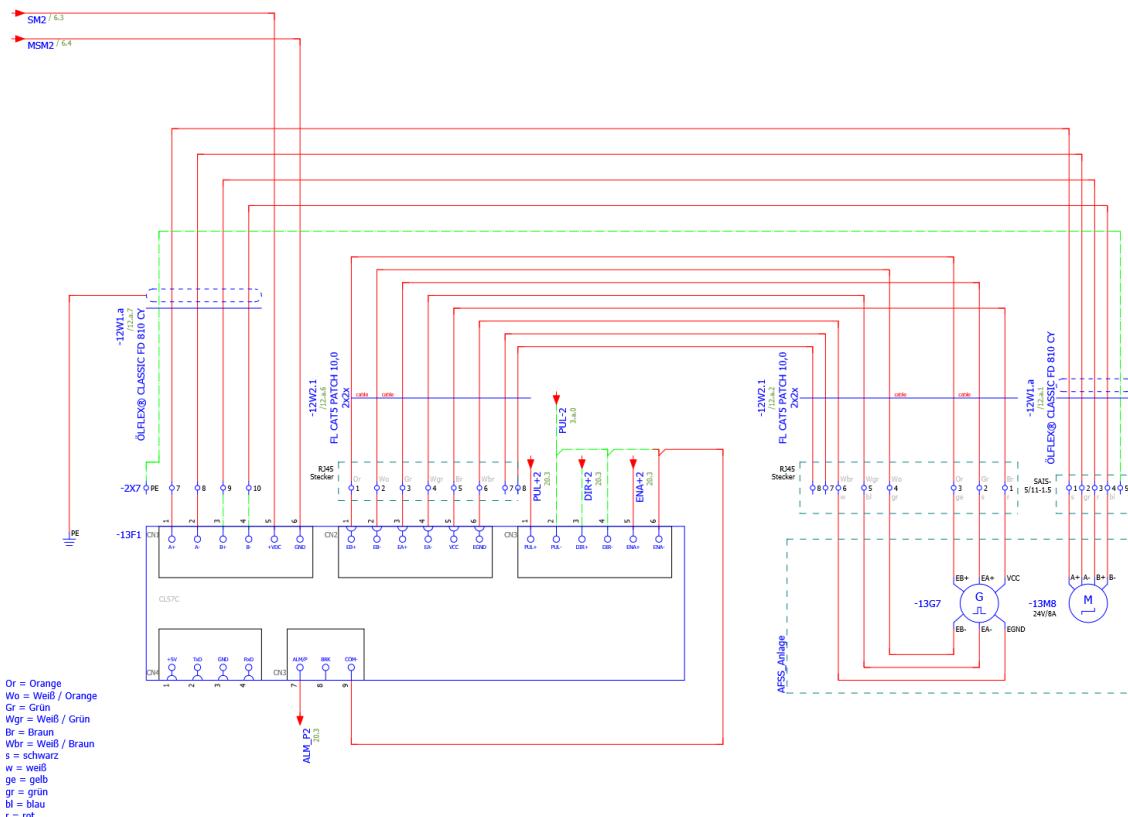


Abbildung 4.9: Seite 13 des Schaltplans, SM ohne Bremse

führt, wurde auch dies im Schaltplan festgehalten (vgl.[45]).

Auch der Geber benötigt ein Kabel. Für diesen wurde auf Patch-Kabel gesetzt. Das achtadrige „FL CAT5 PATCH 10,0“ bietet die Möglichkeit RJ45 Stecker zu verwenden. Diese befinden sich jeweils an den Enden des Kabels und ersparen im Schalschrank eine Menge Reihenklemmen, da man nur für die Buchse eine Aussparung bedenken muss. Vor allem im Entwicklungsprozess ist das komfortable An- und Abstecken ein großer Vorteil. Aber auch im späteren Normalbetrieb ist es von Vorteil, bei zum Beispiel einer Umsiedelung des AFSS, die Kabel einfach abstecken zu können. Auch diese Kabel haben einen Schrim, der über den RJ45 Stecker geerdet werden kann.

Damit wäre die Kommunikation von Treiber, Motor und Geber gezeichnet. Doch es gehört auch die Kommunikation zur SPS dazu. Die Kontakte des Treibers für die Kommunikation mit der SPS sind in der Tabelle 4.4 aufgelistet.

PUL+	PUL-	DIR+	DIR-	ENA+	ENA-	ALM	BRK	COM-
------	------	------	------	------	------	-----	-----	------

Tabelle 4.4: Übersicht der Anschlüsse

Alle Anschlüsse mit einem „-“ am Ende beschreiben den Minuspol zum jeweiligen Gegenstück mit „+“. Da in unserem Fall alle „+“ Kontakte von der selben SPS kommen

und damit alle die selbe Spannung referenzieren, können PUL-, DIR-, ENA- und COM-zusammengeschlossen werden und daraufhin zur Sammelschiene der Minuspole geklemmt werden.

PUL+ steht für „pulse“ und reguliert die Geschwindigkeit der Drehung, DIR+ steht für „direction“ und reguliert die Drehrichtung, ENA+ steht für „enable“ und entsperrt den Treiber beziehungsweise gibt frei, dass eine Ansteuerung gewünscht ist. BRK steht für „break“ und würde benötigt werden, wenn eine Bremse angedacht wäre, was in diesem Fall aber nicht der Fall war. ALM steht für „alarm“ und ist ein Ausgang, der einen erkannten Fehler meldet. ALM wurde mit der Eingangskarte verbunden und PUL+, DIR+ und ENA+ wurden an die zugehörigen Kontakte bei den PTO Karten der SPS gezeichnet. Die vollständige Seite ist auf der Abbildung 4.9 .

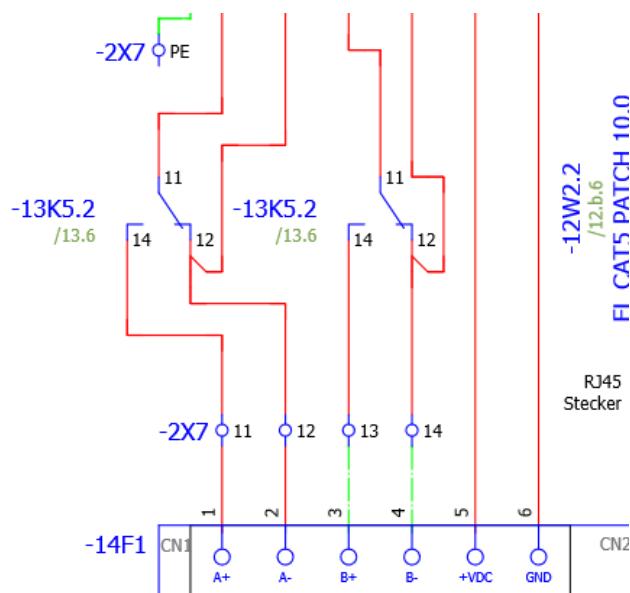


Abbildung 4.10: Zusätzliche Kurzschließung von Spulen bei horizontalen Antrieben

Während die ersten beiden SM-Treiber Schrittmotoren ansteuern, die keine Bremsfunktion brauchen, da sie den Apparat nur horizontal bewegen und damit bei plötzlichem Ausfall, die Anlage auf dieser Achse zum Stillstand kommt, brauchen die anderen zwei Motoren eine Bremsfunktion. Die zwei restlichen SM-Treiber steuern Motoren an, die zum Heben des Gabelapparates da sind. Sollten diese unerwartet ausfallen, würde die Schwerkraft das Konstrukt zu Boden fallen lassen. Deswegen sollen im Fehlerfall Relaiskontakte die Spulen der Schrittmotoren kurzschließen und damit eine bremsende Wirkung ermöglichen. Dabei funktioniert das Prinzip so, dass bei plötzlicher Spannungsabwesenheit das Relais loslässt und die Spulen kurzgeschlossen sind und damit eine bremsende Wirkung entsteht. Das heißt im spannungsfreien Zustand sind die Spulen kurzgeschlossen (siehe Abbildung 4.10).

40 Ncm Schrittmotoren mit zugehörigen Treibern sowie Relais

Auf den darauf folgenden zwei Seiten befindet sich die Steuerung von den schwächeren Schrittmotoren (siehe Abbildung 4.11). Auch diese haben Treiber und Motoren, aber keine Geber.

Auch die Treiber für die schwächeren Schrittmotoren haben einen enable-Eingang. Dieser ist jedoch dann freigegeben, wenn der Eingang spannungsfrei ist. Aufgrund dieser Eigenschaft besteht die Gefahr, dass die Schrittmotoren losfahren, bevor die SPS die Spannung aufgebaut hat, die die Motoren dann steuern würde. Beispielsweise wenn die Anlage einen Neustart durchführt, könnte diese Situation entstehen. Darum werden die Eingänge „invertiert“. Ein Relaiskontakt, ein Öffner, setzt den EN-Eingang immer auf 24V, erst sobald die SPS das Relais ansteuert, kann der Treiber freigegeben werden. Bei drei Treibern erfordert dies drei Relais. Auf Seite 17 befinden sich somit die Relais und deren Öffnerkontakte. Anfänglich wurden hier fälschlicher weise Schließer eingeplant, im Verlauf der Arbeit wurde diese Entscheidung hinterfragt und demnach auch ausgebessert. Auf der darauf folgenden Seite finden sich die Treiber und Schrittmotoren.

Zu den Treibern kann man sagen, dass alle Treiber ähnlich aufgebaut sind. Wieder gibt es einen Kontakt zur Geschwindigkeitsregelung (CLK+ und CLK-), einen zur Richtungsbestimmung (CW+ und CW-) und den bereits besprochenen Freigabeeingang (EN+ und EN-). Weiters haben die Treiber noch Anschlüsse für die Versorgungsspannung und A+, A-, B+ und B- für die Schrittmotoren. Die Massekontakte werden wieder alle zusammengeschlossen und weitergeführt zur gemeinsamen Masse.

Auch für diese Motoren werden die selben Kabel verwendet wie zuvor. Wieder gilt, dass die Schirmung bei der Zugentlastung geerdet wird und auch die Farben der Adern wurden im Schaltplan eingezeichnet.

Auch hier sind die Steuerkontakte von den Treibern an die PTO-Karten der SPS angeschlossen.

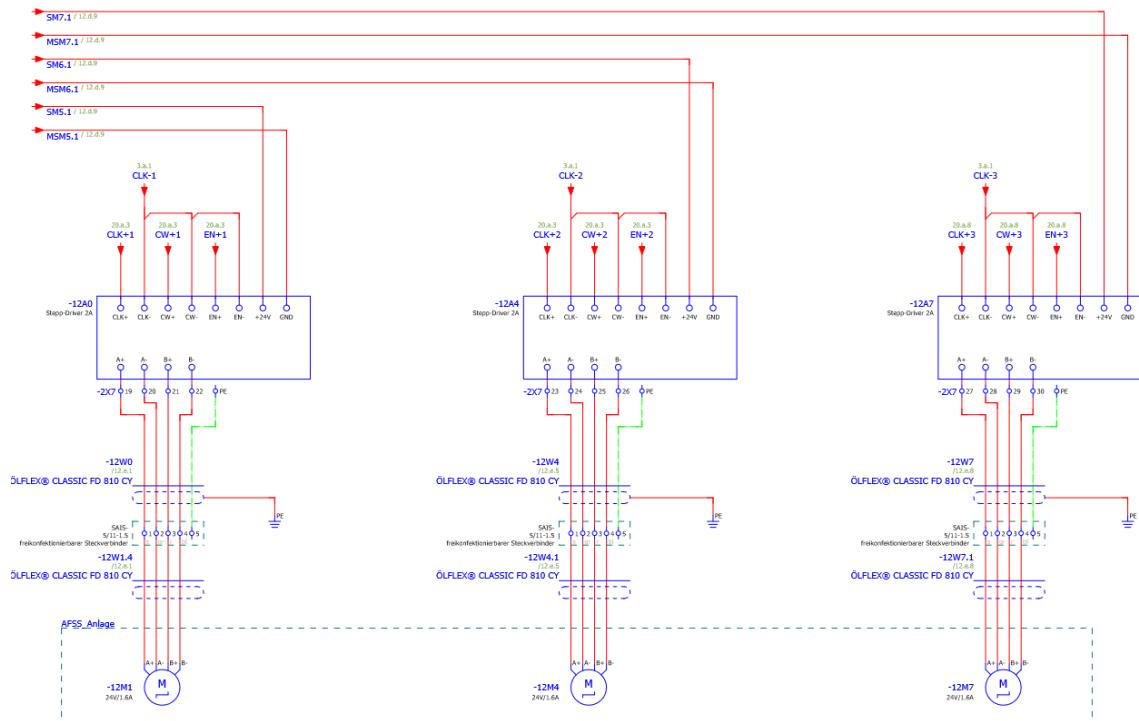


Abbildung 4.11: 40Ncm Schrittmotoren im Schaltplan

Not-Aus, Schlüsselschalter und Relais

Auf der folgenden Seite befinden sich Not-Aus-Schaltungen und die Relais, die dem Vertikalantrieb die Bremsfunktion geben. In Summe sind es vier Not-Aus und zusätzlich noch der Schlüsselschalter zur Freigabe. Für die fünf Sensoren gibt es drei Versorgungsleitungen. Je nach räumlicher Position teilen sich die Komponenten eine Leitung, und alle haben jeweils einen Abgang zur SPS-Eingangskarte. Die Relais bekommen ihre Versorgung von der SPS und haben Abgänge zur gemeinsamen Masse. Die Funktion der Relais wurde bereits beschrieben.

Asynchronmotor mit Steuerung

Die nächste Seite zeigt die ganze Steuerung des Asynchronmotors, welcher das Förderband antreibt. Hierfür gibt es Schütz, die in einer Wendeschützschaltung den Asynchronmotor ansteuern. Es ist keine Drehzahlregelung nötig. Die Schütze blockieren sich gegenseitig und werden angesteuert über zwei Relais. Diese Relais werden direkt von der SPS angesteuert. Beim Asynchronmotor gibt es noch einen Motorschutzschalter, dessen genauere Auslegung im Verlauf der Diplomarbeit noch genauer beschrieben wird.

Siemens-PTO-Karten

Die Seiten 21 und 22 zeigen die PTO-Karten der SPS. PTO steht für Pulse-Train-Output und steuert die Treiber an. Ursprünglich wären für diese Aufgaben PWM-Karten von Weidmüller verwendet worden, es ist allerdings bei Testversuchen aufgefallen, dass diese nicht in der Lage sind, variable Frequenzen zu erzeugen. Damit musste eine Alternative gefunden werden. Die Siemens PTO-Karten sind in der Lage die Frequenzen auch während des Betriebes zu ändern und damit ermöglichen sie sanftes Anfahren der Schrittmotoren. Eine PTO-Karte kann vier Schrittmotoren steuern.

Diese Karten haben mehrere Ausgänge und Eingänge. Im Fall des AFSS gehen vier mal die PUL+ und DIR+ und ENA+ aus und eingehend sind die vier ALM (Alarmmeldungen). Das sind die Kontakte von den vier stärkeren Treibern und damit ist die erste PTO-Karte voll ausgenutzt. Mit der zweiten PTO-Karte werden die drei schwächeren Treiber angesteuert. Diesesmal wieder mit den unterschiedlich benannten Kontakten.

Siemens-DI-Karten

Auf der folgenden Seite befindet sich die Eingangskarte der SPS mit den Eingängen. Dabei werden primär die Zustände der Not-Aus-Schalter abgefragt und die des Schlüsselschalters.

Siemens-DO-Karten

Auf Seite 24 befindet sich die Ausgangskarte der Siemens SPS. Mit dieser werden ausschließlich nur Relais angesteuert. Diese sind für die Invertierung der Enable-Eingänge der Treiber zuständig, für das Steuern der Schütze für den Asynchronmotor und zuletzt auch für die Bremsfunktion. Damit ist die Schaltung zur Steuerung aller Schrittmotoren fertig. Auf den folgenden Seiten wurde dann die Schaltung der ASi-Sensoren gezeichnet

ASi-Slaves und Sensoren

Bezüglich dem ASi-Netz ist zu wiederholen, dass der ASi-Master mit den Slaves über einen zweiadriigen ASi-Bus kommuniziert. Für diesen Bus gibt es ein eigenes Kabel, aber damit dem Material gearbeitet werden muss, was vorhanden ist, wird beim AFSS das selbe fünfadrige Ölflex verwendet wie für die Motoren. In diesem ungünstigen Fall werden von den fünf Adern am Ende nur zwei verwendet.

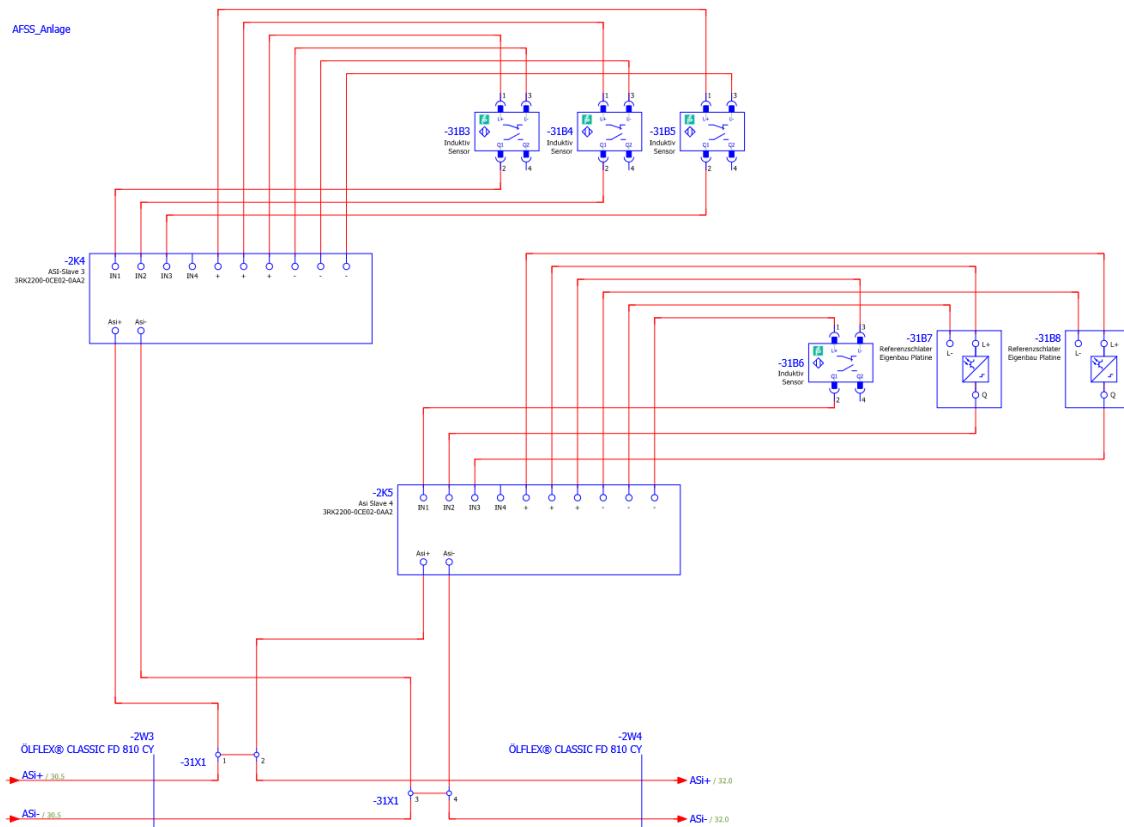


Abbildung 4.12: Sensoren mit den ASi-Slaves, erste Seite von vier

Bezüglich den Slaves ist festzuhalten, dass ursprünglich ein Slave mit sieben Inputs geplant war. Dieser wäre in der Schule auch ausreichend vorhanden gewesen. Allerdings ist es bei den Testläufen nicht gelungen, eine Kommunikation zwischen diesen Slaves und dem Siemens ASi-Master herzustellen. Deswegen werden anstatt vier Slaves mit sieben Eingängen, nun sieben ASi-Slaves von Siemens mit jeweils vier Eingängen verwendet. Der genaue Typ ist 3RK2200-0CE02-0AA2 und es ist möglich mit diesem zu kommunizieren.

Der Bus fährt auf mit Steckverbindern verbundene Reihenklemmen, von dort dann auf die jeweiligen Slaves. Es sind immer zwei Slaves zusammen und werden gemeinsam mit Reihenklemmen auf dem AFSS auf Hutschienen montiert. Wie die Sensoren mit den ASi-Slaves verbunden sind, sieht man auf der Abbildung 4.12 und für eine genaue Erklärung zu den Sensoren siehe Kapitel 5.1.

In Summe erstreckt sich der genaue Schaltplan der ASi-Slaves über die letzten vier Seiten.

Topologieansichten

Nachdem alle Seiten gezeichnet und überarbeitet wurden, wurden für den ASi-Bus und den PROFIBUS noch passende Topologieansichten gezeichnet. Diese bieten eine übersichtliche Darstellung der Busse.

Übersichtsblätter

Daraufhin wurden noch zwei Übersichtsblätter gezeichnet. Auf diesen ist die gewünschte Anreihung der Siemens SPS und ihren Karten sowie die der ET200 mit ihrem ASi-Master.

4.2 Die Auslegung diverser Schaltschrankkomponenten

Fehlerstromschutzschalter

Der FI ist ein Schutzorgan, welches im Fehlerfall den Stromkreis unterbricht. Dieser erkennt wenn der Summenstrom von L1, L2, L3 und N nicht mehr gleich Null ist und schaltet dann ab.

Beim FI gibt es verschiedenste Arten. Die Älteste wäre der TYP AC, es gibt aber auch noch TYP A, B und F sowie weitere. Von den genannten Typen wurde für das AFSS ein Fehlerstromschutzschalter der Variante A gewählt, da bei dieser Anlage das Erkennen von Wechselströmen und Pulsströmen genügt. Das liegt daran, dass kein Spezialfall vorliegt, der einen anderen Typen erfordern würde (vgl. [46]).

Leitungsschutzschalter

Bei der Auswahl des Leitungsschutzschalters ist die Schaltcharakteristik sowie der Bemessungsstrom zu berücksichtigen. Da im AFSS die ASM zu hohen Anlaufströmen führt, wurde eine Charakteristik des Typs C gewählt, dieser ist anzuwenden in Schaltkreisen mit Motoren oder Handwerkzeug (vgl. [47], S. 100–110). Für den Bemessungsstrom wurde 13 A ausgewählt, da dieser Wert der nächsthöhere zum Nennstrom war. Der Nennstrom wurde ermittelt aus der Summe der einzelnen Nennströme der Verbraucher multipliziert mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor. Bei letzterem Faktor wurde geschätzt wie viele Verbraucher gleichzeitig laufen werden. Die Gabel-Antriebe beispielsweise werden nie gleichzeitig zu irgendeinem anderem Motor ein oder ausfahren.

Motorschutzschalter

Der Asynchronmotor hat im Falle des AFSS einen Nennstrom von 1,9 A. Beim AFSS wird ein Standardmotorschutzschalter verwendet, der auf den Nennstrom des Motors angepasst wurde.

Leiterquerschnitte

Der Leiterquerschnitt ist abhängig vom Spannungsabfall, der aufgrund von kurzen Längen im Schaltschrank vernachlässigbar ist, von Verlegeart und Nennstrom. Der Leiterquerschnitt hängt auch immer mit den Sicherungselementen zusammen, da der Leiter so lange den Strömen standhalten muss, bis das Schutzelement auslöst. Deswegen wird im AFSS ein Leiterquerschnitt von 2,5 mm² verwendet, bis zu entsprechenden Sicherheitselementen und von dort aus wird dann auf 0,75 mm² reduziert (vgl. [47], S. 100–110).

Alle Erdungskontakte sind mit 2,5 mm² verdrahtet um alle potentiellen Fehlerströme auszu-

halten.

Die Farben der einzelnen Drähte entsprechen dem schulinternen Standard.

4.3 Realisierung

Wie das Geplante genau umgesetzt wurde wird nun näher beleuchtet.

Rädermontage

Der erste Schritt vom Serverschrank zum Schaltschrank des AFSS war die Mobilmachung. Dem Serverschrank wurden vier Räder in den unteren Ecken hinzugefügt. Dafür wurden in den bestehenden Boden für jedes Rad vier Löcher manuell gebohrt. Die Räder wurden daraufhin mit Schrauben, Beilagscheiben und Muttern montiert.

Bei den Rädern handelt es sich um zwei fixierte und zwei sich um 360° drehende Räder. Die Räder wurden paarweise nebeneinander angeordnet (siehe Abbildung 4.13).



Abbildung 4.13: Montierte Räder am Schaltschrank

Filou-NC

Nachdem die Module in AutoCAD neugezeichnet (siehe Abschnitt 4.1.4) wurden, konnten die DXF-Dateien in Filou-NC importiert werden.

In Filou-NC wurde die gesammelte DXF-Datei importiert. Danach konnte man unerwünschte Teile der Zeichnung löschen, wenn beispielsweise mehrere Module in der selben Zeichnung vorhanden waren, mussten die, die nicht gefräst werden sollten, gelöscht werden. Daraufhin wurde die Zeichnung noch bereinigt, das heißt, dass doppelte Linien gelöscht wurden. Das Programm liefert hierfür ein fertiges Tool. Gewisse Längen der Zeichnung mussten nun noch unterbrochen werden. Das diente dazu, dass beim Fräsvorgang die Platte immer zumindest an den Unterbrechungen mit der ursprünglichen Platte verbunden blieb. Verhindert wird, dass sich die Platte verschiebt und somit nicht mehr an den richtigen Stellen gefräst wurde.

Nachdem die DXF-Zeichnung vorbereitet war, musste nun der Fräsblauf programmiert werden. Dazu musste im Programm dem Ablauf ein Startpunkt gegeben und der Nullpunkt der Zeichnung gesetzt werden. Daraufhin konnte man das „in Echt“ eingespannte Werkzeug auch digital im Programm einfügen, damit das Programm wusste, wie groß der Durchmesser des Werkzeuges war und wie die Spitze des Werkzeuges aussah. Nachdem das Werkzeug eingefügt wurde, war die Sprühdüse, zur Kühlung, einzuschalten und daraufhin konnte man die Konturen der Zeichnung mit dem Werkzeug abfahren. Beim Festlegen der Fräsbahnen war darauf zu achten, dass die richtige Anzahl an Zustellungen eingestellt war. Zustellungen legen fest, dass nicht die ganze Dicke des Materials auf einmal abgetragen wird. Bei dicarem Material ist dies nötig, um das Werkzeug zu schützen.

Wenn diese Schritte erfolgreich ausgeführt wurden, konnte ein NC-Code exportiert werden.

Fräsen

Der genannte NC-Code konnte nun auf die CNC-Fräse geladen werden. Bei der Fräse waren nun noch der Nullpunkt zu setzen und die Werkzeuglänge zu kalibrieren. Bei der Nullpunktsetzung war es wichtig zu beachten, dass keines der Spannelemente, die die Platte auf den Frästisch fixierten, beim Fräsen im Weg sein würde.

Daraufhin konnte der Fräsvorgang gestartet werden. Währenddessen war zu beachten, dass bei der Sprühdüse genügend Flüssigkeit rauskommt, da dies manuell einzustellen war. Ebenfalls war das Werkzeug auf unerwartete Ereignisse zu prüfen, beispielsweise Rauch oder Dampfbildung.

Nach dem gelungenen Fräsvorgang wurde die gesammte Fräse gereinigt und die Platte entnommen.

Im angewandten Fall des AFSS wurde zuerst nur ein Modul gefräst und vollständig fertiggestellt, damit festgestellt werden konnte, ob die Maße stimmen. Das erste Modul passte und danach wurden alle verbleibenden Platten an zwei Tagen gefräst.

Fräsen-Nachbearbeitung

Nachdem die Platte von der Fräse genommen wurde, hatte diese viele scharfe Kanten. Diese wurden mit entsprechendem Werkzeug entgratet. Rückstände von der Kühlflüssigkeit oder vom Kunststoff beziehungsweise Metallspäne wurden sorgfältig entfernt.

Module-Fertigstellung

Die Module mussten nun bestückt werden. Dazu wurden die Profilschienen und Montagekanäle abgelängt und mit M5 Schrauben und Muttern montiert.

Die Elemente, die nicht auf Profilschienen montiert werden, wurden mit den für das jeweilige Element vorgesehenen Schrauben und Muttern montiert.

Auf die genannten Profilschienen (Siemens oder Hutschiene) wurden noch die passenden Elemente aufgesteckt.

Die Platten konnten nun in den Schaltschrank auf die vorhandenen Schienen montiert werden. Diese Schienen mussten zuvor nach innen versetzt werden.



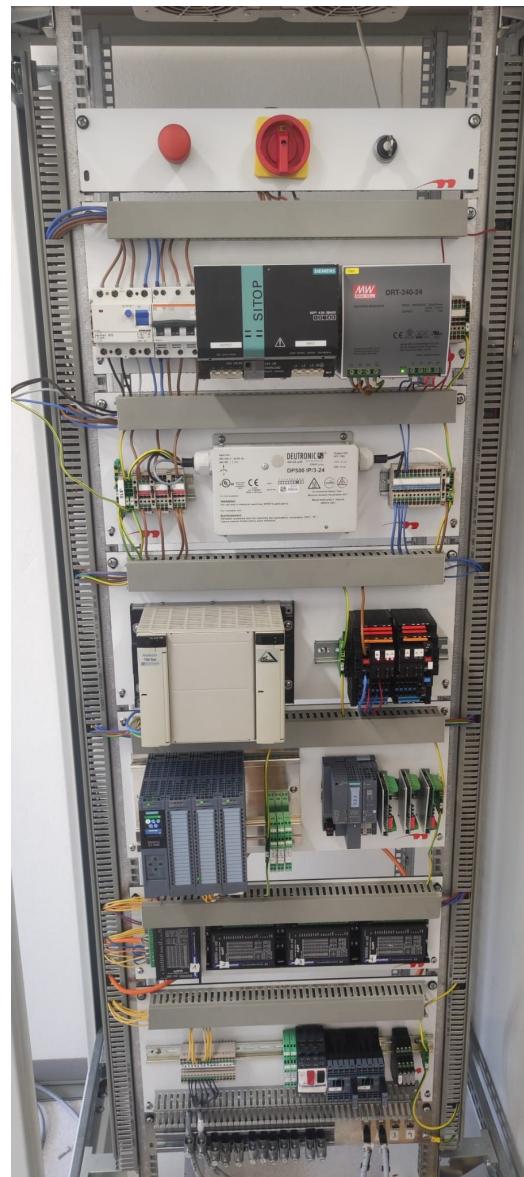
Abbildung 4.14: Schaltschrank mit eingebauten Modulen

Profilschienen-Verschiebung

Zwei Profilschienen wurden um ca. 300 mm nach innen versetzt. Dafür wurden die Winkel, die die Profilschienen an den Serverschrank befestigten, gelöst und weiter innen montiert. Das war deswegen möglich, da die Winkel an einer weiteren Profilschiene montiert waren. Diese bisher nicht genannte Profilschiene befindet sich im Schaltschrank vier Mal und ist oben und unten quer befestigt (siehe Abbildung 4.5). Nach diesem Schritt konnten die Modulplatten an die verschobenen Profilschienen geschraubt werden (Schaltschrank ohne Verdrahtung siehe Abbildung 4.14).



(a) Schaltschrank mit Folierung



(b) Schaltschrank mit Verdrahtung

Folierung der Frontscheibe

Da der Schaltschrank des AFSS mobil ist, wurde entschieden, dass auch für nicht eingeweihte Personen stehts klar sein soll, wessen Schaltschrank dies ist. Dafür wurde der Schaltschrank mit einer Folierung versehen. Auf dieser sind die Teammitglieder aufgelistet, unter anderem FL. Wurnitsch, damit ist die Zugehörigkeit deutlich gekennzeichnet (siehe Abbildung 4.15a). Die Folierung wurde mit Hilfe der in der Schule vorhandenen Stickerschneidemaschine erstellt.

Die Verdrahtung

Nachdem alle Modifikationen am Serverschrank vollzogen und alle Module eingebaut waren, war die Transformation vom Serverschrank zum Schaltschrank fast vollzogen. Es fehlte

noch die Verdrahtung.

Zu dieser ist zu sagen, dass eine vollständige Verdrahtung der ganzen Anlage sich zeitlich nicht ausgegangen. Deswegen wurde ein Kompromiss vereinbart. Dieser besagt, dass genügend verdrahtet wird, sodass die X-Achse ansteuerbar ist (siehe Abbildung 4.15b).

Beim Verdrahten wurden die bereits genannten Querschnitte beachtet. Auch die schulinterne Leitlinie zur Drahtfarbe im Schaltschrank wurde beachtet. Diese besagt: Rot für Versorgungen, Blau für Minus, Gelb für Ausgänge (z.B. SPS), und Orange für Eingänge (z.B. Sensoren).

Beim Verdrahten wird unweigerlich der Schaltplan wieder und wieder durchdacht. Dabei fallen Fehler oder Verbesserungsmöglichkeiten schnell auf. Auch beim Verdrahten des Schaltschrances des AFSS sind Fehler und Verbesserungspotentiale aufgefallen, beispielsweise, dass die Adern der Encoder-Kabel zwar Farben hatten, diese aber nicht am Schaltplan zugeordnet werden. Ein anderes Beispiel war, dass bei den PTO-Modulen alle Eingänge verschoben waren. Diese und weitere Punkte wurden unverzüglich nachgebessert beziehungsweise hinzugezeichnet.

Einbau von Service-Schnittstelle

Als letzte Modifikation wurde eine Service-Schnittstelle von Weidmüller in die rechte Metalwand des Schaltschrances eingebaut (siehe Abbildung 4.16). Dazu wurden manuell auf die Seitenwand die erforderlichen Maße angezeichnet. Entlang dieser Markierungen wurde daraufhin, unter Beachtung aller dafür notwendigen Schutzmaßnahmen, mit einem Winkelschleifer geschnitten. Dieser hatte für das Schneiden von Metall dieser Stärke den entsprechenden Aufsatz.



Abbildung 4.16: Service-Schnittstelle von Weidmüller

4.4 Fazit

Die effiziente Realisierung des Schaltschrankes war nur aufgrund einer umfassenden Vorplanung möglich. Das Prinzip des digitalen Zwillings hat sich mehrfach bewehrt und das Erlernte im Bezug auf 3D-Konstruktion ist umfassend.

Der gezeichnete Schaltplan, im Programm E-Plan, benötigte die meiste Zeit und war auch vom Aufwand das Schwierigste, aufgrund einer geringen Wissensbasis und dem tiefgehenden Produktwissen das nötig war. Im Verlauf der Planung wurde ein breites Wissen im Bezug auf das Zeichnen eines Schaltplanes erlernt sowie ein weitreichendes Verständnis im Bezug auf die elektrischen Komponenten erlangt.

Es musste kein Modul zweimal gefräst werden, für die Profilschienen wurde Alt und Restbestand verwendet und beim Verdrahtungskanal gab es nur minimalen Verschnitt. Aufbauend auf einer gründlichen Planung konnte beim Bau des Schaltschrankes der Verbrauch von Material minimiert werden. Fast alle elektrischen Komponenten sind recycelt und auch damit wurde ein nachhaltiger Anspruch erfüllt.

Für die vollständige Fertigstellung des Projektes sind noch Schritte nötig, die von der Werkstätte der HTL Mössingerstraße durchgeführt werden müssen. Für diese stehen die Schaltpäne sowie Konstruktionen stehts zur Verfügung.

5 Sensorik und Sicherheitstechnik (Elena Widmann)

5.1 Sensorik

5.1.1 Aufgabenstellung

Die Sensorik muss so ausgelegt sein, dass eine langjährige, korrekte und sichere Funktion des AFSS gewährleistet ist. Die einzelnen Sensoren müssen ihren Aufgaben entsprechend ausgewählt werden. Außerdem sollen, wenn möglich, bereits verfügbare Komponenten verwendet werden, um Kosten zu minimieren. Falls dies nicht möglich ist, muss eine alternative Lösung gefunden werden, die die geforderten Aufgaben bestmöglich erfüllt. Zusätzlich muss ein passendes Feldbusssystem gewählt werden, um eine reibungslose Kommunikation zwischen den Sensoren und der SPS sicherzustellen. Die Sensorik ist dafür zuständig, die Entstehung von Schäden am System nicht nur zu vermeiden, sondern gar nicht erst zuzulassen.

5.1.2 Endschalter

Beim Verplanen der Endschalter ist zwischen Software- und Hardware-Endschalter zu unterscheiden. Die Software-Endschalter begrenzen den Arbeitsbereich der Achse und sollten innerhalb des Bereichs der Hardware-Endschalter parametriert werden. Ihre Positionen werden direkt im Siemens TIA-Portal eingestellt und können falls notwendig einfach auf die aktuelle Geschwindigkeit angepasst werden. Werden die Software-Endschalter angefahren, wird der Technologiealarm 533 ausgelöst und die Dynamikwerte gestoppt. Das Technologieobjekt bleibt hierbei freigegeben. Werden sie jedoch überfahren, wird das Technologieobjekt gesperrt.

Die Hardware-Endschalter begrenzen den maximal zulässigen Verfahrensbereich der Achse. Bei ihnen wird nicht unterschieden, ob die Endschalter angefahren oder überfahren werden. Beim Anfahren der Schalter wird der Technologiealarm 531 ausgelöst. Er sperrt das Technologieobjekt und muss, bevor der Auslösebereich der Hardware-Endschalter wieder verlassen werden kann, quittiert werden (vgl. [48]).

Auf jeder der drei Achsen des AFSS und auf dem Querförderer mussten Hardware-Endschalter montiert werden. Die Auswahl der Endschalter begrenzte sich auf die dem AFSS zur Verfügung gestellten Sensoren, welche unter Berücksichtigung ihrer Funktion auf den verschiedenen Positionen eingebaut wurden.

Positionsschalter mit Rollhebel

An der x-Achse werden als Hardware-Endschalter Positionsschalter mit Rollhebel verwendet (siehe Abb. 5.1a). Von den insgesamt vier Stück werden zwei an der unteren und zwei an der oberen x-Achse befestigt. Davon besitzen drei jeweils einen Öffner- und einen Schließerkontakt, wohingegen einer der Endschalter aus zwei Öffnerkontakte besteht. Um einheitlich zu bleiben, und da es sicherheitstechnisch auch von Vorteil ist (Drahtbruchsicherheit), wird je-

weils einer der Öffnerkontakte der Endschalter verwendet. Zum Schalten des Rollhebels der Positionsschalter müssen auf dem x-Schlitten der oberen sowie unteren x-Achse Auslöser angebracht werden. Diese befinden sich mittig auf der Seite der Sensoren und gleichen einem vom Schlitten abstehenden Arm, welcher sich aus gestapelten, mit dem Lasercutter gefertigten, Teilen zusammensetzt.

Induktive Endschalter

Als Hardware-Endschalter an der y-Achse werden induktive Sensoren verwendet (siehe Abb. 5.1b). Davon werden zwei an der unteren und zwei an der oberen Seite der y-Achse befestigt, somit handelt es sich auch hier wieder um vier Sensoren. Sie funktionieren so, dass durch eine Spule ein Magnetfeld erzeugt wird, welches dann in einem sich dem Sensor frontseitig nähern elektrisch leitendem Material Wirbelströme erzeugt. Dadurch verändert sich das Magnetfeld und die Kontakte des induktiven Sensors werden über einen Schmitt-Trigger geschaltet. Die Sensoren besitzen jeweils einen Öffner- und einen Schließerkontakt, es wird jedoch ersteres verwendet, um Drahtbruchsicherheit zu gewährleisten. Damit die induktiven Sensoren korrekt auslösen können, müssen auf dem Shuttle der y-Achse elektrisch leitende Gegenstücke angebracht werden.

Endtaster

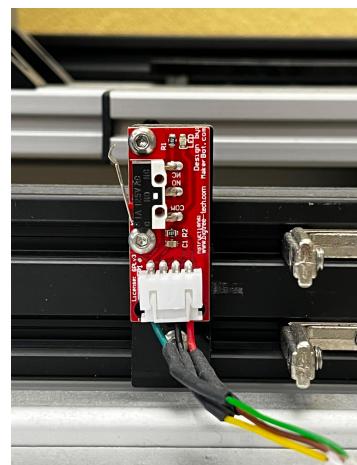
An der yz-Achse werden vier Stück und am Querförderer zwei Stück mechanische Endtaster als Endschalter verwendet. Auf einem Endtaster befindet sich ein Schließerkontakt in Form eines Tasters, welcher durch Anfahren geschaltet wird (siehe Abb. 5.1c). Zum Betätigen der Taster müssen sich Auslöser auf dem Shuttle und den Seiten des Querförderers befinden.



(a) Rollenschalter,
Quelle: [49]



(b) Induktiver Sensor,
Quelle: [50]



(c) Endtaster

Abbildung 5.1: Endschalter

5.1.3 Referenztaster

Um die Motoren auf die richtige Position fahren zu können, müssen diese an allen drei Achsen und am Querförderer referenziert werden. Durch stetiges Referenzieren wird dafür gesorgt, dass sich die Koordinaten der Positionen, auf denen sich die Bauteilboxen befinden, nicht verändern und es zu keiner Kollision zwischen Shuttle und einer Box bzw. dem Gerüst kommt. Nach einem Neustart des AFSS ist das erneute Referenzieren besonders wichtig.

Zum Referenzieren müssen Sensoren an den Achsen und am Querförderer angebracht werden, welche den jeweiligen Nullpunkt angeben. Hierfür werden Opto Interrupter verwendet, da diese einfach durch Anfahren ausgelöst werden können. In einem Opto Interrupter befindet sich eine LED, deren Lichtstrahl auf einen Photo Transistor trifft. Dieser schaltet daraufhin durch, und es liegt eine Spannung am Emitter an. Wird jetzt jedoch der Lichtstrahl der LED unterbrochen, sperrt der Transistor, und es fließt kein Strom. Bei der SPS-Programmierung ist daher zu beachten, dass sich der Ausgang des Sensors im nicht geschalteten Zustand auf HIGH befindet. Wird der Lichtstrahl jedoch unterbrochen, liegt am Sensorausgang keine Spannung an, und der Eingang der SPS erhält ein LOW Signal.

Damit während eines Referenziervorgangs der Lichtstrahl der LED unterbrochen wird und der Referenztaster auslöst, müssen auch hier wieder Auslösevorrichtungen an den beiden x-Schlitten, am Shuttle und am Querförderer angebracht werden.

Für das AFSS werden TP808 zum Referenzieren verwendet. Hierbei ist zu beachten, dass die sich darin befindliche Diode nur mit einer maximalen Flussspannung von 1,35 V betrieben werden darf (vgl. [51]). Da die Opto Interrupter jedoch über ASi-Bus mit der SPS verbunden werden, welche eine Spannung von 24 V liefert, musste eine eigene Platine entworfen und hergestellt werden, um das Bauteil nicht mit einer zu hohen Betriebsspannung zu zerstören. Hierfür wurde die Software Fusion360 verwendet, welche das Designen von Leiterplatten ermöglicht. Hergestellt wurden diese dann durch die schulinterne Leiterplattenfertigung der HTL Mössingerstraße. Insgesamt musste die Referenzplatine sieben Mal hergestellt werden.

Schaltungsentwurf

Die Schaltung musste so konzipiert werden, dass keines der involvierten Bauteile über längeren Normalbetrieb oder durch kurzzeitige hohe Ströme bzw. Spannungen beschädigt wird. Das Ziel ist, die korrekte Funktion des Opto Interrupters auch zukünftig noch sicher stellen zu können. Dafür ist es besonders wichtig, auf dessen elektrische Eigenschaften zu achten, welche im Datenblatt zu finden sind. Für den fertigen Entwurf der Schaltung siehe Abb. 5.2.

Im Opto Interrupter befindet sich eine LED mit einer maximalen Durchlassspannung von 1,35 V und einer typischen Durchlassspannung V_F von 1,2 V. Um diese nicht mit den vollen 24 V der Betriebsspannung V_B zu überlasten, muss ein Vorwiderstand R_1 eingebaut werden. Um die LED zum Leuchten zu bringen, soll ein minimaler I_F von 10 mA fließen. Dann lässt sich daraus der Vorwiderstand aus dem ohmschen Gesetz und mit Hilfe der

Maschenregel berechnen:

$$R_1 = \frac{V_B - V_F}{I_F} = \frac{24\text{ V} - 1,2\text{ V}}{10\text{ mA}} = 2,28\text{ k}\Omega$$

In der HTL wird den Schülerinnen und Schülern die Widerstandsreihe E12 zur Verfügung gestellt. Daher wird in der Schaltung der nächstgrößere Widerstand mit dem Wert 2,7 kΩ verwendet.

Der Phototransistor, welcher als Gegenstück zur LED dient, darf mit einer maximalen Collector-Emitter-Spannung von 30 V betrieben werden, wodurch er für das Ziel der Schaltung gut geeignet ist. Um jedoch im besten Fall die gesamten 24 V für den Eingang der SPS an der Klemme X1 abgreifen zu können, wird ein Spannungsteiler verwendet, bei welchem nach dem Transistor ein Widerstand R₃ parallel zur Klemme X1 eingebaut wird. Da nur ein niedriger Strom benötigt wird, kann I_{R3} relativ klein sein, hier 1 mA. Daraus lässt sich dann der Widerstandswert wie folgt berechnen:

$$R_3 = \frac{V_B}{I_{R3}} = \frac{24\text{ V}}{1\text{ mA}} = 24\text{ k}\Omega$$

Auch hier wird wieder der nächstgrößere Widerstandswert, der zur Verfügung gestellt wird, verwendet. R₃ entspricht somit dem Wert 27 kΩ.

Für Funktionstests und die Inbetriebnahme ist es wichtig, dass eine Möglichkeit gegeben ist, den Zustand des Ausgangs der Schaltung anzuzeigen. Hierfür wird eine grüne 5mm LED verwendet, welche parallel zur Klemme X1 eingebaut wird. Da der Transistor einen maximalen Collector Strom von 20 mA besitzt, wurde die Entscheidung getroffen, die grüne LED nur mit 10 mA zu versorgen, da diese auch bei geringerem Strom genug Leuchtkraft für den benötigten Zweck besitzt. Bei einem Strom I_{R2} von 10 mA besitzt die LED einen Spannungsabfall V_{LED} von 2,1 V (vgl. [52]). Daraus lässt sich dann der Widerstand R₂ berechnen:

$$R_2 = \frac{V_B - V_{LED}}{I_{R2}} = \frac{24\text{ V} - 2,1\text{ V}}{10\text{ mA}} = 2,19\text{ k}\Omega$$

Der nächsthöhere Widerstand der E12 Reihe entspricht 2,2 kΩ. Um auf Nummer sicher zu gehen, wird der um eine Stufe größere Widerstand mit einem Wert von 2,7 kΩ verwendet. Wenn der Lichtstrahl im Opto Interrupter nicht unterbrochen wird, und der Transistor somit durchschaltet, leuchtet die grüne LED. Wird der Lichtstrahl unterbrochen, erlischt die LED. Damit diese nicht während des Normalbetriebs dauerhaft leuchtet, wird ein Jumper einge-

baut, durch dessen Entfernung die LED ganz einfach aus der Schaltung ausgeschlossen werden kann.

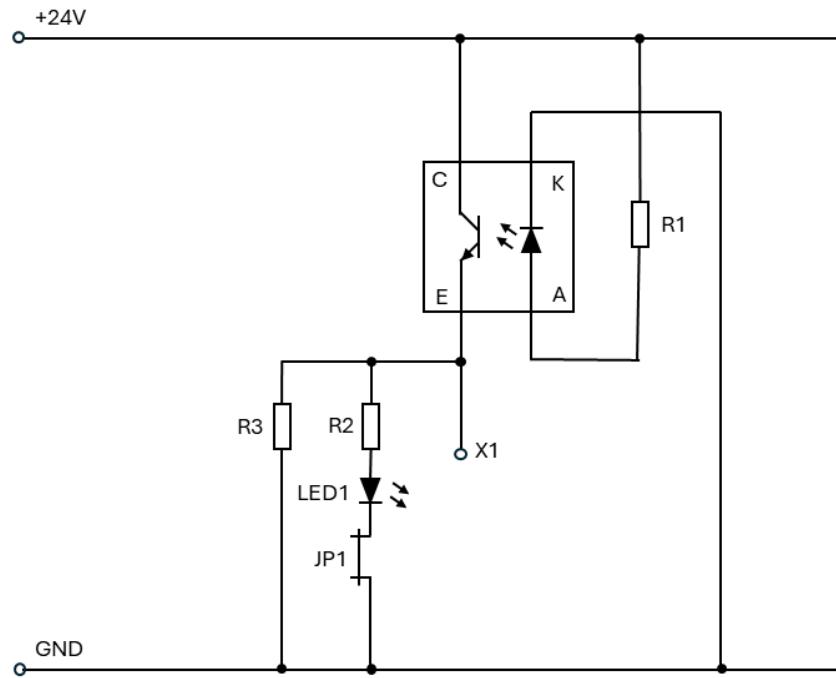


Abbildung 5.2: Schaltplan Referenzplatine

Platinenentwurf und -herstellung

Um die benötigten Referenzplatten herstellen zu können, musste zuerst ein Leiterplattenplan in Fusion360, ehemals Eagle, erstellt werden. Über den Sharepoint der HTL lässt sich eine Elektronikbibliothek, die alle in der Schule verfügbaren Bauteile beinhaltet, herunterladen. Da der in der Schaltung verwendete Opto Interrupter nicht in der Schule verfügbar ist, sondern extern organisiert werden musste, befindet er sich nicht in dieser Elektronikbibliothek. Daher musste für diesen ein eigenes Symbol sowie ein dazugehöriger Footprint gezeichnet werden.

Zum Entwerfen eines Printed Circuit Boards (PCB) muss ein neuer Elektronikentwurf in Fusion erstellt werden. Hier muss zu Beginn der zugehörige Schaltplan gezeichnet werden. Wichtig ist, dass bei der dreipoligen Schraubklemme (J1) das Bauteil 3282837-3 verwendet wird, da sonst die Abstände zwischen den Lötpads zu klein und diese zu nah beieinander sind. Damit der Jumper (JP2) nicht verloren geht, wenn die Verbindung zwischen Ground und LED durch dessen Entfernung aufgehoben werden soll, wird ein dreipoliger Pinheader verwendet, um den Jumper für den gegebenen Zeitraum einfach umstecken zu können.

Nach Fertigstellung des Schaltplans kann in Fusion ein passendes Leiterplattendokument erstellt werden, welches die Bauteile und die zugehörigen Verbindungen direkt übernimmt. Für den fertigen Leiterplattenplan des Referenztasters siehe Abb. 5.3. Da beim verwendeten Opto Interrupter Löcher zur Montage vorhanden sind, mussten auf der Platine selbst keine

zusätzlichen Bohrungen eingeplant werden. Bei der Anordnung der Bauteile auf der Platine war zu beachten, dass sich die Löcher am Opto Interrupter am schmäleren Rand der Platine befinden. Um eine leichtere Verkabelung zu ermöglichen, wurde auch die Schraubklemme am Rand der Platine platziert.

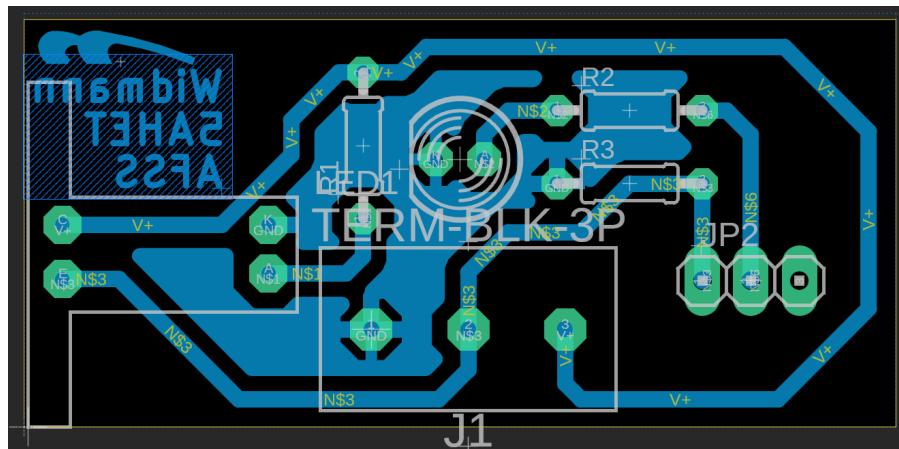


Abbildung 5.3: Leiterplattenplan Referenzplatine

Wenn alle Bauteile platziert und verbunden worden sind, sowie ein Polygon über die gesamte Platine gezogen worden ist, muss diese noch auf Fehler geprüft werden. Auch hier ist eine bereits fertige Datei, welche die benötigten Design Rules für Fusion360 beinhaltet, auf der Schulwebsite zu finden. Damit die Platine zur Produktion in der Leiterplattenfertigung der HTL eingereicht werden kann, muss diese den vorgegebenen Anforderungen entsprechen. Dazu gehört, dass sich das HTL-Logo auf der Platine befindet und die Texteinstellungen Font: Vector, Ratio: 16 % und Size: min 70 mil entsprechen. Auch die Breite der Kupferbahnen darf nicht zu klein sein (hier: 32 mil).

Nach Einreichung eines Fertigungsauftrags wird die Platine von Schülerinnen und Schülern der HTL gefertigt. Der Herstellungsprozess startet mit dem Reinigen des Basismaterials, um es daraufhin mit dem Negativtrockenresist (Trockenfilm) zu laminieren. In den nächsten Schritten werden die Layout-Informationen mit einem Belichter auf das Laminat übertragen und das unbelichtete Laminat mit einer Natrium-Carbonat Lösung von der Platine entfernt. Daraufhin werden, durch Ätzen mit einer Eisen-III-Chlorid-Lösung, strukturierte Kupferflächen freigestellt. Als Nächstes werden die Löcher in die Kupferpads gebohrt und die Platine auf ihre korrekte Größe zugeschnitten. Durch das Legen der Leiterplatte in eine Entschichtlösung aus 5 %igem Kaliumcarbonat mit Wasser, werden Ätzreste von der Platine entfernt. Zu guter Letzt wird die Platine mit einem Versiegelungslack versiegelt, um sie vor Umwelteinflüssen und Korrosion zu schützen.

Platinentestung und Messung

Um die korrekte Funktionsweise der Referenzplatine sicherstellen zu können, musste diese nach dem Löten getestet werden. Zum Betrachten der fertigen Platine siehe Abb. 5.4. An der Klemme X1 wurden mit einem Multimeter Spannungswerte zwischen 19,7 V bis 21,3 V

gemessen. Obwohl die Spannungen unter den gewünschten 24 V liegen, können die Platinen problemlos verwendet werden, da die verwendeten AS-i-Slaves einen minimalen HIGH-Eingangsschaltpegel von 10 V besitzen (vgl. [53]).



Abbildung 5.4: Fertige Referenzplatine

5.1.4 Lichttaster

Zur Kontrolle, ob während des Ein- oder Auslagerns eine Box auf der richtigen Position angekommen ist, werden Lichttaster verwendet. Insgesamt werden zwei am AFSS montiert, davon einer an der z-Achse und einer am Querförderer. Es handelt sich bei den hierbei verwendeten Reflexionslichttastern um Sensoren der Firma SICK vom Typ W4 WTBxx (siehe Abb. 5.5a).

Ursprünglich hätte diese Aufgabe von Lichtschranken übernommen werden sollen, da diese bereits vor Ort verfügbar waren. Lichtschranken funktionieren, indem sie einen Rotlichtstrahl auf einen Reflektor werfen, dessen Reflektion daraufhin wieder vom Sensor erkannt wird. Im Lichtschranken befinden sich Schaltkontakte, die daraufhin geöffnet oder geschlossen werden. Wird nun jedoch der Lichtstrahl unterbrochen, fallen die Schaltkontakte in ihren Anfangszustand zurück. Lichtschranken haben jedoch den Nachteil, dass sie immer ein zusätzliches reflektierendes Gegenstück benötigen. Die stattdessen verwendeten Lichttaster mit Hintergrundausblendung funktionieren nach demselben Prinzip, jedoch bieten sie den Vorteil, dass sie auch die Distanz des Objektes zum Sensor erfassen. Somit können Objekte unabhängig von ihrer Farbe und Oberfläche erkannt werden, soweit sie sich innerhalb des einstellbaren Tastbereiches befinden (vgl. [54]). Der empfohlene Schaltabstand des Lichttasters liegt zwischen 40 mm bis 140 mm, wodurch er sich für die Aufgaben im Projekt ideal eignet. Über die Teach-in Funktion des Sensors lässt dieser sich ganz einfach durch Drücken der Teach-Taste auf den richtigen Schaltabstand einstellen (vgl. [55])

Während das SPS-Programm von der CPU durchlaufen wird, überprüft dieses immer an den jeweiligen Zwischenschritten, ob es ein Signal des zuständigen Lichttasters erhalten hat, bevor das Programm fortgesetzt wird. Somit wird sichergestellt, dass die Boxen im Querförderer richtig positioniert worden sind und von der z-Achse richtig gegriffen werden können. Ansonsten könnte es passieren, dass eine von der Gabel angehobene Box hinunterfällt, da diese nicht richtig positioniert war.



(a) Lichttaster W4 WTBxx,
Quelle: [56]

(b) Barcodescanner CLV61x-2Port,
Quelle: [57]

Abbildung 5.5: SICK Sensoren

5.1.5 Barcode-Scanner

Durch Anbringen eines sich nicht wiederholenden Barcodes auf jeder Box wird eine gute Möglichkeit geschaffen, in der Software den Behälter und die sich darin befindlichen Bauteile einander zuzuordnen. Unter der Voraussetzung, dass die Benutzerinnen und Benutzer vor jeder Wiedereinlagerung ihrer Box zuerst deren Barcode einscannen, wird die Wahrscheinlichkeit, dass der Lagerplatz einer Box falsch abgespeichert wird, verringert. Somit sinkt auch die Chance, dass bei einer Bestellung ein falsches Bauteil ausgeliefert wird. Das erfassen des Barcodes findet mittels eines Barcodescanners der Firma SICK statt (siehe Abb. 5.5b). Dieser ist bei der Kommissionierstation untergebracht, um eine einfache Bedienung gewährleisten zu können.

Der dem AFSS zur Verfügung gestellte Barcodescanner (CLV61x-2Port) ist in der Lage, alle gängigen Codearten einzulesen (vgl. [58]). Barcodes wurden so entwickelt, dass bereits beim Einlesen erkannt wird, wo dieser anfängt und aufhört, damit beim Einstellen nicht auf die richtige Ausrichtung geachtet werden muss.

Einbindung in die Steuerungssoftware (TIA-Portal)

Damit der eingelesene Barcode an den Webserver weitergegeben werden kann, muss dieser im Siemens TIA-Portal abgespeichert werden. Mit der CPU verbunden wird der Scanner über PROFINET. Hierbei handelt es sich um einen auf Industrial Ethernet basierenden Kommunikationsstandard und eine Weiterentwicklung des PROFIBUS Vorgängers. Für eine ausführlichere Erklärung der verschiedenen Feldbusssysteme siehe Kapitel 5.2.1. Über ihn lässt sich die gescannte Nummer ganz einfach an die SPS übermitteln.

Im TIA-Portal Projekt muss, um eine Verbindung zum Barcodescanner herstellen zu können, die zugehörige Gerätebeschreibungsdatei (GSD-Datei) installiert werden. Dies funktioniert über das „Gerätebeschreibungsdateien verwalten“ Fenster im TIA-Portal. Nach der Installation ist das Gerät im Hardwarekatalog unter „Weitere Feldgeräte“ zu finden. Die benötigte

Datei wird auf der Internetseite des Herstellers als Download zur Verfügung gestellt (vgl. [59], S. 5 bis 6).

Auslesen des Barcodes

Wenn eine Verbindung zum Gerät hergestellt wurde, müssen die Parametermodule eingefügt und richtig eingestellt werden. Diese werden über den Hardware-Katalog ausgewählt und in das Projekt gezogen, für eine Übersicht der eingefügten Module siehe Abb. 5.6. Wichtig ist, bei den Baugruppenparametereinstellungen von „47_Communication Mode_1“ „No Handshake“ auszuwählen, und bei „99_End Remote Config“ „Don't save parameters perm.“ einzustellen. Um die verwendete Art von Barcodes einscannen zu können, muss darauf geachtet werden, dass dieser unter „22_UPC EAN GTIN_1“ ausgewählt und somit eingeschaltet ist.

Geräteübersicht					
	Modul	Baugr...	Steck...	E-Adresse	A-Adres...
▼ CLV61x-2Port	0 0				
► Interface	0 0 X1				
Ctrl Bits in_1	0 1	126...127			
Ctrl Bits out_1	0 2		128...129		
32 Byte Input_1	0 3	128...159			
32 Byte Output_1	0 4		130...161		
01_Start Remote Config >>>..	0 5				
11_Reading Config_1	0 6				
22_UPC EAN GTIN_1	0 7				
47_Communication Mode_1	0 8				
99_End Remote Config <<<..	0 9				
	0 10				
	0 11				
	0 12				

Abbildung 5.6: Barcodescanner Geräteübersicht im TIA-Portal

Die vom Barcodescanner belegten Ein- und Ausgangsadressen sind in der Geräteübersicht ersichtlich (siehe Abb. 5.6). Ein TriggerBit wird verwendet, um das Einlesen eines Barcodes zu starten. Dabei handelt es sich um das zweite Bit des „Ctrl Bits out_1“ Moduls (hier: Q129.0). Bei steigender Flanke des ToggleBits wird der Laser eingeschaltet, erst bei der fallenden Flanke wird der Code eingelesen.

Die eingelesenen Daten liegen ab dem ersten Input Byte (hier: ab IB128.0). Auf dem ersten Input Byte wird am vierten Bit ein ToggleBit mitgeführt. Am zweiten Byte (IB129.0) befindet sich ein Zähler, der mitzählt, wie viele Codes bereits eingelesen wurden. Das vierte Input Byte (IB131.0) gibt die Länge des eingelesenen Strings an. Ab dem sechsten Byte (IB133.0) stehen die eigentlichen Daten des Barcodes.

Um die Daten des Barcodes überprüfen zu können, eignet sich eine wie in Abb. 5.7 abgebildete Beobachtungstabelle. Wichtig ist, dass beim Einfügen der Ein- und Ausgangsadressen das richtige Anzeigeformat ausgewählt ist. Um eine Überprüfung durchzuführen, lässt sich

das TriggerBit zum Starten des Einlesevorgangs über Eingabe von TRUE und FALSE setzen, und daraufhin ein Code scannen. Die einzelnen Input Bytes werden in weiterer Folge in der Tabelle angezeigt.



The screenshot shows a table in the TIA Portal software. The table has columns for index (i), name, address, display format, observed value, controlled value, and status. The status column includes checkboxes and warning icons. The data in the table is as follows:

i	Name	Adresse	Anzeigeformat	Beobachtungswert	Steuerwert	
1		%Q129.0	BOOL		TRUE	<input checked="" type="checkbox"/> 
2		%IB128	Bin			<input type="checkbox"/>
3		%IB129	DEZ			<input type="checkbox"/>
4		%IB130	DEZ			<input type="checkbox"/>
5		%IB131	DEZ			<input type="checkbox"/>
6		%IB132	DEZ			<input type="checkbox"/>
7		%IB133	Zeichen			<input type="checkbox"/>
8		%IB134	Zeichen			<input type="checkbox"/>
9		%IB135	Zeichen			<input type="checkbox"/>
10		%IB136	Zeichen			<input type="checkbox"/>
11		%IB137	Zeichen			<input type="checkbox"/>
12		%IB138	Zeichen			<input type="checkbox"/>
13		%IB139	Zeichen			<input type="checkbox"/>

Abbildung 5.7: Barcodescanner Beobachtungstabelle im TIA-Portal

5.2 AS-Interface

5.2.1 Feldbusssysteme

Allgemeines

Ein Feldbus ist ein Bussystem, das Feldgeräte (Sensoren) und Stellglieder (Aktoren) mit einem Automatisierungsgerät, beispielsweise einer SPS, verbindet. Über den Feldbus findet die Kommunikation statt. Wenn die Nachrichten mehrerer Kommunikationsteilnehmer über dieselbe Leitung gesendet werden, muss festgelegt sein, wer (Kennung), was (Messwert oder Befehl), wann (Initiative) über den Bus sendet.

Es existiert bereits eine Vielzahl an unterschiedlichen Bussystemen. Zu den in der Automatisierungstechnik gebräuchlichsten gehören:

- PROFIBUS
- PROFINET
- Industrial Ethernet
- Modbus
- AS-Interface
- CANopen
- EtherCAT

Da die verschiedenen Bussysteme unterschiedliche Datentransferzeiten und Fehlererkennungsmöglichkeiten bieten, werden oft in einem Projekt mehrere Feldbusse auf den verschiedenen Automatisierungsebenen verwendet (vgl. [60]). In Abb. 5.8 ist ein Beispielprojekt mit unterschiedlichen Bussystemen ersichtlich.

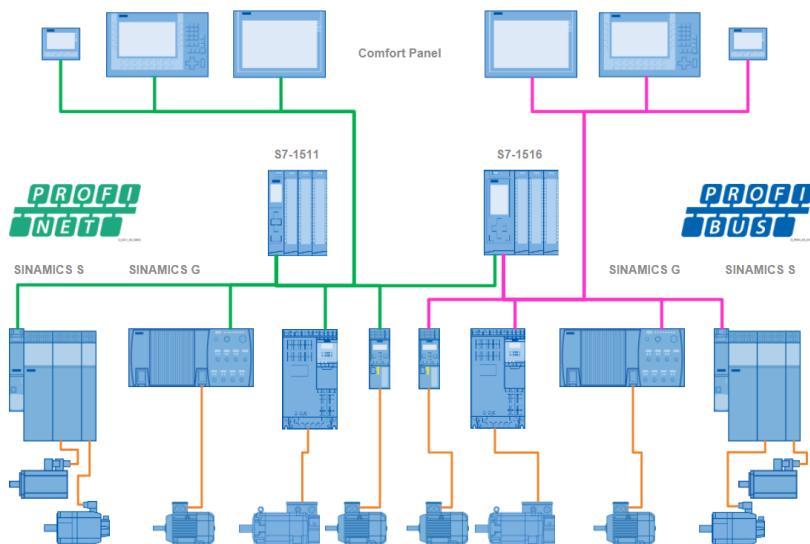


Abbildung 5.8: Topologie verschiedener Feldbussysteme, Quelle: [61]

PROFIBUS

Bei PROFIBUS (Process Field Bus) handelt es sich um ein standardisiertes Bussystem, das vor allem in der Automatisierungstechnik zu Hause ist. Es ist ein Multi-Master-System, das bedeutet, dass die Kommunikationsabläufe von mehreren Mastern gesteuert werden können. Die am häufigsten verwendete Schnittstelle in einem PROFIBUS-System ist RS485. Zur Datenübertragung wird meist ein 9-poliger Sub-D-Stecker verwendet. Die Anzahl der Teilnehmer ist je PROFIBUS SUB-Netz auf 32 beschränkt, somit ergibt sich eine maximale Anzahl von 128 Teilnehmern. PROFIBUS bietet den Vorteil, dass es sehr einfach in gängige Automatisierungssysteme integriert werden kann. Die Kabelfarbe ist violett, was auch beim Herstellen von PROFIBUS-Verbindungen im TIA-Portal ersichtlich ist (vgl. [62]).

PROFINET

Wie bereits in Kapitel 5.1.5 erwähnt wurde, handelt es sich bei PROFINET (Process Field Network) um eine Weiterentwicklung von PROFIBUS. Es basiert auf Industrial Ethernet und wurde von Siemens und den Mitgliedsfirmen der PROFIBUS-Nutzerorganisation entwickelt. PROFINET-Geräte werden ausschließlich über Switches miteinander verbunden, wobei viele Geräte, sowie eine SPS, bereits einen Switch mit mehreren Anschlüssen integriert haben. Der Vorteil von PROFINET ist, dass es das bekannte 7-schichtige OSI-Modell auf ein 4-schichtiges TCP/IP-Modell reduziert. Der Unterschied zum älteren PROFIBUS liegt vor

allem darin, dass es die Funktion große Datenmengen übertragen zu können, bietet. Ein weiterer Vorteil ist die Echtzeitfähigkeit von PROFINET (vgl. [63]). Außerdem ist die Anzahl der Teilnehmer in einem PROFINET-System praktisch unbegrenzt, da jeder Teilnehmer eine eigene IP-Adresse besitzt. Bei der Projektierung im TIA-Portal müssen die Kommunikationspartner einem gemeinsamen PROFINET zugewiesen werden. Zusätzlich muss jedes Gerät einen PROFINET-Namen besitzen, die IP-Adresse des Geräts alleine genügt nicht. Die Kabelfarbe ist grün, was sich auch im TIA-Portal widerspiegelt.

ASi

Bei ASi (Actuator-Sensor-Interface) handelt es sich um ein Feldbussystem, welches in der Automatisierungstechnik zur Verbindung von Sensoren und Aktoren mit einem Steuerungselement dient. Eingesetzt wird das AS-Interface in der Feldebene und findet vorwiegend bei Übertragung von Prozessdaten Verwendung. Es funktioniert nach dem Master-Slave-Prinzip, bei dem ein ASi-Master für die Kommunikation mit seinen Slaves zuständig ist. Der Datenverkehr findet hierbei in Form einer zyklischen Abfrage statt. In einem Zyklus sendet der Master Informationen an die Slaves, die daraufhin wieder eine Antwort zurücksenden. Der große Vorteil an ASi ist, dass die Daten- und Stromübertragung meist über ein einziges Kabel passiert. Hierbei handelt es sich um ein gelbes 2-adriges Profilkabel, in dem sich ein brauner (Plus) und ein blauer (Minus) Leiter befindet. Die Betriebsspannung eines ASi-Systems liegt bei 30 V. Wenn ein Feldgerät eine zusätzliche Hilfsspannung (24 V) benötigt, wird ein schwarzes Profilkabel verwendet. Bei der Verwendung von ASi können durch die Reduzierung der benötigten Kabel die Installationskosten erheblich gesenkt werden. Außerdem ist die Verkabelung übersichtlicher, und Verdrahtungsfehler können besser vermieden werden. Beim Anschließen eines ASi-Kabels an einem Feldgerät wird die Durchdringungstechnik verwendet. Dabei durchdringen bei der Montage zwei sich am Anschluss befindlichen Dornen die Isolierung des Kabels, und stellen darüber eine Verbindung zum Netzwerk her (vgl. [64]).

Auswahl des Feldbussystems

Da es sich bei PROFINET um ein von Siemens mitentwickeltes Feldbussystem handelt, und dieses einfach in Siemens-Steuerungssystemen eingesetzt werden kann, bietet es eine ideale Möglichkeit, die Siemens SPS und die Siemens ET200SP, auf der der ASi-Master zu finden ist (siehe Abb. 5.10a), miteinander zu verbinden. Auch am Barcodescanner befindet sich eine PROFINET-Schnittstelle, womit dieser ganz einfach an die SPS angeschlossen werden kann.

Da die Sensoren jedoch nicht über PROFINET-Schnittstellen verfügen, mussten sie über einen anderen Weg in das PROFINET-System oder ein anderes Feldbussystem integriert werden. Da im Werkstättenunterricht AS-Interface zur Kommunikation zwischen SPS und Sensoren verwendet wird, fiel auch die erste Wahl für das AFSS darauf. Für einen längeren Zeitraum wurde in der Projektplanung ein I/O-Modul als Alternative zu AS-Interface in Betracht gezogen. Auf diesem hätten sich 4xM12-Buchsen als Digitaleingänge befunden, an

welche acht Sensoren angeschlossen hätten werden können. Das Modul hätte über eine M8-Buchse mit dem Subbus verbunden werden können. Jedoch konnten die gewünschten I/O-Module dem Projekt nicht zur Verfügung gestellt werden, wodurch die Entscheidung wieder auf ASi zurückfiel. Da hierfür bereits ein ASi-Master, die zugehörige Spannungsversorgung und ein Teil der benötigten ASi-Slaves in der Schule verfügbar waren, stellte die Planänderung kein Problem dar.

5.2.2 Programmierung im TIA-Portal

Damit die Verarbeitung der Sensorsignale und die Ansteuerung der Motoren in einem gemeinsamen Programm stattfindet, musste auch das AS-Interface in das TIA-Portal eingebunden werden. Da sich der verwendete ASi-Master auf einem Modul einer Siemens ET200SP befindet, müssen beide in der Netzansicht des Programms hinzugefügt werden. Durch Eingabe der Produktnummer in den Hardware-Katalog auf der rechten Seite kann die ET200SP hinzugefügt werden. Da es sich bei dieser jedoch nicht um eine eigene CPU handelt, muss eine PROFINET-Verbindung zur SPS im Programm hergestellt werden. Im Katalog findet sich auch der ASi-Master, welcher dann als Modul der ET200SP eingefügt werden kann. Weil auch die für das Projekt verwendeten ASi-Slaves von Siemens sind, können diese einfach über den Hardware-Katalog hinzugefügt werden. Wie in Abb. 5.9 zu erkennen ist, können auch der ASi-Master und dessen Slaves ganz einfach im Programm miteinander verbunden werden.

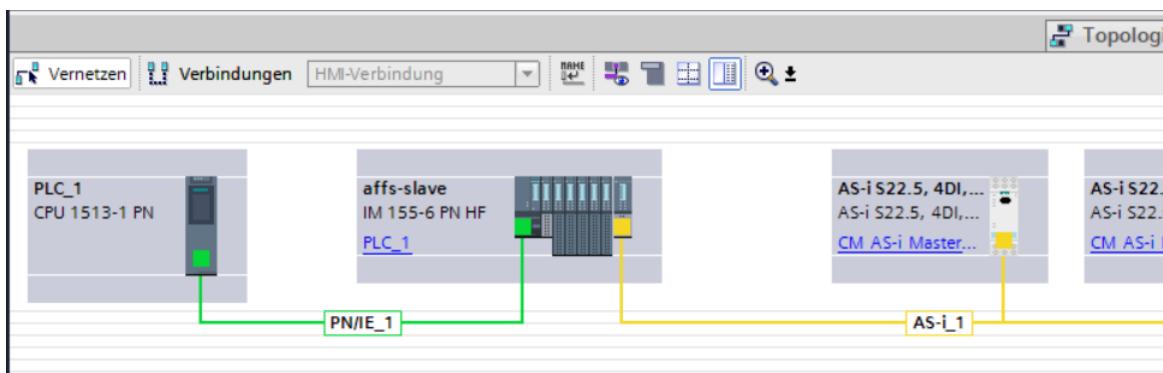


Abbildung 5.9: Netzsicht im TIA-Portal mit ASi-Master und Slaves

Es ist besonders wichtig, dass in den Geräteeigenschaften der ET200SP die richtige Firmware-Version eingestellt ist, da sonst keine Verbindung zur Komponente hergestellt werden kann. Die Version der Firmware lässt sich in der Registerkarte Online-Zugänge unter „Online & Diagnose“ feststellen, falls diese für das Gerät nicht bekannt ist. Unter „Slave Konfigurationstabelle“ in den Geräteeigenschaften des ASi-Masters finden sich die den Slaves zugeteilten Eingangsadressen und ASi-Adressen. Die Adressen lassen sich hier auch ändern, was in erster Linie bei den ASi-Adressen benötigt wird, da diese nicht automatisch richtig eingestellt und nicht immer der Reihe nach zugeteilt werden. Die einem Slave zugeteilte Adresse kann an den Status-LEDs des ASi-Masters erkannt werden. An den LEDs

„SL_Xy (A)“ und „SL_xY (B)“ lässt sich durch eine Blinkfolge die richtige Adresse herausfinden (vgl. [65], S. 63 bis 68).

Durch Verwendung einer Beobachtungstabelle lassen sich dann die Verbindungen zu den an den ASi-Slaves angeschlossenen Sensoren einfach überprüfen. Nach Einfügen der zugehörigen Eingangsadresse, Herstellen einer Online-Verbindung und Starten des Beobachters wird das aktuelle Sensorsignal angezeigt.

5.2.3 Verkabelung

Insgesamt mussten folgende 23 Sensoren über AS-Interface mit der SPS verbunden werden:

- 4 Endschalter mit Rollhebel
- 4 Induktive Endschalter
- 6 Endtaster
- 7 Referenztaster
- 2 Lichttaster

Ein ASi-Slave verfügt über folgende Anschlüsse (siehe Abb. 5.10b):

- 1 ASi-Plus
- 1 ASi-Minus
- 4 Digitaleingänge (IN)
- 3 Plus für Sensoren
- 3 Minus für Sensoren

Um alle Sensoren anschließen zu können, werden sechs Slaves benötigt. Da so jedoch manche Sensoren weit von ihrem zugehörigen Slave entfernt wären, wird ein siebenter ASi-Slave verwendet, um Verkabelungsstrecken kurzzuhalten. Gewöhnlich wird zur ASi-Verbindung das in Kapitel 5.2.1 beschriebene gelbe Profilkabel verwendet. Die verwendeten Slaves verfügen aber nicht über die für das Kabel benötigten Anschlüsse, sondern nur über eine ASi-Plus-Klemme und eine ASi-Minus-Klemme. Deshalb werden sie über zwei Adern eines normalen Kabels mit dem ASi-Master verbunden.

Zwischen Schaltschrank und Lager wird nur ein Kabel zur Spannungsversorgung der Slaves verlegt. Dieses führt zum ersten Slave, von dem aus dann ein neues Kabel zum nächsten Slave verläuft, und so weiter. Weil sich in einer Anschlussklemme nicht mehrere Adern befinden dürfen, musste eine Alternative zum Verbinden der Leitungen gefunden werden. Ursprünglich wurde eine zusätzliche Platine mit zwei dreipoligen Anschlussklemmen in Betracht gezogen. Da jedoch für die Befestigung der ASi-Slaves sowieso kleine Hutschienen

am Lager angebracht werden mussten, und an diesen noch etwas Platz zur Verfügung stand, wurden dort jeweils zwei Vier-Leiter-Reihenklemmen untergebracht. Über die Klemmen wird der jeweilige Slave mit der Plus- und Minus-Leitung verbunden.



Abbildung 5.10: Siemens AS-Interface Komponente

Diese Verbindung zwischen Sensor und seinem zugehörigen Slave besteht aus einer Plus-, Minus- und IN-Leitung. Ausgenommen sind die Endschalter mit Rollhebel, da diese nur einen Plus- und IN-Anschluss benötigen. Damit die Kabel der Sensoren an den x-Achsen eng am Lager anliegen, wurden auf den Item-Profilen Kabelkanäle angebracht. Um die an den x-Achsen angebrachten querverbindenden Profile übergehen zu können, wurden eigene Kabelbrücken in Fusion360 gezeichnet und daraufhin 3D-gedruckt. Diese führen dann, wie in Abb. 5.11 ersichtlich, das Kabel oberhalb des Item-Profils entlang, ohne dass ein Knick entsteht.

An einem Slave befinden sich drei Klemmen für die Spannungsversorgung der Sensoren. Bei zwei der sieben Slaves müssen jedoch vier Sensoren angeschlossen werden. Auch hier werden wieder externe Klemmen verwendet, um auch den vierten Sensor mit der Plus- und Minus-Leitung zu verbinden.

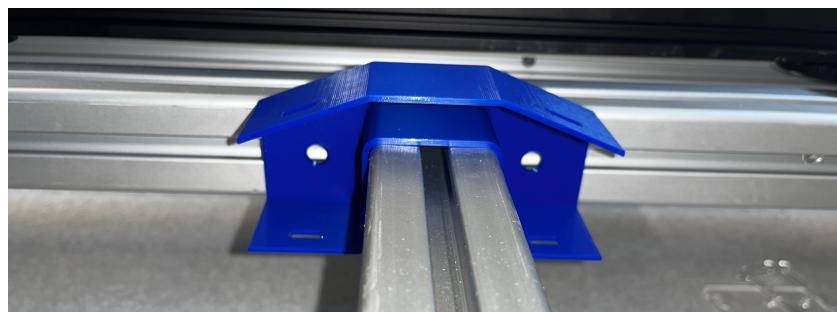


Abbildung 5.11: Kabelbrücke x-Achse

5.3 Sicherheitstechnik

5.3.1 Aufgabenstellung

Die Sicherheitstechnik muss so ausgelegt sein, dass beim Normalbetrieb keine Verletzungsgefahr für die Benutzerinnen und Benutzer besteht. Außerdem muss sie dafür sorgen, dass das System während des Betriebs sich selbst keinen Schaden zufügen kann. Zusätzlich soll sie Fehler, die durch menschliche Bedienung beim Einlagern entstehen können, minimieren. Somit kann die korrekte Funktion des AFSS über mehrere Jahre hinweg sichergestellt werden.

5.3.2 Personenschutz

Der Personenschutz hat die oberste Priorität. Er sorgt dafür, dass bei ordnungsgemäßen Gebrauch die Benutzerinnen und Benutzer vor Verletzungen geschützt sind. Weiters soll er verhindern, dass Personen in elektrische Stromkreise geraten, oder mit unter Spannung stehenden Betriebsmitteln in Berührung kommen. Bei Wechselstrom mit 50 Hz liegt der in den Vorschriften festgelegte Grenzwert der Spannung, ab dem ein lebensgefährlicher Körperstrom fließen kann, bereits bei 50 V. Bei Gleichstrom ist dieser Grenzwert bei 120 V festgelegt (vgl. [47], S. 11) Durch den großen Strom wird die Signalleitung der Nerven und Muskeln gestört, und es kann zu Herzkammerflimmern sowie Atemproblemen kommen (vgl. [66]).

Für den Fall, dass eine Person trotz getroffener Sicherheitsvorkehrungen in den Stromkreis gerät, werden mehrere leicht zugängliche Not-Stop-Schalter am System angebracht, um schnell den Strom abschalten zu können. Als außenstehende Person ist es besonders wichtig, beim Entfernen der bereits in den Stromkreis geratenen Person, sich nicht selbst in Gefahr zu bringen oder auch in den Stromkreis zu kommen.

Als Abgrenzung zwischen Benutzerinnen und Benutzer und dem Schaltschrank ist dieser von außen versiegelt und lässt sich nur mit einem zugehörigen Schlüssel öffnen. Somit wird ein allseitiger Berührungsschutz sichergestellt und zusätzlich wird verhindert, dass Personen ohne Befugnis im Schaltschrank Änderungen durchführen können, und sich dabei womöglich verletzen. Im Schaltschrank befindet sich ein Fehlerstrom-Schutzschalter (FI), welcher bei 30 mA auslöst, und somit zum Personenschutz beiträgt.

5.3.3 Schutz des Systems

Damit auch umgekehrt das AFSS vor Fehlern durch Nutzerinnen und Nutzer geschützt ist, müssen auch hierfür eigene Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Nur so kann für eine langjährige, fehlerfreie Funktion des Systems gesorgt werden. Da bereits für den Aufbau ein Raum genutzt wurde, der am Ende des Schuljahres wieder aufgeräumt verlassen werden muss, und es durchaus möglich ist, dass das Lager und der Schaltschrank ihren Standort auch in Zukunft wieder wechseln müssen, wurden beide mit Rollen versehen. Durch

Anbringen der Rollen lässt sich das System problemlos durch das Schulgebäude transportieren, ohne dass es beim Raumwechsel zu einem Schaden kommt. Bereits bei der Planung des Lagers wurde miteinbezogen, dass das Lager die Höhe und Tiefe des Lifts im Werkstattengebäude nicht überschreiten darf, um den Transport in verschiedene Stockwerke zu ermöglichen. Auch die Höhen und Breiten der Türen im Gebäude wurden schon bei der Konstruktion berücksichtigt.

Das fertige Lagersystem soll planmäßig in der Factory der HTL untergebracht werden. Bei der Raumplanung stellte sich die Frage, ob das Bauteillager oder das Förderband an der Wandseite positioniert werden soll. Die Entscheidung fiel auf ersteres, um das System noch weiter Absichern zu können. Die Positionierung des Bauteillagers an der Wand verhindert, dass Schülerinnen und Schülern auf die Idee kommen, händisch Bauteile ein- oder auszulagern. Beim eigenhändigen Auslagern könnten leicht Boxen vertauscht werden, wodurch es bei Bestellung zu falschen Auslieferungen und Verwechslung von Bauteilen kommen kann. Der manuelle Zugriff zum Lager wird durch das Förderband, welches wie eine Absperrung davorsteht, erschwert. Für den Fall, dass ein händischer Zugriff zu den Bauteilen benötigt wird z.B. bei einem Stromausfall, lässt sich das Lager durch die darauf befestigten Rollen, mit etwas Aufwand, für den benötigten Zeitraum an einen leichter zugänglichen Ort verschieben.

Das AFSS kann jedoch nicht nur durch den Menschen beschädigt werden, sondern auch sich selbst Schaden zufügen. Ziel der Sicherheitstechnik ist es auch in diesem Fall die Schadensverursachung zu verhindern. Einen weiteren wichtigen Teil zur Sicherheitstechnik trägt die am Lagersystem befestigte Sensorik bei. Damit die x-Schlitten oder das yz-Shuttle nicht in das Gerüst fahren können und dieses dadurch beschädigen, befinden sich Endschalter auf jeder Achse. Wenn diese ausgelöst werden, wird das Technologieobjekt gesperrt, und die Motoren werden sofort gestoppt. Außerdem wird durch das Referenzieren der Motoren bei jedem Neustart des Systems verhindert, dass sich die Koordinaten der Boxen verändern. Ansonsten könnte es passieren, dass Boxen, beim Versuch diese auszulagern, nicht richtig von der Gabel angehoben werden und auf den Boden fallen. Zusätzlich überprüfen die Lichttaster, ob die jeweilige Box während des Ein- und Auslagerungsprozesses an den Zwischenpositionen angekommen ist.

Nicht nur das Lager selbst, sondern auch die Antriebe und die sich im Schaltschrank befindenden Betriebsmittel müssen abgesichert werden. Falls ein zu hoher Strom fließt, zum Beispiel bei einem Kurzschluss, wird der Stromkreis durch einen Leitungsschutzschalter unterbrochen. Speziell für den Asynchronmotor des Fließbands wurde ein eigener Motorschütz eingebaut, um diesen vor Überstrom abzusichern. Weiters befinden sich drei Relais im Schaltschrank, die an die Enable-Kontakte der Motortreiberkarten angeschlossen wurden. Es ist besonders wichtig, das AFSS auch für den Fall eines Stromausfalls abzusichern. Gefährdet wäre dadurch in erster Linie das yz-Shuttle. Wenn sich dieses irgendwo zwischen oberer und unterer x-Achse befindet, besteht bei einem Stromausfall die Gefahr, dass es durch die Schwerkraft einfach nach unten fällt. Durch die dabei entstehenden Kräfte könnte nicht nur das Shuttle selbst, sondern das ganze Gerüst des Lagers, beschädigt werden. Au-

Berdem wird durch das Drehen der Motoren in dessen Spulen ein Strom induziert, welcher in weiterer Folge Schäden an anderen Betriebsmitteln anrichten könnte. Da die verwendeten Schrittmotoren nicht mit eigenen Bremsen ausgestattet sind, musste ein eigenes Sicherheitskonzept entwickelt werden. Vor den Synchronmotoren der y-Achse werden Relais mit Wechslerkontakte eingebaut. Durch das Kurzschließen der Spulen des Motors wird verhindert, dass das Shuttle Richtung Boden fällt. Es wird dadurch abgebremst und bewegt sich langsam nach unten. Für eine ausführlichere Erklärung siehe Kapitel 4.1.6.

5.4 Fazit

Das AFSS umfasst insgesamt sechs verschiedene Arten von Sensoren, die alle ihren jeweiligen Anforderungen entsprechend ausgewählt und mit dem SPS-Programm verbunden wurden. Zum Referenzieren musste für den verwendeten Sensor eine passende Schaltung und Platine entworfen werden, dessen Herstellung durch die schulinterne Leiterplattenfertigung ermöglicht wurde. Zur Kommunikation zwischen Sensoren und SPS wurde AS-Interface verwendet, mit Ausnahme des Barcodescanners. ASi konnte erfolgreich in das TIA-Portal eingebunden werden, damit die Signalverarbeitung der Sensoren und die Steuerung der Motoren in einem gemeinsamen Programm stattfinden können.

Durch die integrierten Sicherheitskonzepte können Schäden am System stark vermieden werden. Auch für den Fall, dass es zu einer gefährlichen Situation kommen sollte, wurden Sicherheitsvorkehrungen getroffen, um die entstehenden Schäden durch sofortiges Stoppen des Systems minimieren zu können. Vor allem die Absicherung des yz-Shuttles bei einem Stromausfall musste gut durchdacht werden, aber auch hierfür konnte eine sichere Lösung gefunden werden. Die wichtigste Anforderung war der Personenschutz, welcher sichergestellt werden konnte.

6 Resümee

Durch die Komplexität und die vielen verschiedenen Tätigkeiten, welche in dieses Projekt geflossen sind, wurde vom gesamten Team eine Vielzahl neuer Fähigkeiten erlernt und vorhandene vertieft.

Vor allem beim Arbeiten mit unterschiedlichen Programmen, wie TIA-Portal oder E-Plan, konnte viel Neues erlernt werden. Diese finden unter anderem auch Anwendungen in der Industrie, was für den weiteren Arbeitsweg von Vorteil ist.

Da dieses Projekt einen überdurchschnittlichen Zeitrahmen eingenommen hat, war es umso wichtiger, von Anbeginn ein konsequentes Projektmanagement aufrechtzuerhalten. Durch dieses konnte ein möglichst geregelter Ablauf sichergestellt werden. Um ein großes Projekt umsetzen zu können, wird auch ein großes Team benötigt. Die Zusammenarbeit verlief weitestgehend reibungslos und eine gute Kommunikation zwischen den einzelnen Projektmitgliedern war essenziell.

Für die weitläufige Sponsorensuche war es sehr wichtig, frühzeitig zu erheben, welche Komponenten benötigt werden. Um das Projekt schnellstmöglich umsetzen zu können, musste der Kontaktaufbau möglichst rasch erfolgen. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die benötigten Komponenten zeitnah zur Verfügung standen. Die Kommunikation mit den Sponsorfirmen verlief sehr gut, und die meisten Materialien konnten schnell verbaut oder in Betrieb genommen werden.

Weiters wurde das Projekt durch das Lehrpersonal unterstützt. Das Weitergeben ihres Know-hows trug zur kompetenten Umsetzung des Projekts bei. Auch die zur Verfügung gestellten Räumlichkeiten und Materialien waren essenziell, um das Vorhaben in diesem Umfang umsetzen zu können.

7 Anhang

7.1 Abmessungen

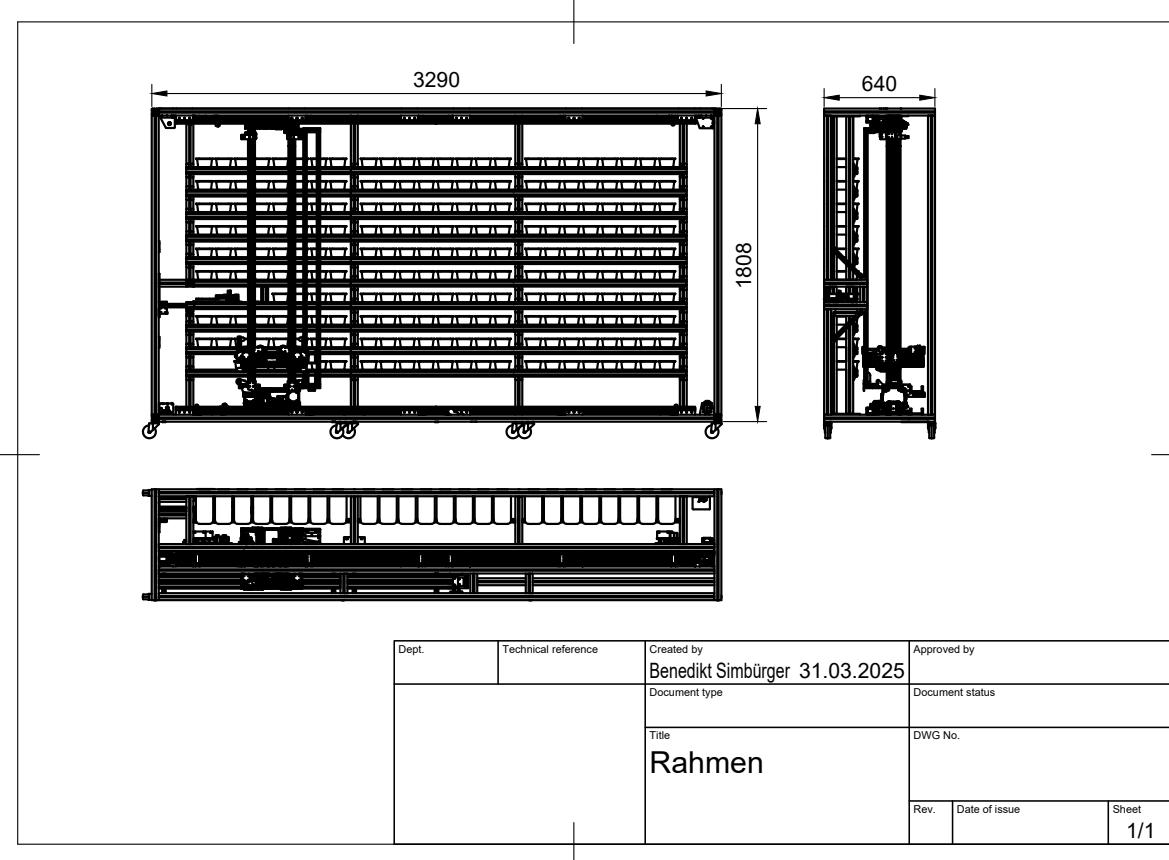


Abbildung 7.1: Abmessungen Rahmen

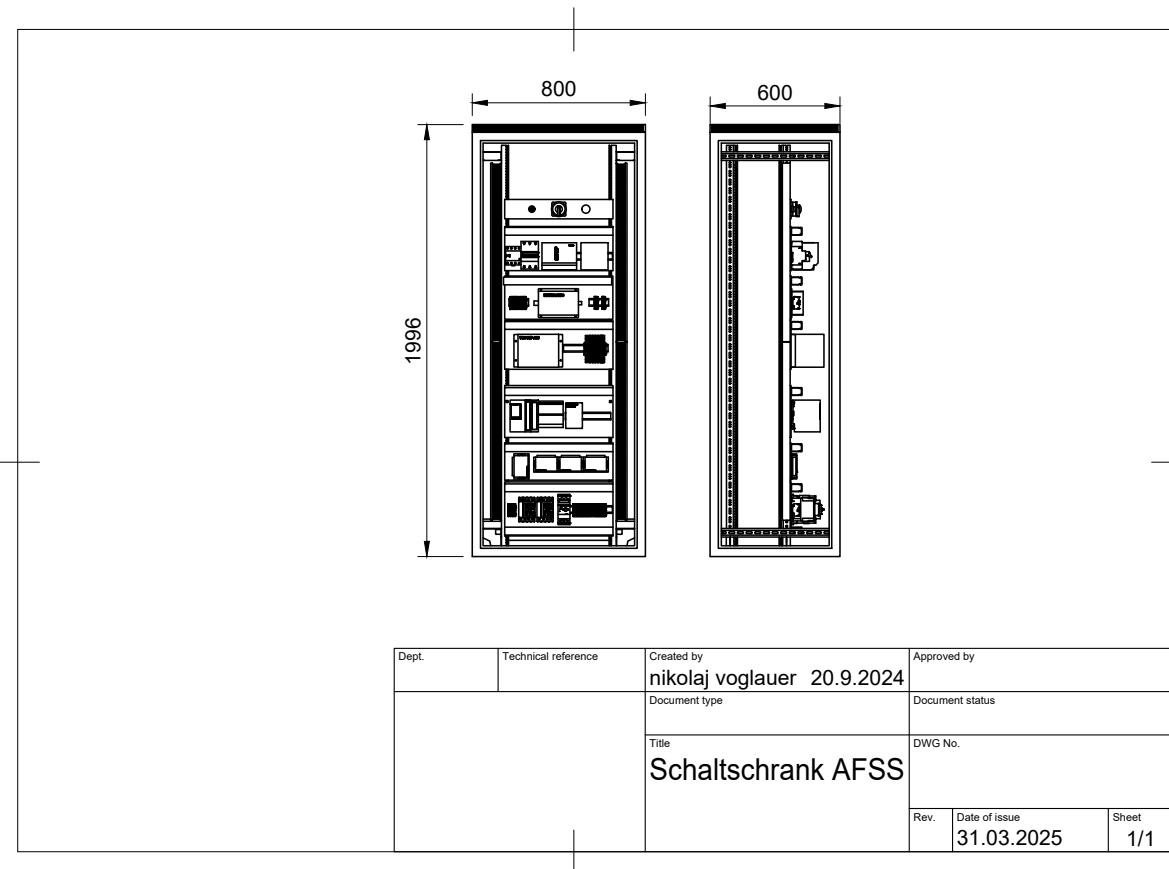


Abbildung 7.2: Abmessungen Schaltschrank

7.2 Projektmanagement

In diesem Kapitel wird auf das Projektmanagement des AFSS eingegangen. Dieses umfasst die zu Beginn des Projekts ausgearbeitete Aufgabenstellung und die einzelnen Arbeitspakete der jeweiligen Schülerin und Schüler. Außerdem wurde ein Produktstrukturplan angefertigt, in dem die Teilbereiche des Projekts und dessen zuständige Schülerin oder Schüler erkennbar ist. Ein weiterer Teil des Projektmanagements ist der Projektstrukturplan, welcher die unterschiedlichen Arbeitsschritte des Projekts veranschaulicht. Dieses Kapitel beinhaltet auch die in MS Project angefertigte Terminplanung.

7.2.1 Aufgabenstellung des Gesamtprojekts

Ausgangslage

Die Werkstätte hat ein bestehendes Lager für Bauteile, die von Fachlehrern bestellt werden können. Jene Bestellungen werden dann von Schülerinnen und Schüler zusammengestellt und geliefert. Die Verwaltung dieses Lagers gestaltet sich allerdings schwierig, da Schülerinnen und Schüler beim manuellen Ein- und Auslagern z.B. den Lagerplatz vertauschen und es zu Fehlern kommt.

Untersuchungsanliegen der individuellen Themenstellungen

Das Hauptanliegen dieser Diplomarbeit ist es, eine Anlage zu entwickeln, errichten und in Betrieb zu nehmen. Das bestehende System, mit manueller Handhabung, ist aufgrund des stetigen Bedienerwechsels sowie deren Ungenauigkeit, fehleranfällig. Der dadurch entstehende Mehraufwand verbraucht zusätzliche Ressourcen des Lehrpersonals. Um das Lehrpersonal sowie die Schülerinnen und Schüler zu entlasten, soll hier eine automatisierte Lösung entstehen. Es soll erwogen werden, welche Lösungen nötig sind, um ein Produkt zu planen und zu bauen, sodass dieses auch von nachfolgenden Schülerinnen und Schülern für zukünftige Anforderungen erweitert werden kann. Auch die Schnittstellen zwischen Hardware und Software, sowie die Ansteuerung der Mechanik soll in diesem Rahmen untersucht werden. Zudem soll die Sicherheit der Benutzerinnen und Benutzer immer gewährleistet sein.

Simbürger Benedikt: Programmierung des Backend und Hardwareentwicklung

Sonvilla Vincent: SPS-Programmierung und Serverkommunikation

Voglauer Nikolaj: Schaltschränkbau und Verkabelung sowie Hardwareentwicklung für Querförderer und Förderband

Widmann Elena: Auslegen elektrischen Komponenten, Ansteuerungen über Bussysteme und Sicherheitskonzeptionierung

Zielsetzung

Erstellung einer Anlage, welche automatisch die gewünschte Ware mittels eines dreiachsigem Roboters, bereitstellt. Über eine Website soll eine Bestellung eingereicht werden können und der Server soll dann mit der SPS kommunizieren. Die Anlage lagert die Bestellung aus und nach Gebrauch wieder ein. Das effiziente Lagersystem soll ein hochtechnisiertes Vorzeigeprojekt der Schule werden.

Geplantes Ergebnis der individuellen Themenstellungen

Die vom Benutzer gewünschten Bauteile werden aus einem Lagerplatz zu einer Kommissionier-Station gebracht und wieder zurückgestellt. Zum Herausheben der Bauteile, welche sich in Boxen befinden, ist ein vertikal montierter Portalroboter, an welchem eine Gabel montiert ist, verbaut. Ein Querförderer schiebt die angeforderten Boxen zwischen einem Förderband, welches die Boxen zum Endkunden befördert, und dem Lagersystem hin- und her. Die Bestellung ist über einen Web-Server möglich, welcher mit einer SPS kommuniziert.

7.2.2 Produktstrukturplan

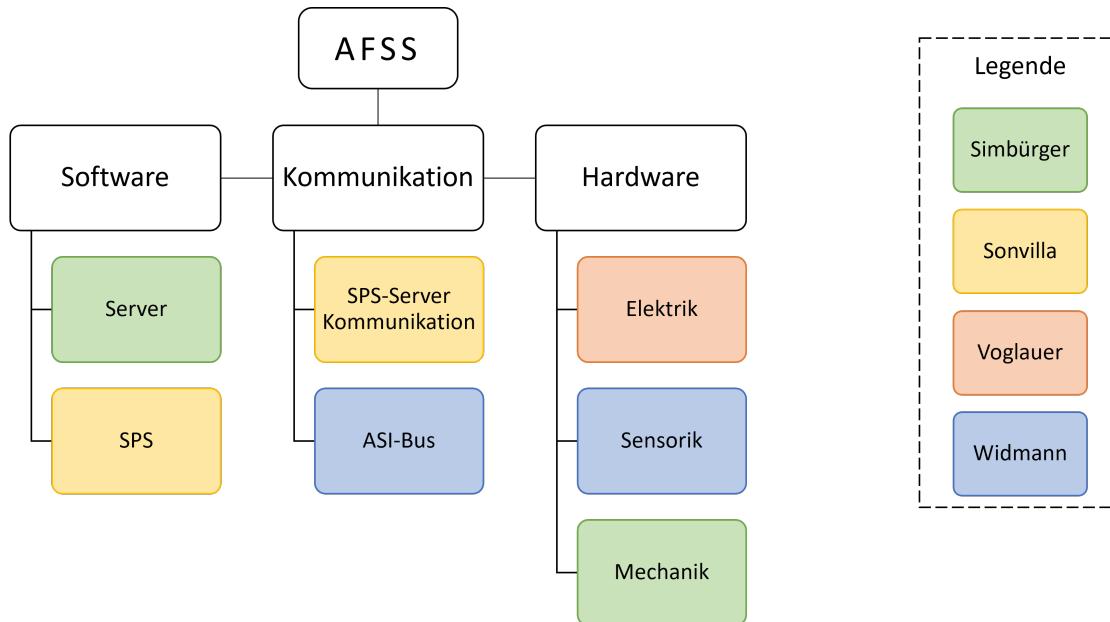


Abbildung 7.3: Produktstrukturplan

7.2.3 Terminplanung

PSP-C	Vorgar.	Vorgangename	Dauer	Anfang	Ende
0	➡	▫ AFSS	462 Tage	Mon 26.06.23	Die 01.04.25
1	➡	Projekt Start	0 Tage	Mon 26.06.23	Mon 26.06.23
2	➡	▷ Projektmanagement	350 Tage	Mon 26.06.23	Fre 25.10.24
3	➡	▫ Mechanik	382 Tage	Fre 01.09.23	Mon 17.02.25
3.1	➡	Konzeptionierung	10 Tage	Fre 01.09.23	Don 14.09.23
3.2	➡	Prototypen planen	100 Tage	Fre 15.09.23	Don 01.02.24
3.3	➡	Prototypen bauen	100 Tage	Fre 29.09.23	Don 15.02.24
3.4	➡	Weiterentwicklung der Einzelkomponenten	100 Tage	Fre 15.09.23	Don 01.02.24
3.5	➡	▷ Endplanung	154 Tage	Fre 02.02.24	Mit 04.09.24
3.6	➡	▷ Montage	95 Tage	Die 08.10.24	Mon 17.02.25
4	➡	▫ Sensoren	254 Tage	Don 29.02.24	Die 18.02.25
4.1	➡	Sensoren auswählen	2 Tage	Don 29.02.24	Fre 01.03.24
4.2	➡	▷ Sensoren auf Funktion testen	180 Tage	Mon 04.03.24	Fre 08.11.24
4.3	➡	▷ Sensoren einbinden	87 Tage	Mon 21.10.24	Die 18.02.25
5	➡	▫ Software	83 Tage	Don 14.03.24	Mon 08.07.24
5.1	➡	▷ Datenbank	3 Tage	Don 14.03.24	Mon 18.03.24
5.2	➡	▷ Server	80 Tage	Die 19.03.24	Mon 08.07.24
6	➡	▫ SPS-Programmierung	255 Tage	Mon 01.01.24	Fre 20.12.24
6.1	➡	▷ Motoren	10 Tage	Mon 01.01.24	Fre 12.01.24
6.2	➡	▷ SPS-Server_Kommunikation	210 Tage	Mon 04.03.24	Fre 20.12.24
7	➡	▫ Elektrik	126 Tage	Mon 26.08.24	Mon 17.02.25
7.1	➡	▷ E-Plan	55 Tage	Die 01.10.24	Mon 16.12.24
7.2	➡	▷ Förderband	1 Tag	Mon 14.10.24	Mon 14.10.24
7.3	➡	▷ Schaktschrank	126 Tage	Mon 26.08.24	Mon 17.02.25
8	➡	▷ Inbetriebnahme	48 Tage	Mon 23.12.24	Mit 26.02.25
9	➡	Diplomarbeit schreiben	25 Tage	Mit 26.02.25	Die 01.04.25
10	➡	Projekt Ende	0 Tage	Die 01.04.25	Die 01.04.25

Abbildung 7.4: Terminplanung in MS Project

7.2.4 Arbeitspakete

Maschinenbau (Simbürger)

- Konzeptionierung des Gesamtsystem
- CAD - Planung
- Komponentenfertigung
- Aufbau

Softwareentwicklung (Simbürger)

- Benutzeroberfläche
- Warehouse Management System
- Datenbanken

Integration und Programmierung der Steuerungstechnik (Vincent Sonvilla)

- Ansteuerung der Schrittmotoren für X,Y,Z -Achse und des Querförderers
- Ansteuerung der Asynchronmaschine des Förderbands
- Synchronisation der Motoren
- Kommunikation zwischen SPS und Server
- Datenverarbeitung

Elektrische Planung und Realisierung (Voglauer)

- Dokumentation vorhandener Geräte und Abmessungen dieser sowie vom Serverschrank
- Zeichnen des Serverschrances in Fusion 360
- Zeichnen der Module in Fusion 360
- Zeichnen des Schaltplanes in E-Plan
- Zeichnen von Topologien und Übersichten in E-Plan
- Herstellung von Modulen
- Umbauten am Serverschrank
- Verdrahtung des Schaltschrances

Sensorik (Widmann)

- Auswahl der Sensoren
- Referenzplatine
- Funktionsprüfungen und Messungen
- AS-Interface

Sicherheitstechnik (Widmann)

- Entwicklung eines Sicherheitskonzepts
- Realisierung

7.3 Inbetriebnahme

7.3.1 Server

Der Server kann auf zwei unterschiedliche Arten in Betrieb genommen werden.

Entwicklungsmodus

Um beim Entwickeln einen angenehmeren Prozessablauf zu ermöglichen, kann der Server klassisch durch Starten des Programms mit Python ausgeführt werden. Hierzu sollte zuerst eine neue virtuelle Python-Umgebung aufgesetzt und die Pakete aus der Datei requirements.txt geladen werden. Alternativ kann die beim Entwickeln verwendete virtuelle Umgebung im .conda-Ordner genutzt werden.

Nach Aktivierung der virtuellen Umgebung kann der Server durch Ausführen des Befehls

```
python __init__.py
```

im Ordner Prototyp_2 gestartet werden. Im Terminal erscheinen dann die Logs des Einschaltvorgangs, einschließlich der IP-Adresse und des Ports, auf dem der Server läuft. Jedoch muss die Datenbank, um eine Verbindung herstellen zu können, separat gestartet werden. Die Verbindungsdaten für die Datenbank sowie viele weitere Konfigurationen können in der Datei config.py angepasst werden.

Docker

Für einen Serverbetrieb in einer Produktionsumgebung besteht die Möglichkeit, den Server über einen Docker-Container zu starten. Nach der Installation von Docker muss im übergeordneten Ordner von Prototyp_2, in dem sich die Datei docker-compose.yml befindet, folgender Befehl ausgeführt werden:

```
docker compose -f 'docker-compose.yml' up -d --build
```

Dadurch wird ein Container erstellt, der anschließend entweder in Docker-Desktop oder über die Kommandozeile gestartet werden kann. Da die Datenbank beim ersten Start auf einer Fremdmaschine noch kein Setup durchlaufen hat, ist es ratsam, sie mit einer Sicherungsdatei aus dem Ordner DB_export aufzusetzen. Danach bleiben die Daten auch nach dem Abschalten des Containers erhalten.

Die Rust Bibliothek wird hierbei über Pip eingebunden. Diese wurde zuvor als Bibliothek dort angelegt und kann als solche wie alle anderen auch einfach eingebunden werden.

7.3.2 Schaltschrank

Der Schaltschrank ist möglichst benutzerfreundlich. Zum Inbetriebnehmen ist eine Starkstromleitung an den dafür vorgesehenen Klemmen zu legen. Ist dies gegeben muss der

Dreh-Trennschalter nun geschalten werden und die Anlage wird versorgt. Um die Anlage freizugeben ist der Schlüsselschalter zu betätigen.

Beim Inbetriebnehmen ist zu beachten, dass keine Warnleuchten an den elektrischen Komponenten leuchten und es ist auf untypische Geräusche oder Gerüche zu achten. Bei etwaigen Auffälligkeiten ist die Anlage sofort mit dem Trennschalter freizuschalten und daraufhin soll die Quelle der Auffälligkeit gefunden werden und, wenn vorhanden, der Fehler behoben werden.

Zur Inbetriebnahme gehört auch, dass der FI und der Leitungsschutzschalter einmal getestet beziehungsweise geschalten werden um die Funktion zu testen.

7.4 Kostenaufstellung des AFSS

Da die Käufe der Komponenten, von der Schule oder von den Sponsoren, überwiegend vor langer Zeit getätigt. Daher sind spezifische Kaufdaten nicht bekannt, die folgenden Daten schätzen somit den aktuellen Preis der Komponenten ab.

HTL-Mössingerstraße - Schaltschrankbau

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
Trennschalter	-	1	143.00	143.00
Schlüsselschalter	-	1	4.99	4.99
Not-Aus-Schalter	-	4	12.65	50.60
Motorschutzschalter	-	1	55.45	55.45
FI Typ A	-	1	221.20	221.20
LS C13	-	1	25.00	25.00
ASI-Slaves	3RK2200-0CE02-0AA2	7	146.01	1022.07
ET 200 SP	6ES7155-6AU01-0CN0	1	300.00	300.00
Bus-Karte	6ES7193-6AR00-0AA0	1	106.67	106.67
ASI-Master-Karte	3RK7137-6SA00-0BC1	1	673.04	673.04
ASI-Steckadapter	6ES7193-6BP20-0DC0	1	70.00	70.00
Asynchronmotor	-	1	200.00	200.00
SM-Treiber	CL57T(V4.0)	4	36.39	145.56
SM-Treiber	TB6560	3	17.99	53.97
Schrittmotor	23E1K-20	4	38.77	155.08
Schrittmotor	17HS4417P1-X4	3	8.99	26.97
Gesamt				3251.00

Gesponsort von der KNAPP AG

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
ASi-Netzteil	TSX-SUP-A054	1	250.00	250.00
Netzteil	6EP1436-3BA00-8AA0	1	350.00	350.00
Netzteil	DP500IP/3-24	1	301.68	301.68
Netzteil	DRT-240-24	1	97.46	97.46
SPS	6ES7515-2AN03-0AB0	1	3195.40	3195.40
SPS-DI-Karte	6ES7521-1BL00-0AB0	1	332.10	332.10
SPS-PTO-Karte	6ES7553-1AA00-0AB0	2	825.86	1651.72
SPS-DO-Karte	6ES7522-1BL01-0AB0	1	560.49	560.49
Gesamt				5912.99

Gesponsort von der Weidmüller GmbH

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
Feed-In-Module	2081870000	2	8.41	16.82
Service-Schnittstelle	IE-FC-SET-SPDEK001-KY-P	1	144.93	144.93
8A DC Sicherung	2080600000	4	37.26	149.04
2A DC Sicherung	2080480000	2	37.18	74.36
Reihenklemme	AL2C 2.5	100	0.64	64.00
Gesamt				449.15

Gesponsort von der Lapp GmbH

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
Subbusverteilung	ÖLFLEX CLASSIC FD 810 CY 5x0.5	30m	3.92	117.63
Motorkabel	ÖLFLEX CLASSIC FD 810 CY 5x0.75	40m	4.36	174.41
Geberkabel	ÖLFLEX CHAIN 809 CY 7x0.5	40m	3.77	150.95
Verdrahtungsdrat	H05V-K 1x0.75	100m	0.19	18.86
Verdrahtungsdrat	H05V-K 1x0.75	100m	0.19	18.86
Verdrahtungsdrat	H05V-K 1x0.75	100m	0.19	18.86
Gesamt				496.57

Gesamtwert der elektrischen Komponenten

Alle bisher gelisteten Komponenten gemeinsam verfügen über einen Geschätzten Wert von 10 109,71 €.

Zuzüglich des Serverschrankes und den Materialkosten der Montageplatten beträgt der gesammte Schätzwert für den Schaltschrank zwischen 12 000 und 14,500€.

HTL-Mössingerstraße - Maschinenbau

Name	Anzahl	pro Stück / m [€]	Preis in Euro [€]
Item BR 8 40x40	36 m	29.16	1049.76
Item BR 5 20x20	2 m	13.06	26.12
V-Slot C-Profile 1.5m	6	52.8	316.8
Item Verbinder	48	2.02	96.96
Schrauben	370	0.18	66.6
Nutenstein	200	0.2	40
Sonstige Kleinteile	50	0.4	20
Aluminium Platte 5mm	0.8x0.8m	30	30
Acryl Platten (3, 4, 5mm)	0.4x0.8m	50	50
Gesamt			1696.24

Gesponsort von der Igus GmbH

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
Schlepkette X	E2i.26.057.048.0	1	72.72	72.72
Schlepkette Y	E2i.26.038.048.0	1	49.74	49.74
Gewindespindel	DST-LS-10X12-R-ES	2 x 350mm	35.15	70.3
Gewindemutter	DST-JFRM-252525DS10X12	2	26.33	52.66
Führungsschiene	TS-01-20	2 x 350mm	16.685	33.37
Führungswagen	TW-01-20	2	35.1	70.2
Gesamt				348.99

Gesponsort von der Mädler GmbH

Name	Artikelnummer	Menge	pro Stück [€]	Preis [€]
Zahnscheibe AT5x16 20 Zähne	16632000	2	7.58	15.16
Zahnscheibe AT5x16 27 Zähne	16632700	2	8.7	17.4
Zahnscheibe AT5x16 36 Zähne	16633600	2	12.58	25.16
Zahnriemen AT5x16	16670000	21	16.44	345.24
Gesamt				402.96

Gesamtkosten

Name	Summe in Euro [€]
HTL - Elektrik	3251
KNAPP AG	5913
Weidmüller GmbH	449.15
Lapp GmbH	496.57
HTL - Maschinenbau	1696.24
Igus GmbH	349
Mädler GmbH	402.69
Gesamt	12557.65

7.5 Besprechungsprotokolle

AN	ERGEBNISPROTOKOLL ZUR BESPRECHUNG		Eingangs- vermerke
	Veranstalter Automated Factory Storage System	Protokollführer Benedikt Simbürger	
Teilnehmer und Unterrichtete 13.9.2024 am Tag, Datum	Projektbetreuer Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Erstellungsdatum: 2024-09-18 Ort/Raum HTL-Mössingerstraße	

Thema:
Projektstartgespräch

Projektname: Automated Factory Storage System

Teilnehmer (alphabetisch)	Unterrichtete (alphabetisch)
Name	Klasse, Standort
Hr. Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Klagenfurt
Hr. Benedikt Simbürger	5AHET, Klagenfurt
Hr. Vincent Sonvilla	5AHET, Klagenfurt
Fr. Elena Widmann	5AHET, Klagenfurt
Hr. Nikolaj Voglauer	5AHET, Klagenfurt

Inhalte der I.Iteration:	Erledigung von, Termin
<ul style="list-style-type: none"> Besprechung der Projektidee Zeitplanung Blockschatzbild + Projektstrukturplan abgesegnet Sponsoring Projektfortschritt besprochen 	
Projektstatus:	
<ul style="list-style-type: none"> Teilaufgabenstellungen eingeteilt Lasten/Pflichtenheft fertiggestellt Mechanik konstruiert Kommunikationsmethode ausgewählt 	

Weitere Schritte:

- Schalschrank planen
- Motoren ansteuern
- Sensoren testen

Datum 13.9.2024 gez. Benedikt Simbürger

Abbildung 7.5: Besprechungsprotokoll 10.12.2024



HTL | MÖSSINGERSTRASSE

AN	ERGEBNISPROTOKOLL ZUR BESPRECHUNG		Eingangs- vermerke
	Veranstalter	Automated Factory Storage System	
Teilnehmer und Unterrichtete	Protokollführer	Benedikt Simbürger	
18.10.2024	Projektbetreuer	Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Erstellungsdatum: 2024-10-16
am Tag, Datum	Ort/Raum HTL-Mössingerstraße		

Thema:
Projektstatusgespräch

Projektname: Automated Factory Storage System

Teilnehmer (alphabetisch)	Unterrichtete (alphabetisch)
Name	Klasse, Standort
Hr. Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Klagenfurt
Hr. Benedikt Simbürger	5AHET, Klagenfurt
Hr. Vincent Sonvilla	5AHET, Klagenfurt
Fr. Elena Widmann	5AHET, Klagenfurt
Hr. Nikolaj Voglauer	5AHET, Klagenfurt

Inhalte der II.Iteration: <ul style="list-style-type: none"> Wettbewerbe Projektfortschritt Projektstatus: <ul style="list-style-type: none"> Realisierung der Rahmenmontage Zeitplan erstellt Sponsorenstatus: <table> <tr> <td>-Igus:</td> <td>Komponenten unterwegs</td> </tr> <tr> <td>-Weidmüller:</td> <td>Materialzusage</td> </tr> <tr> <td>-Lapp:</td> <td>in Besprechung</td> </tr> </table> Umsetzung der E-Planung Weitere Schritte: <ul style="list-style-type: none"> X-Achse fertigstellen Z-Achse umzeichnen BarcodeScanner testen Referenziertasterplatine testen E-Plan zeichnen 	-Igus:	Komponenten unterwegs	-Weidmüller:	Materialzusage	-Lapp:	in Besprechung	Erledigung von, Termin
-Igus:	Komponenten unterwegs						
-Weidmüller:	Materialzusage						
-Lapp:	in Besprechung						

Datum 18.10.2024 gez. Benedikt Simbürger
HTL Mössingerstraße
Projektbesprechung_1.docx

Seite 1 von 1
V01

Abbildung 7.6: Besprechungsprotokoll 16.10.2024



HTL | MÖSSINGERSTRASSE

AN	ERGEBNISPROTOKOLL ZUR BESPRECHUNG		Eingangs- vermerke
	Veranstalter	Automated Factory Storage System	
Teilnehmer und Unterrichtete	Protokollführer	Benedikt Simbürger	
31.01.2025 am Tag, Datum	Projektbetreuer	Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Erstellungsdatum: 2024-12-10 Ort/Raum
			HTL-Mössingerstraße

Thema:
Projektstatusgespräch

Projektname: Automated Factory Storage System

Teilnehmer (alphabetisch)	Unterrichtete (alphabetisch)
Name	Klasse, Standort
Hr. Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Klagenfurt
Hr. Benedikt Simbürger	5AHET, Klagenfurt
Hr. Vincent Sonvilla	5AHET, Klagenfurt
Fr. Elena Widmann	5AHET, Klagenfurt
Hr. Nikolaj Voglauer	5AHET, Klagenfurt

Inhalte der III.Iteration: <ul style="list-style-type: none"> SPS-Programmierung Schaltschrankplanung Projektfortschritt Website 	Erledigung von, Termin
Projektstatus: <ul style="list-style-type: none"> Zeitplan erweitert Motoransteuerung: Knapp um PTO-Module angefragt ASI-Einbindung Mechanik: <ul style="list-style-type: none"> X-Achse Shuttle umkonstruiert Z-Achse umkonstruiert Platine fertig gestellt Anmeldung für Bosch Innovationspreis E-Plan: 1.Version Fertigstellung 	
Weitere Schritte: <ul style="list-style-type: none"> E-Plan vervollständigen ASI-Einbindung testen WMS fertig stellen 	

Datum 31.01.2024 gez. Benedikt Simbürger

Abbildung 7.7: Besprechungsprotokoll 10.12.2024



HTL | MÖSSINGERSTRASSE

AN	ERGEBNISPROTOKOLL ZUR BESPRECHUNG		Eingangs- vermerke
	Veranstalter	Automated Factory Storage System	
Teilnehmer und Unterrichtete	Protokollführer	Benedikt Simbürger	
14.3.2025 am Tag, Datum	Projektbetreuer	Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Erstellungsdatum: 2025-3-11 Ort/Raum HTL-Mössingerstraße

Thema:
Projektstatusgespräch

Projektname: Automated Factory Storage System

Teilnehmer (alphabetisch)	Unterrichtete (alphabetisch)
Name	Klasse, Standort
Hr. Dipl.-Ing. Christian Sallinger	Klagenfurt
Hr. Benedikt Simbürger	5AHET, Klagenfurt
Hr. Vincent Sonvilla	5AHET, Klagenfurt
Fr. Elena Widmann	5AHET, Klagenfurt
Hr. Nikolaj Voglauer	5AHET, Klagenfurt

Inhalte der IV. Iteration:

- Status Verkabelung
- Projektfortschritt
- Besprechung wegen Übergabe des Projektes
- Diplomarbeit

Projektstatus:

- WMS fertig
- SPS-Programm in Fertigstellung
- E-Plan überarbeitete Version
- ASI-Einbindung
- Schaltschrankmodule fertig

Weitere Schritte:

- Diplomarbeit fertig schreiben
- Übergabe des Projekts vorbereiten
- Verkabelung fertigstellen
- Synchronisation der Schrittmotoren austesten

Erledigung von, Termin

Datum 14.03.2025 gez. Benedikt Simbürger

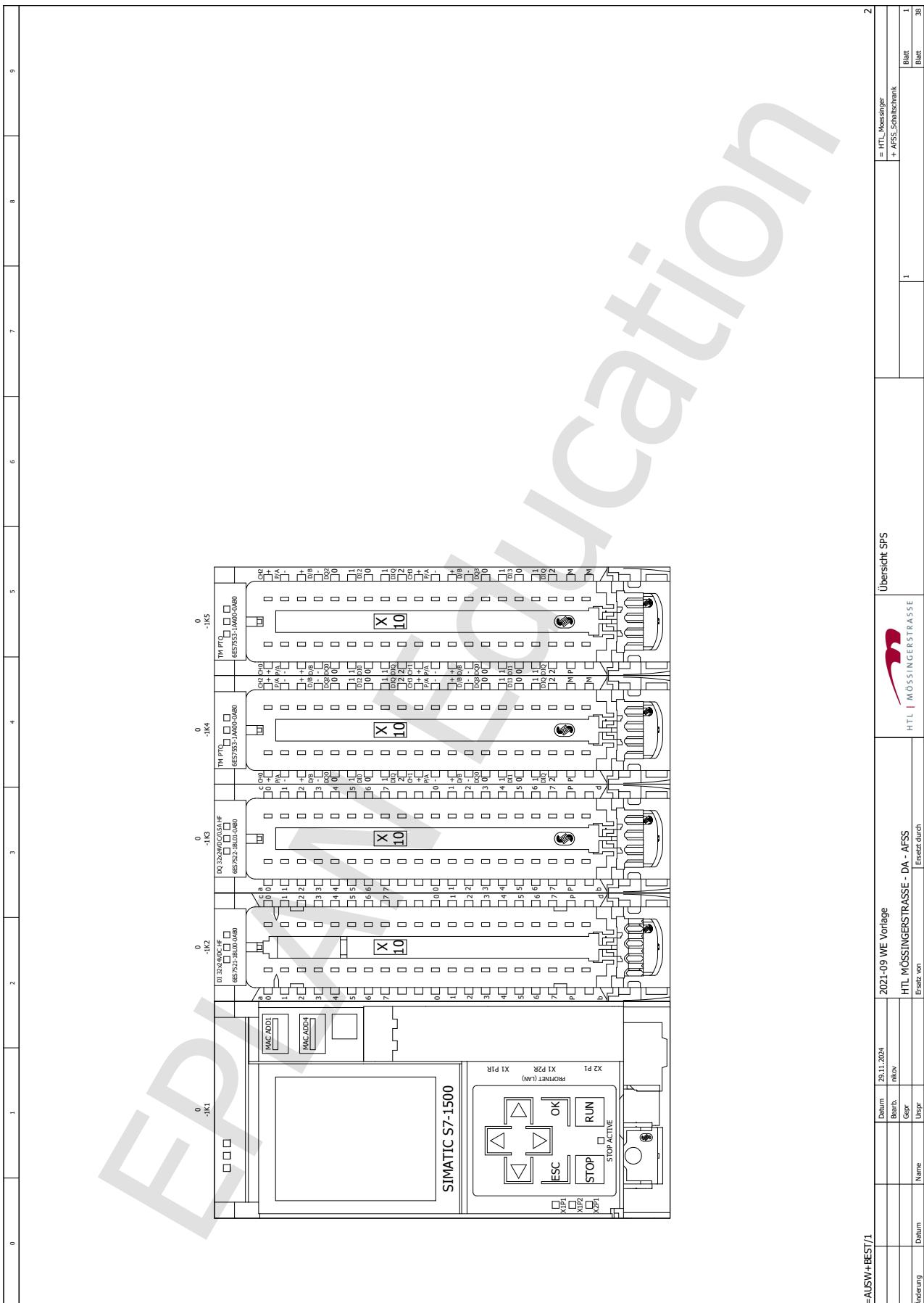
Abbildung 7.8: Besprechungsprotokoll 14.3.2025

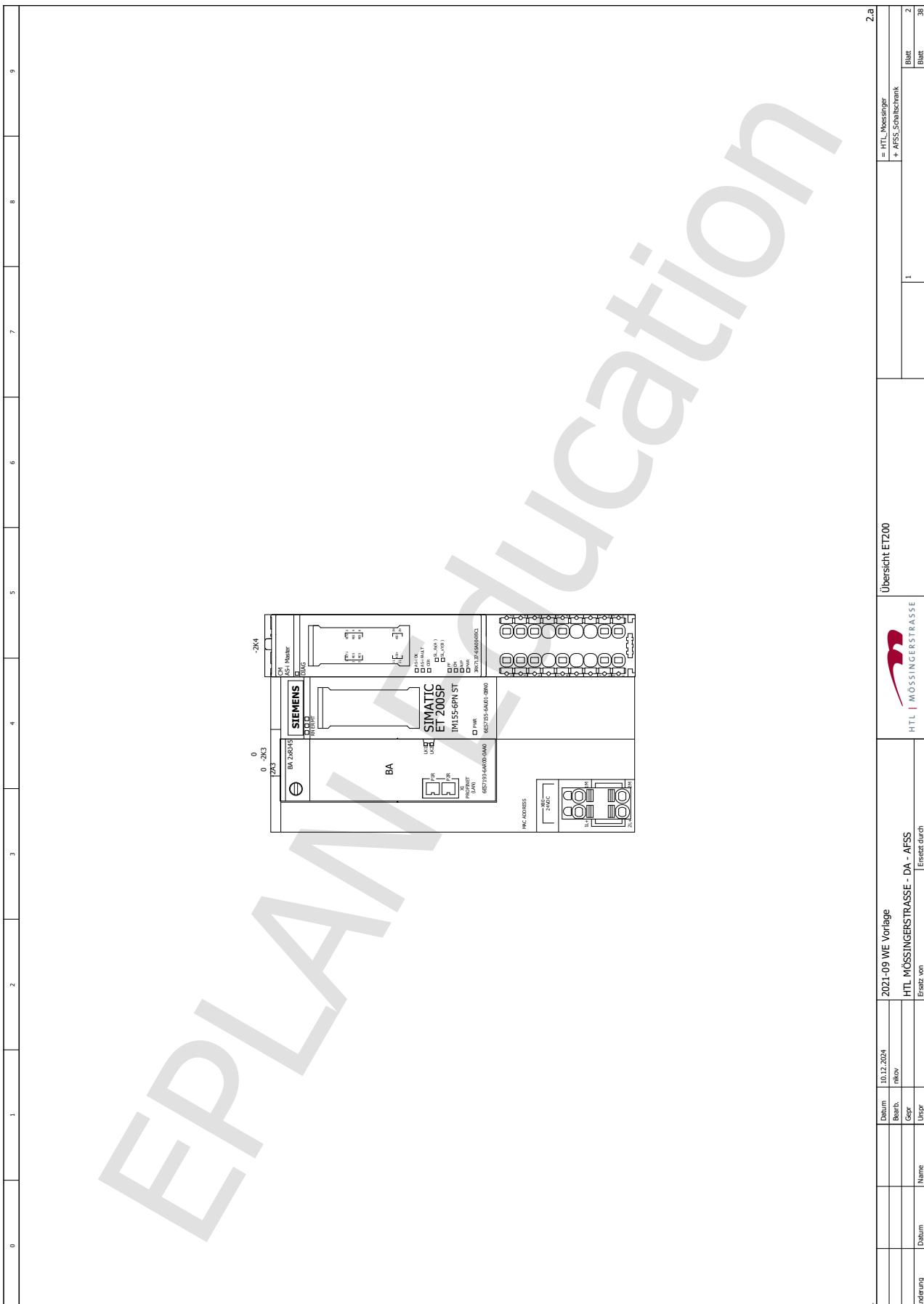
7.6 E-Plan

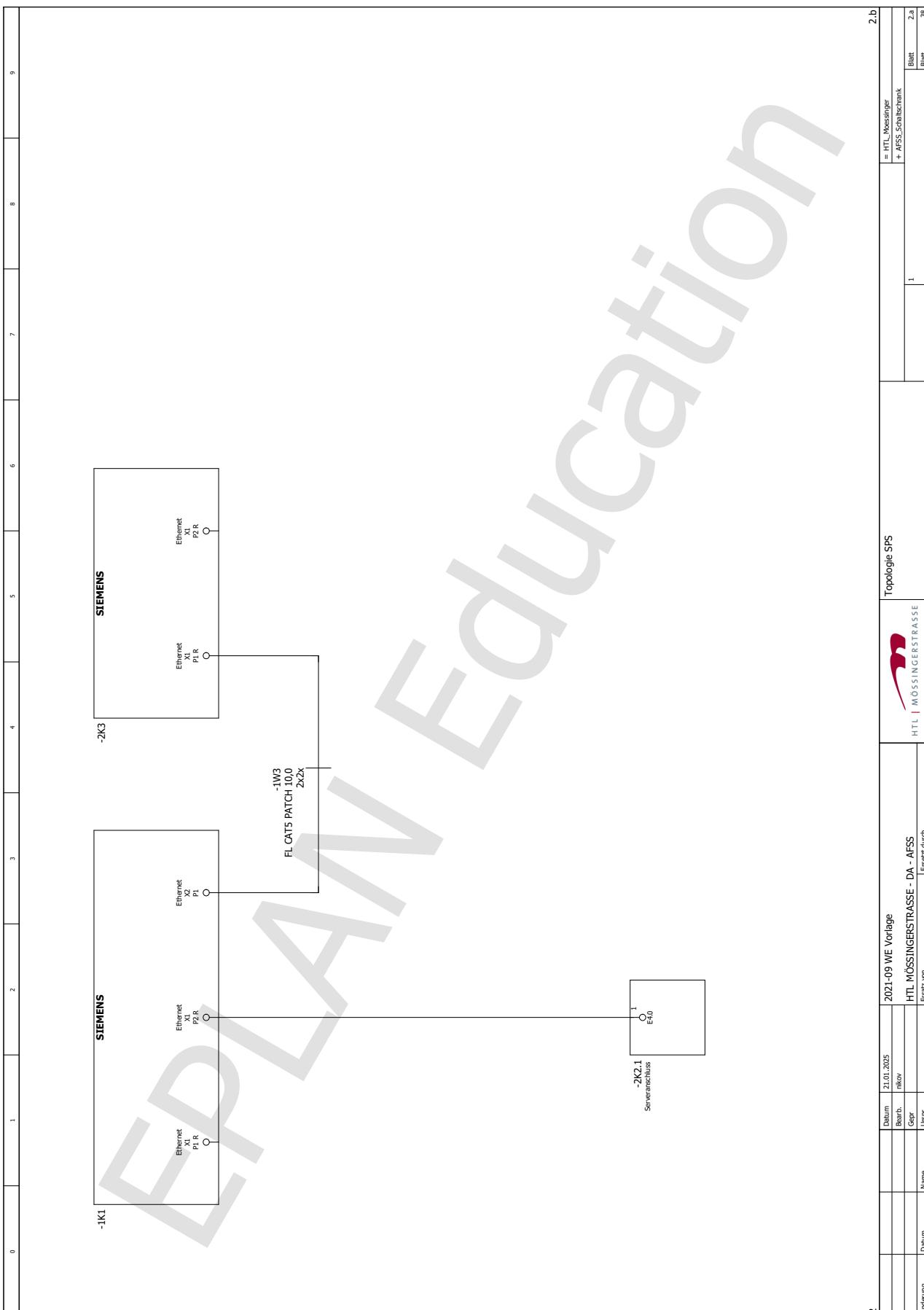
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HTL Mössingerstraße									
HTL Mössingerstraße									
Mössingerstraße 25 9020 Klagenfurt									
http://www.htl-klu.at									
m: office@htl-klu.at									

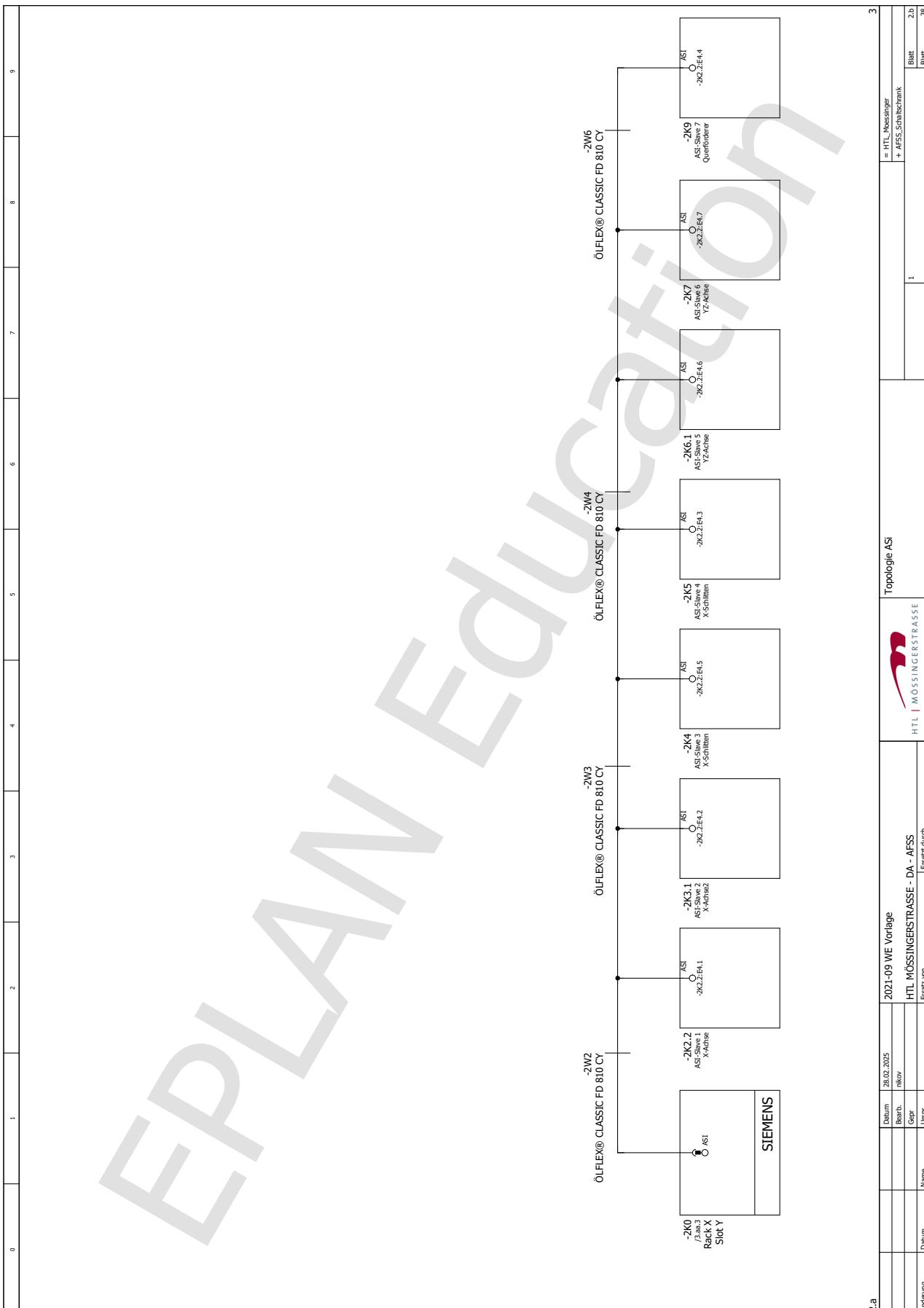
Schule	HTL MÖSSINGERSTRASSE - DA - AFSS
Projektbeschreibung	1
Zeichnungsnr.	2021-09 WE Vorlage
Kommission	
Projektverantwortlicher	Voglauer
Schuljahr	2024
Projektname	AFSS-DA-Moessingerstraße
Klasse	5Ahet
E-Mail des letzten Bearbeiters:	
Erstellt am	22.09.2024
Bearbeitet am	02.04.2025
Projektvorlage von (Kürzel)	nikov
Anzahl der Seiten	38
2022-09-HU Basisprojekt (1) zw9	

Anforderung	Datum	Name	Bearb. Setup Graf. Usrpr	Titel / Deckblatt	=	
					+	
					Blatt	1
					Blatt	1

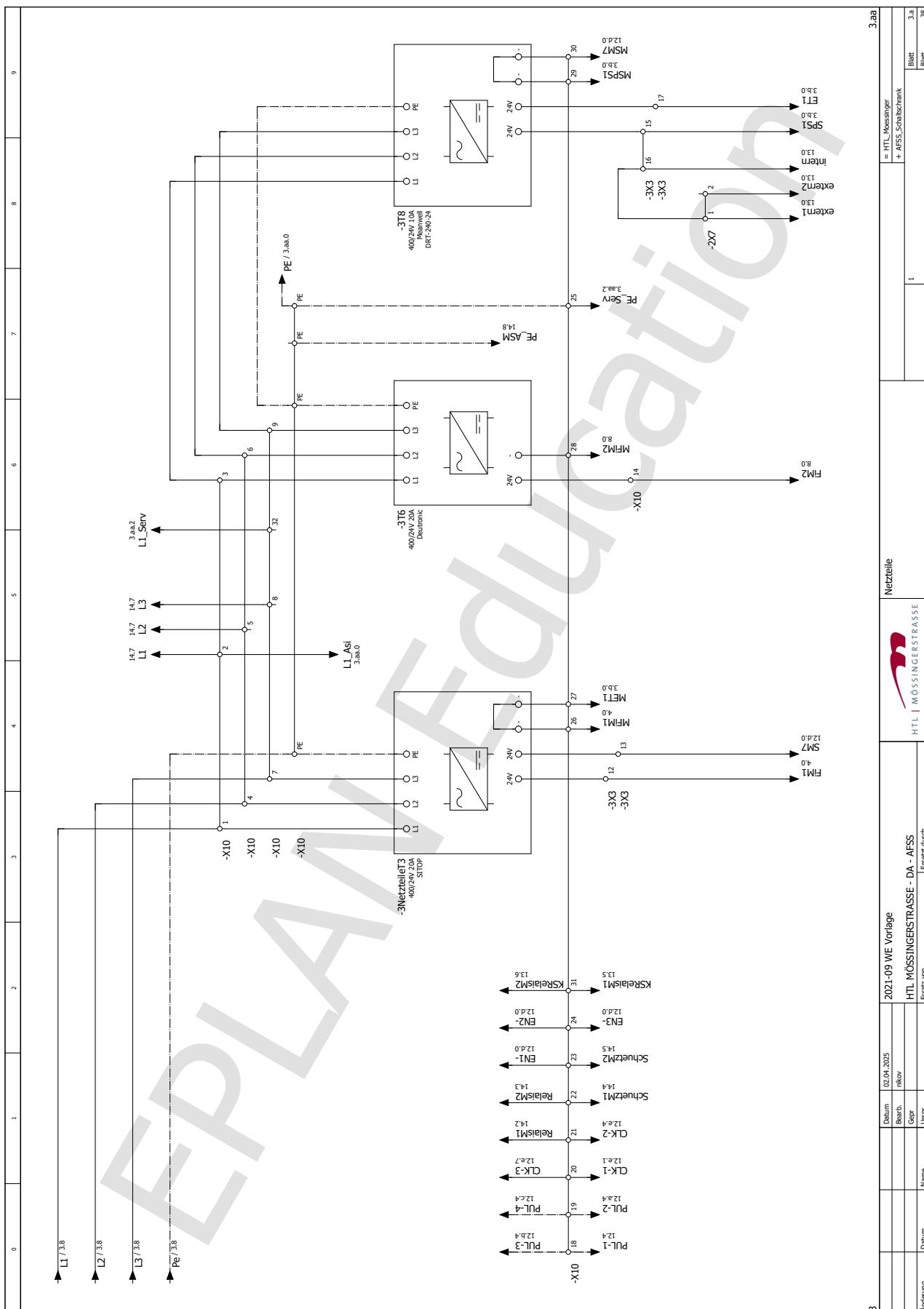


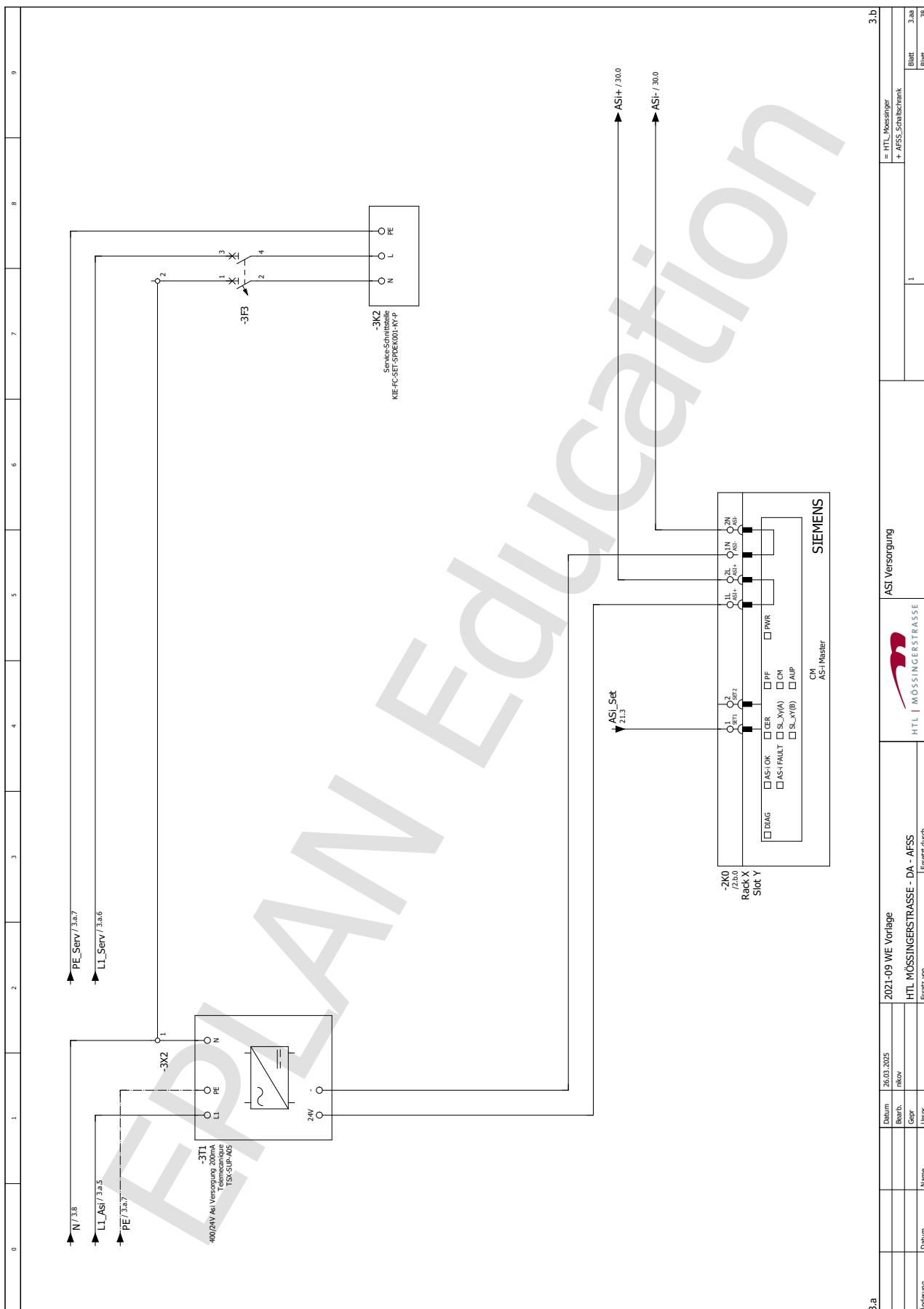


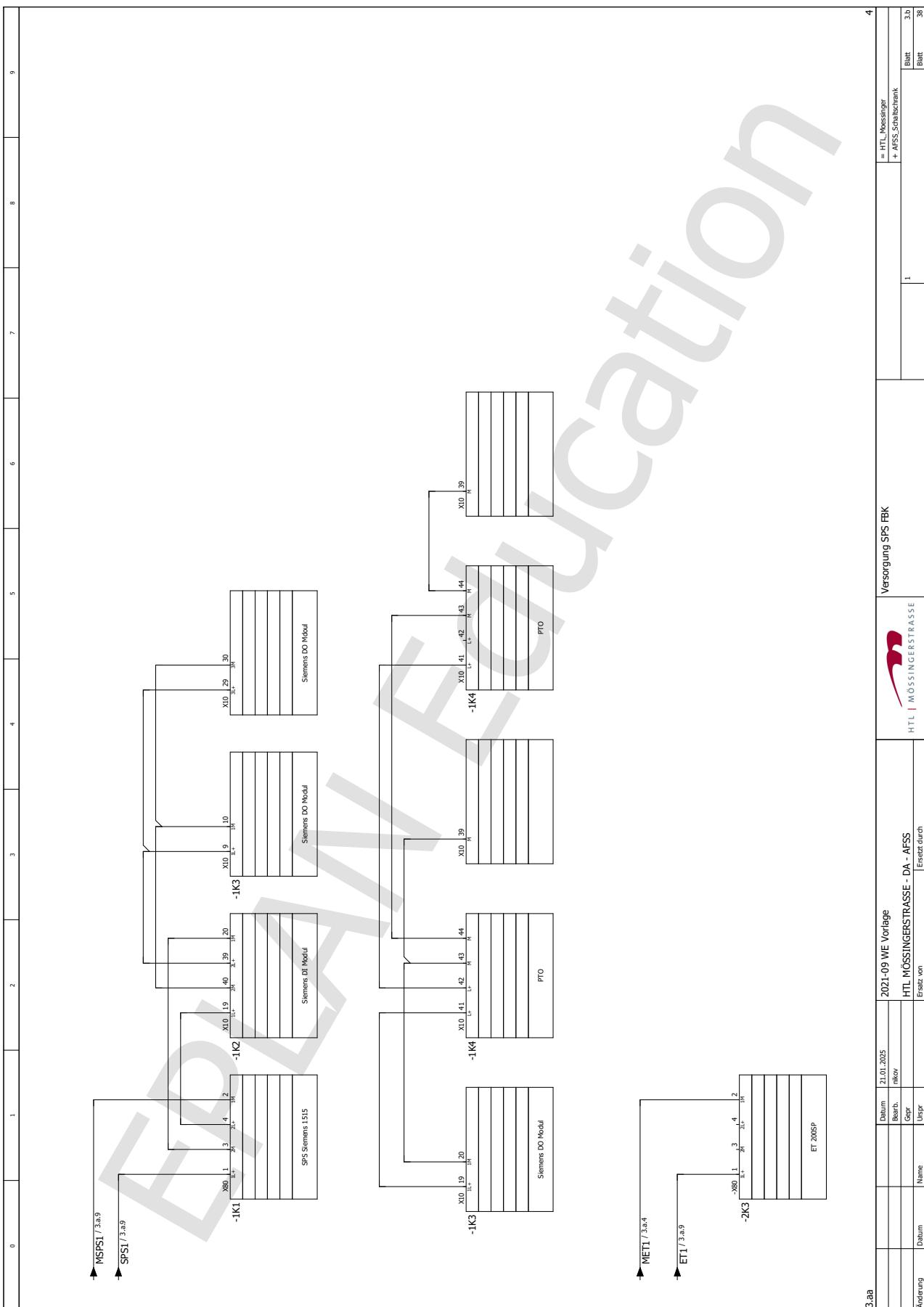


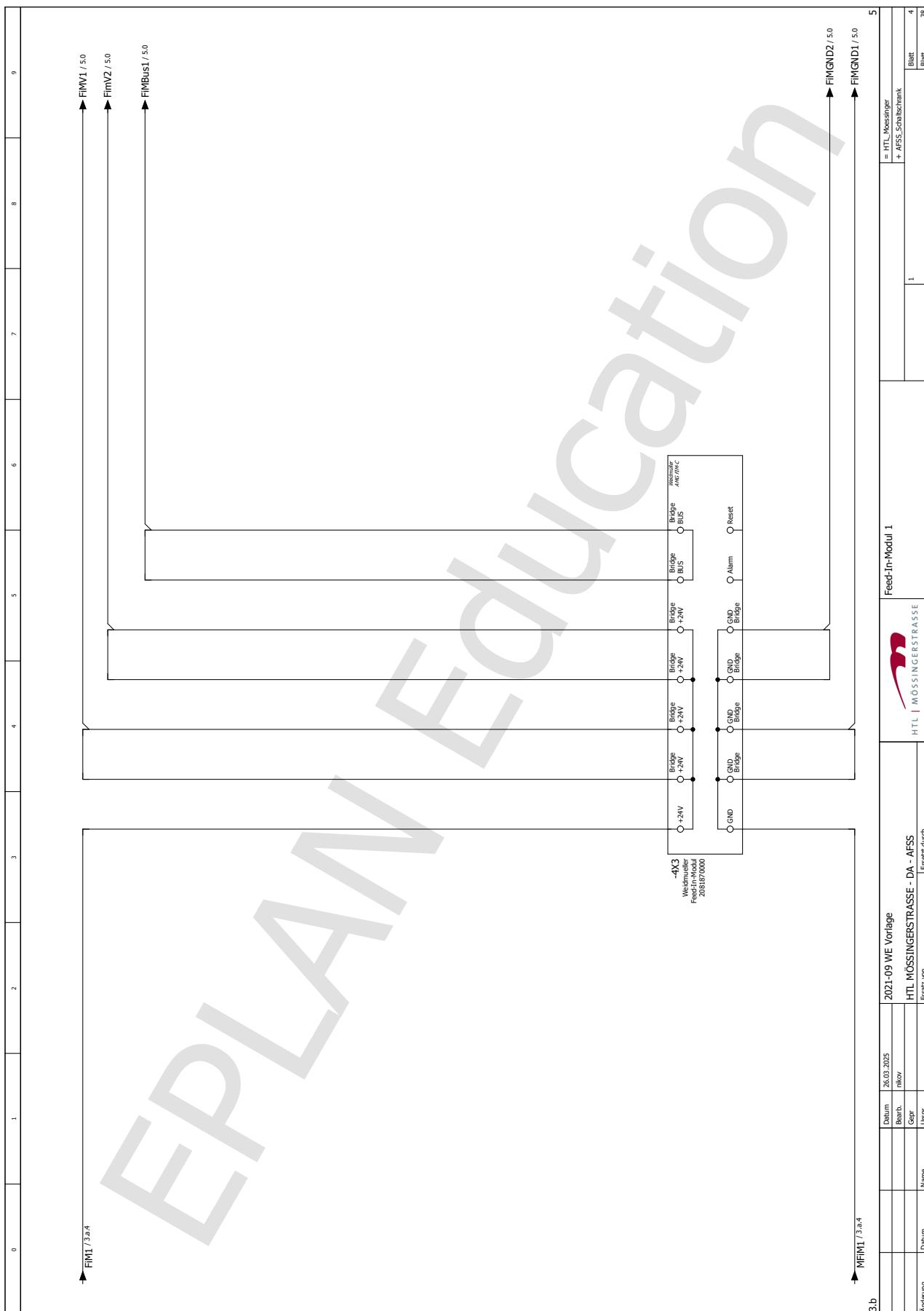


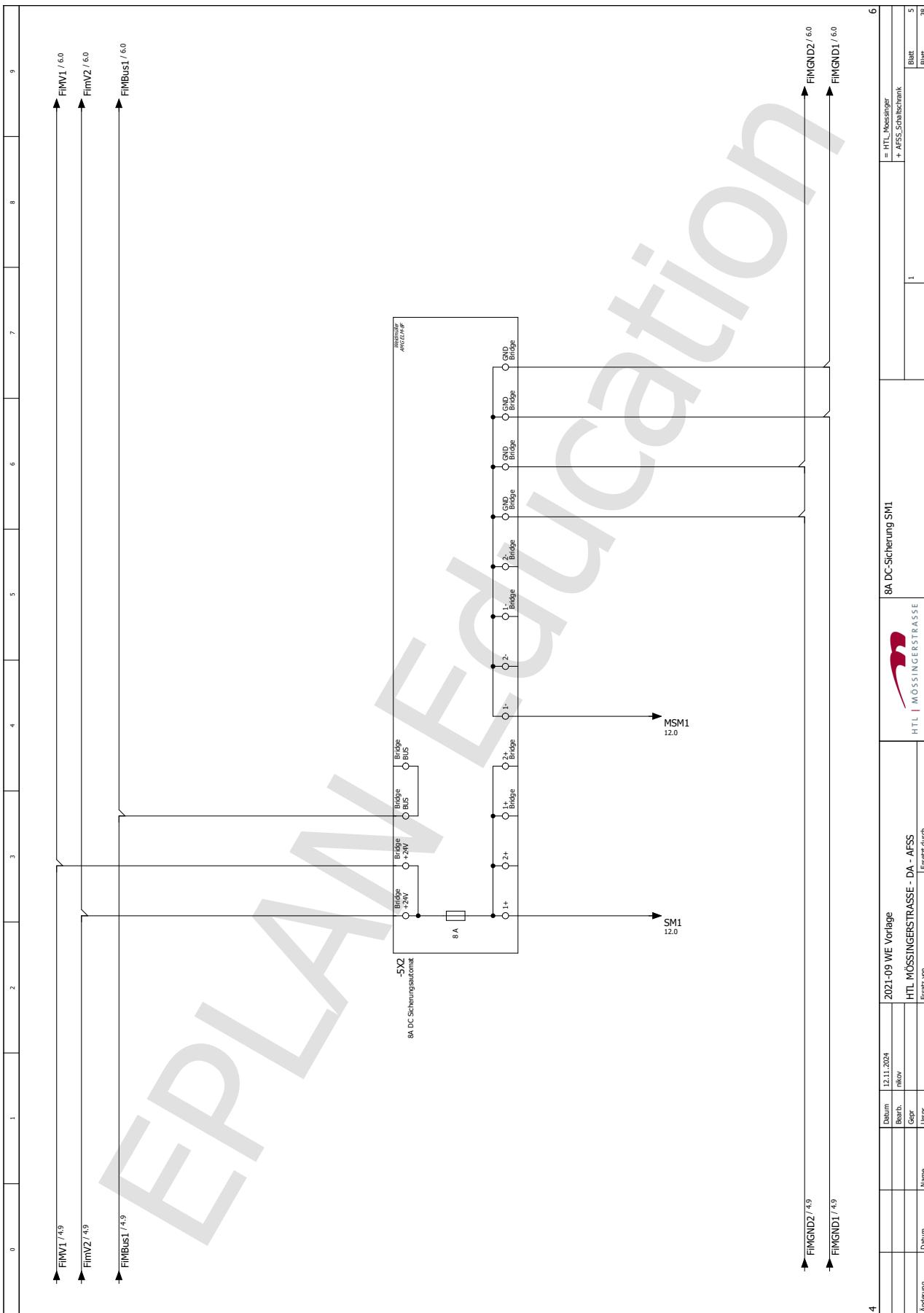


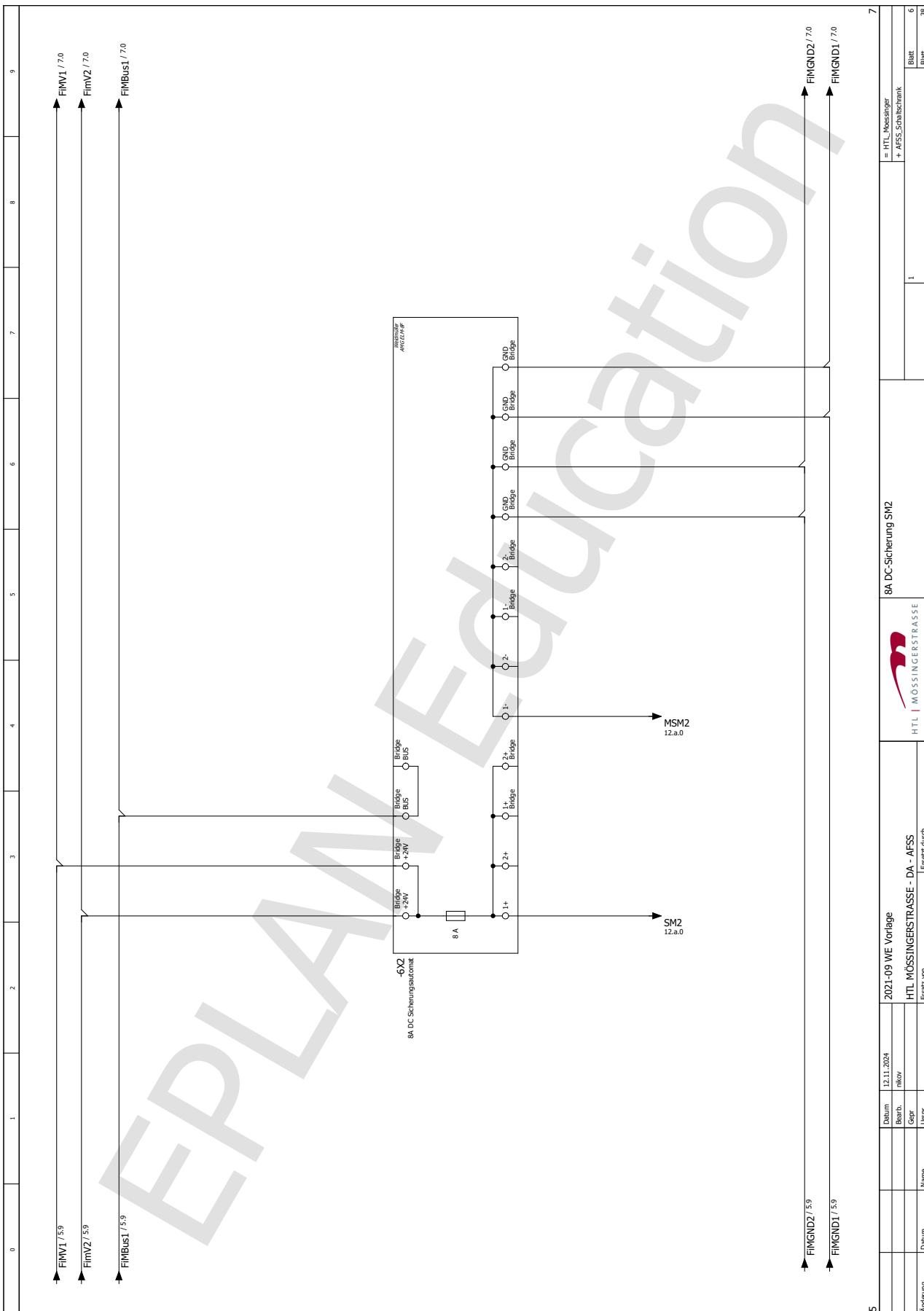


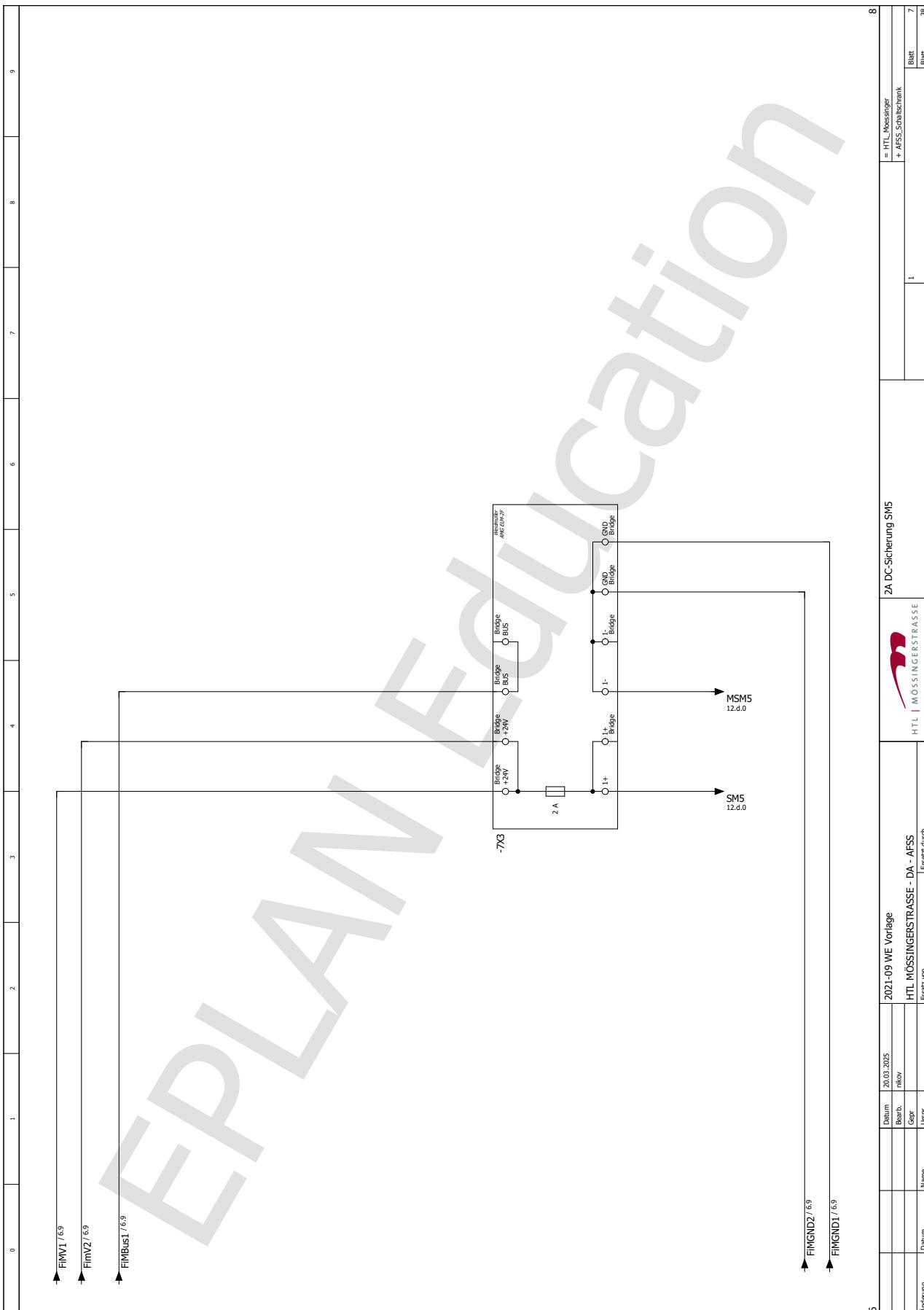


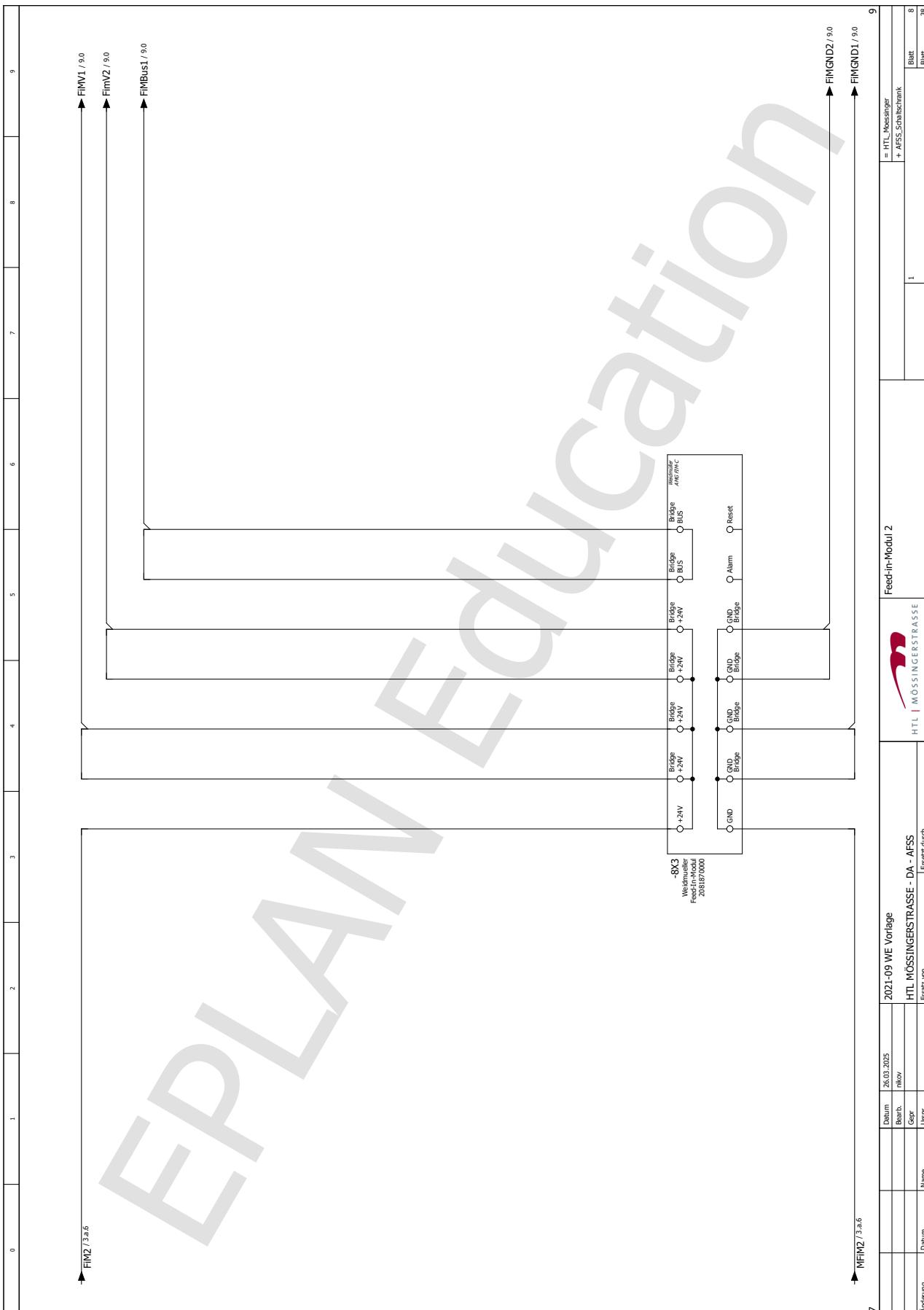


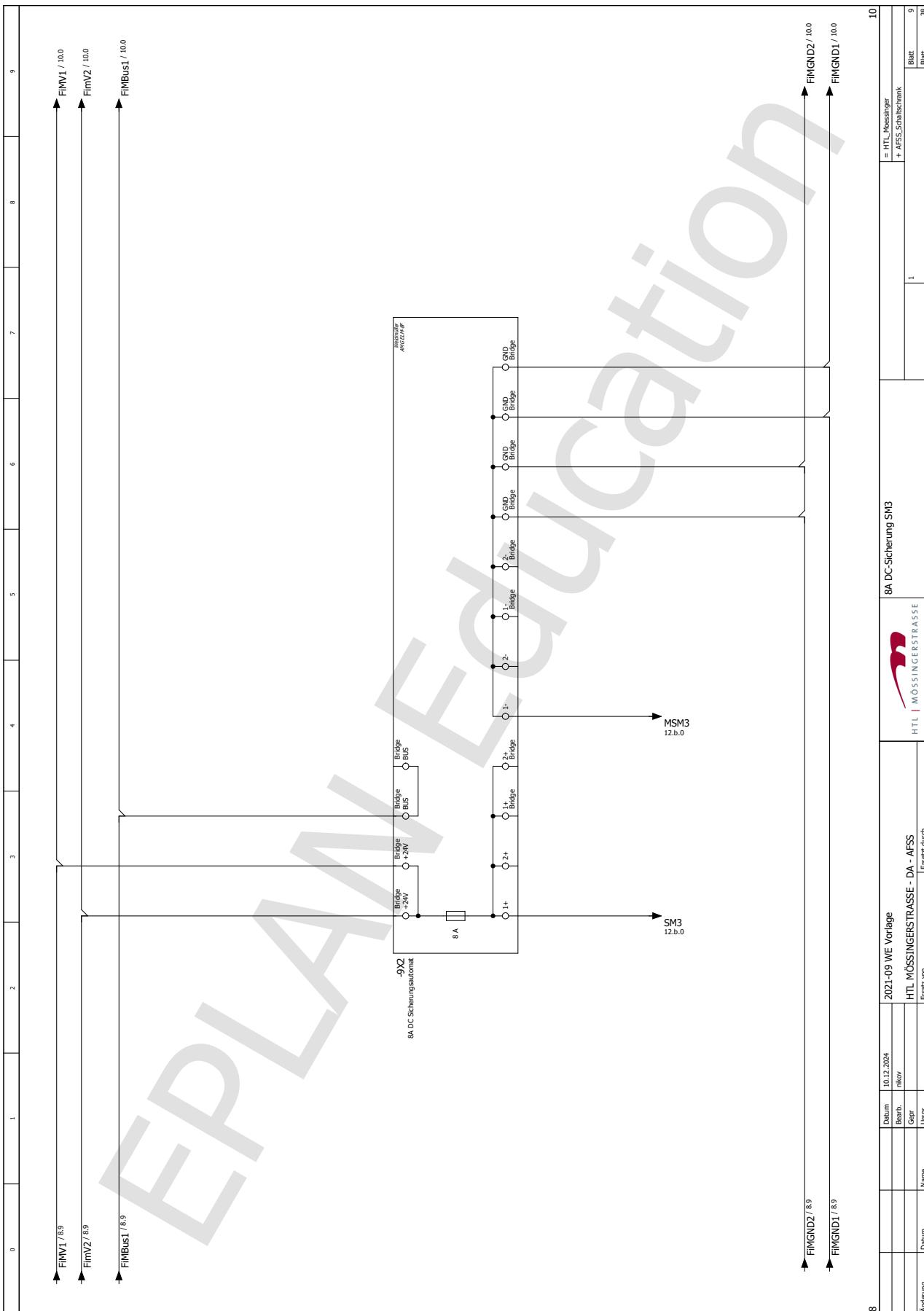


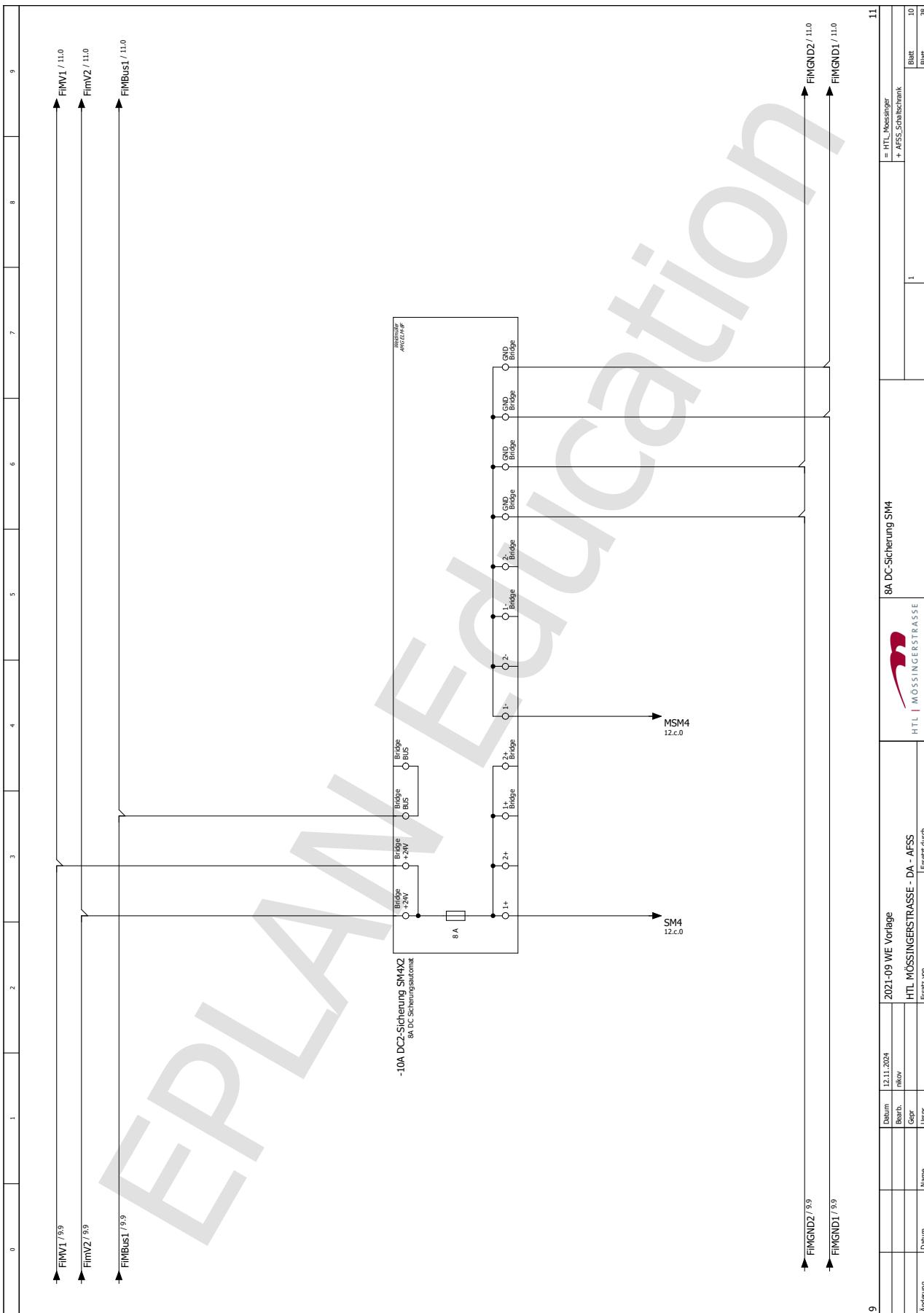


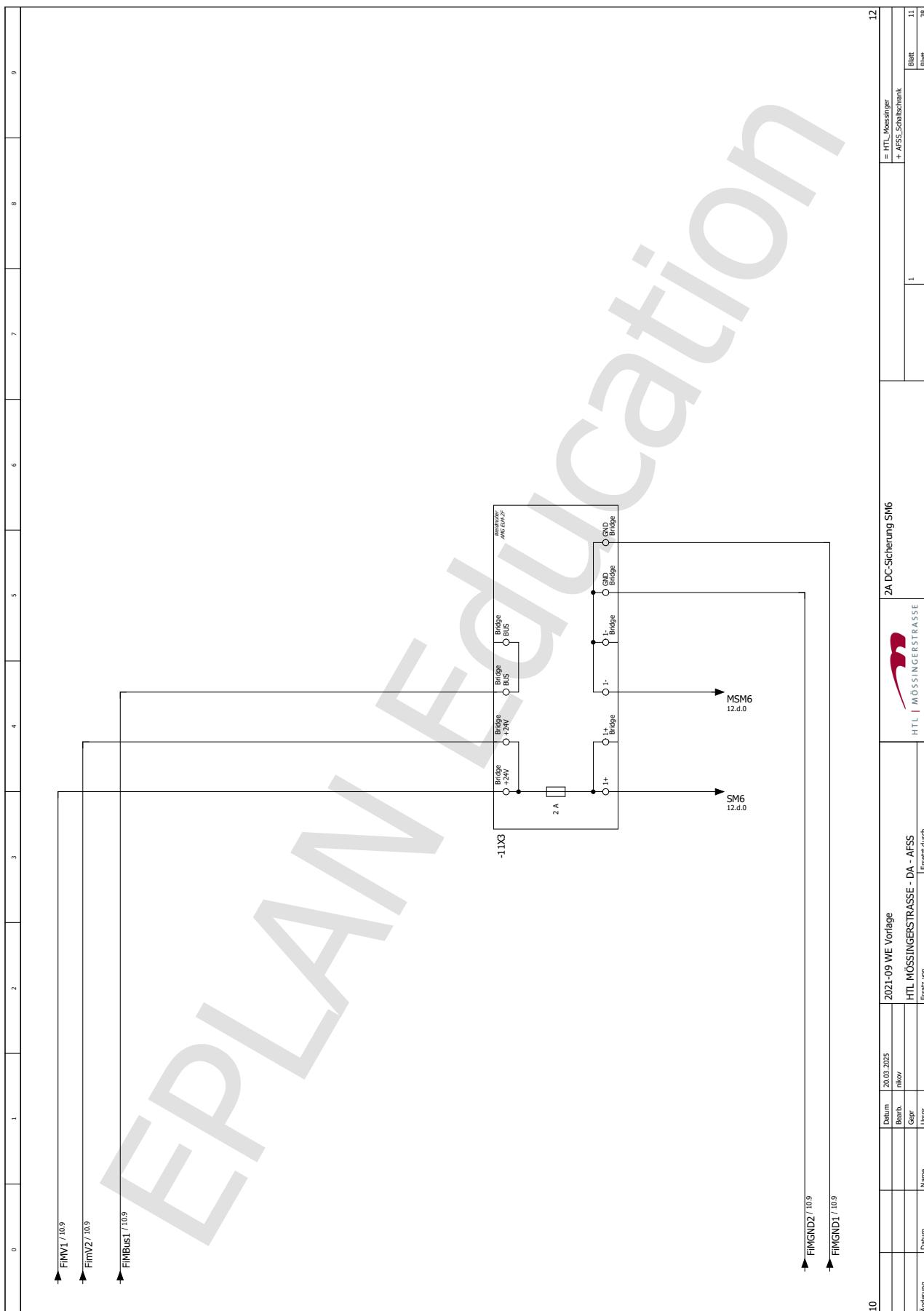


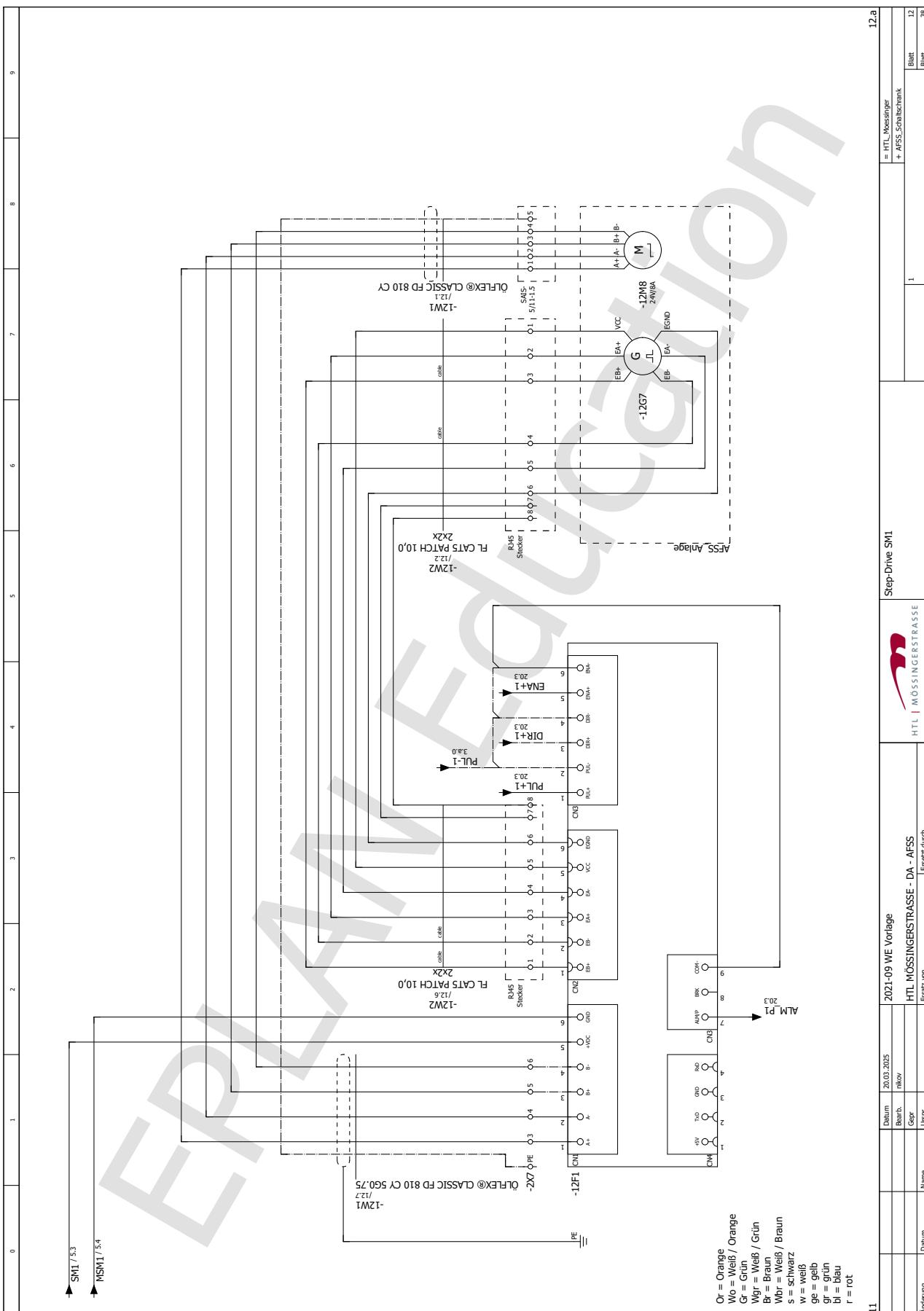


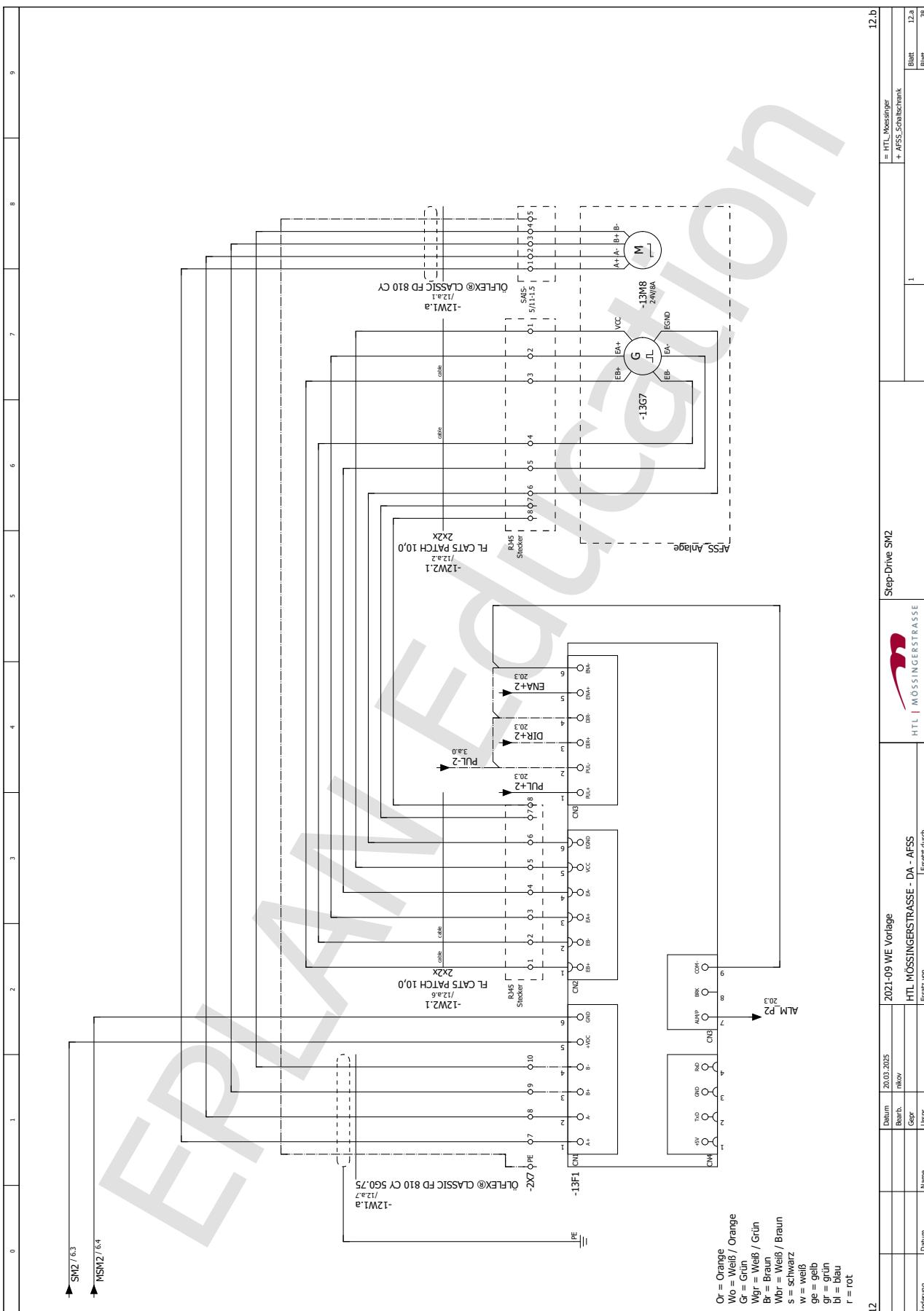


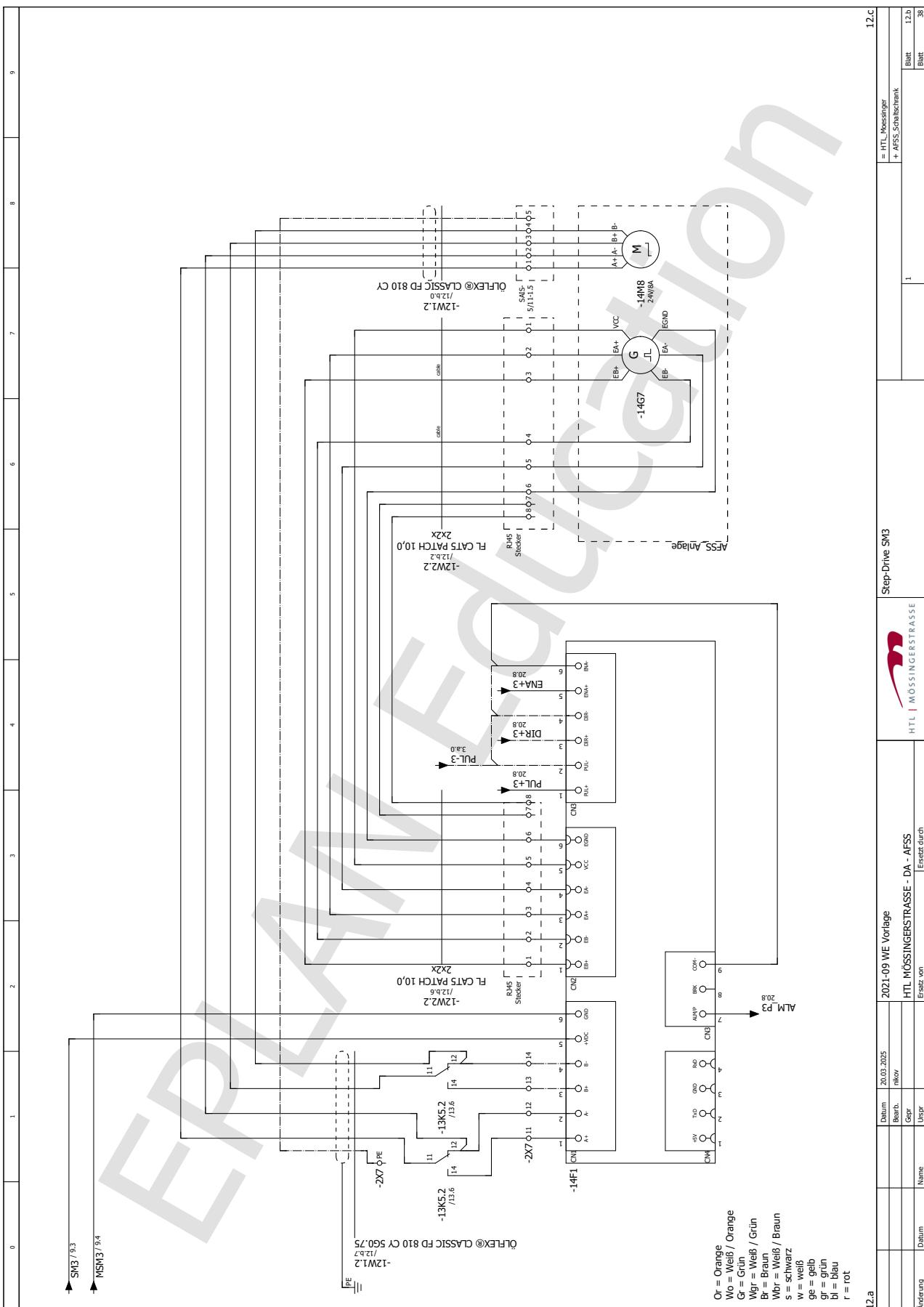


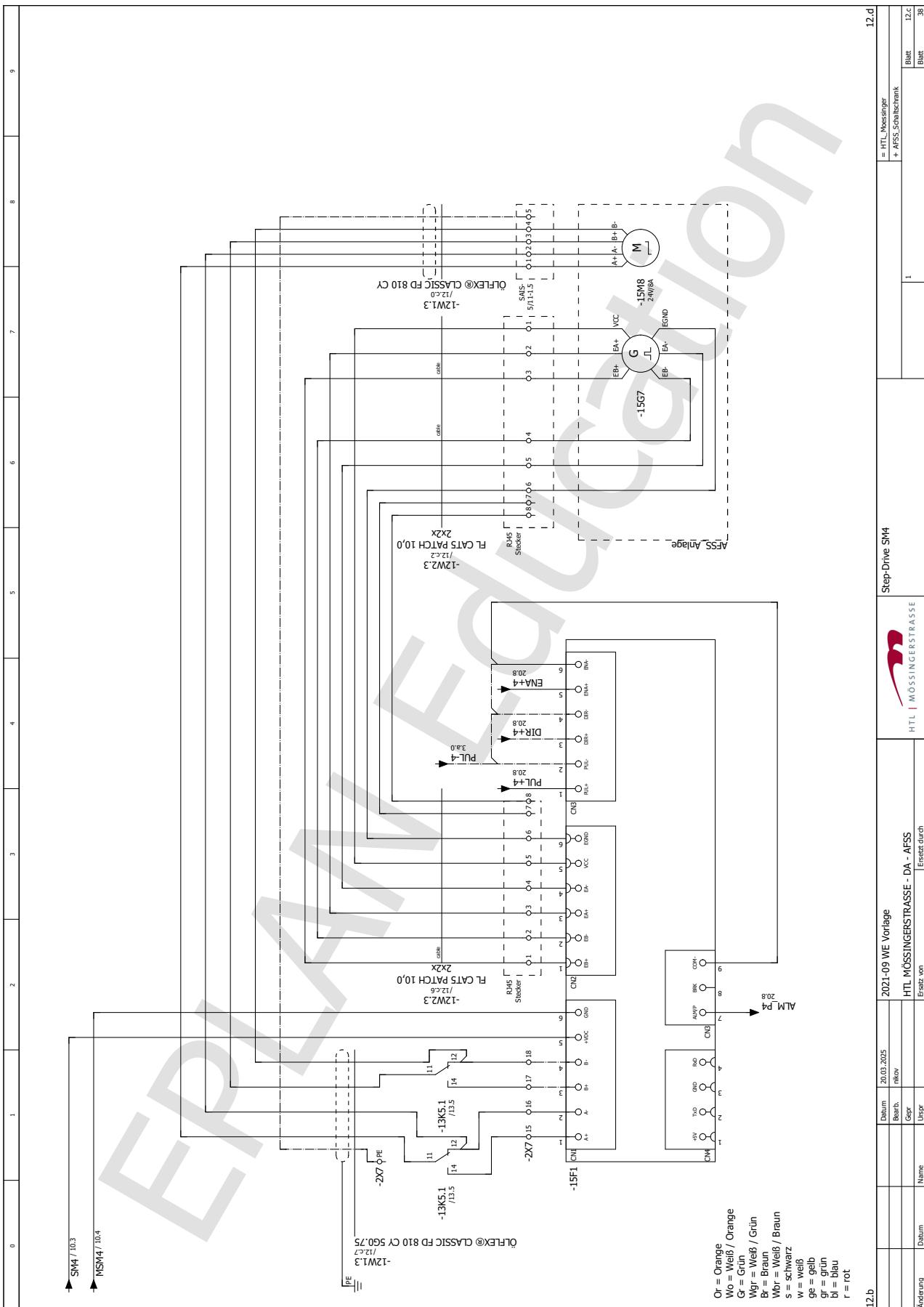


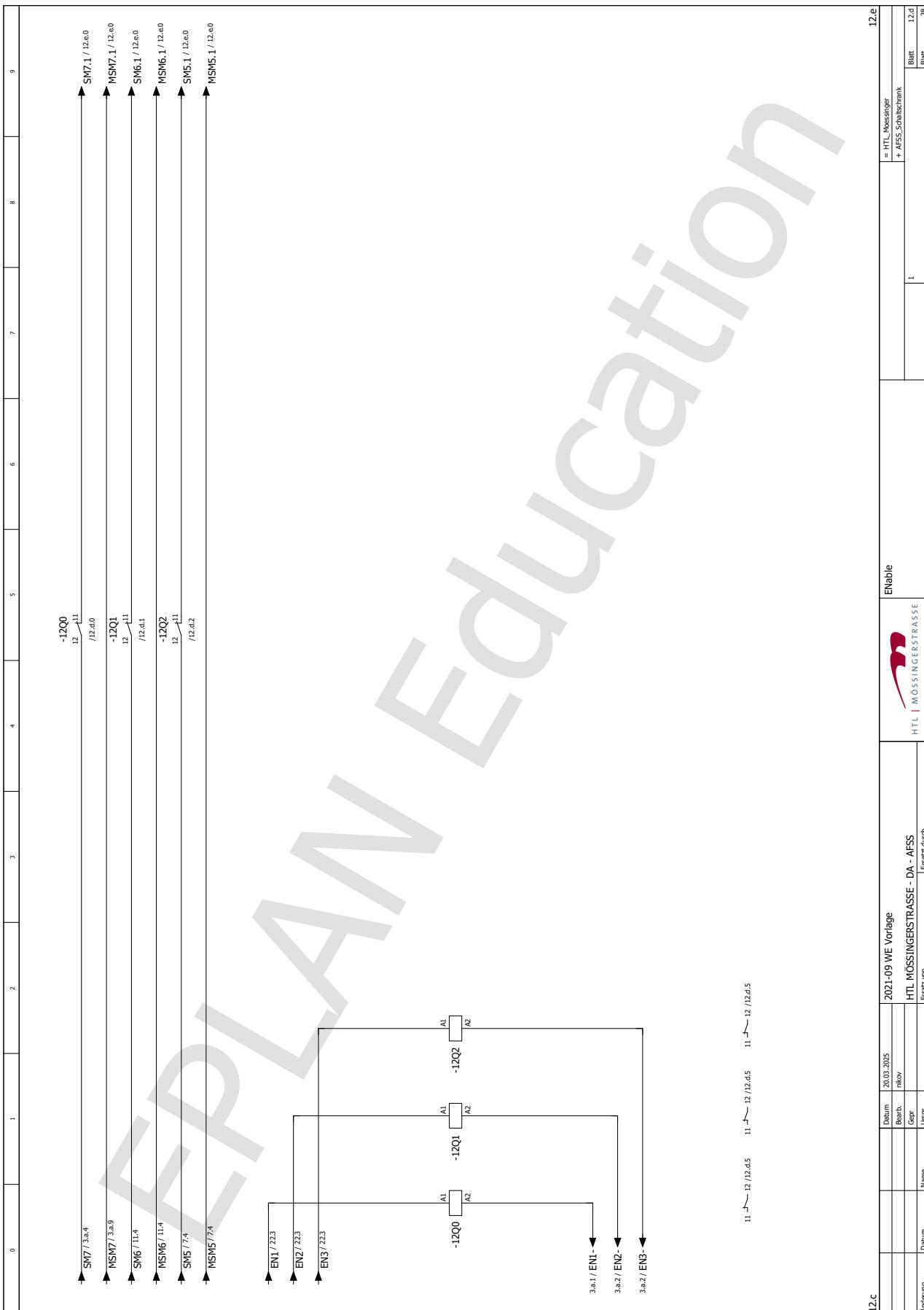


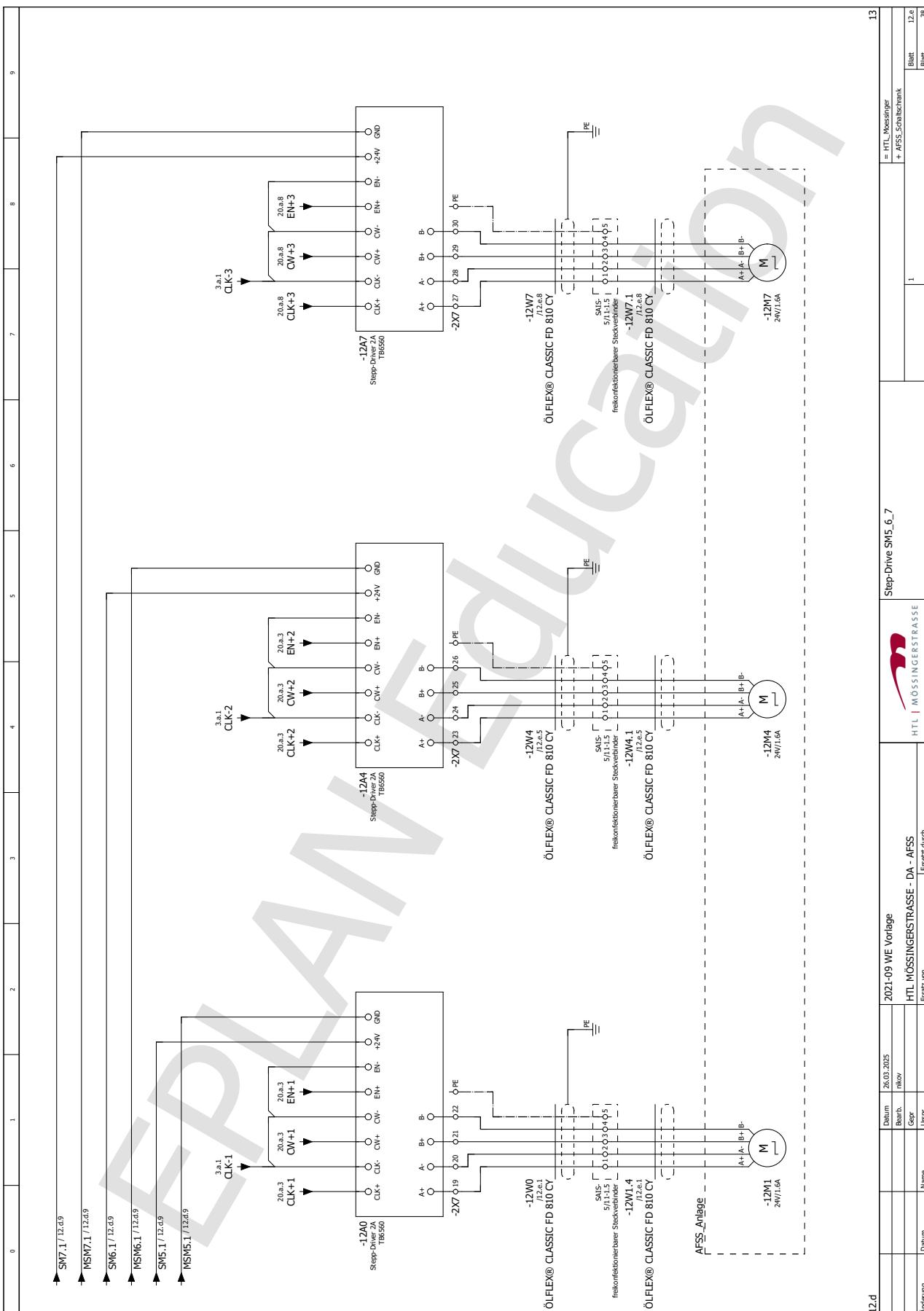




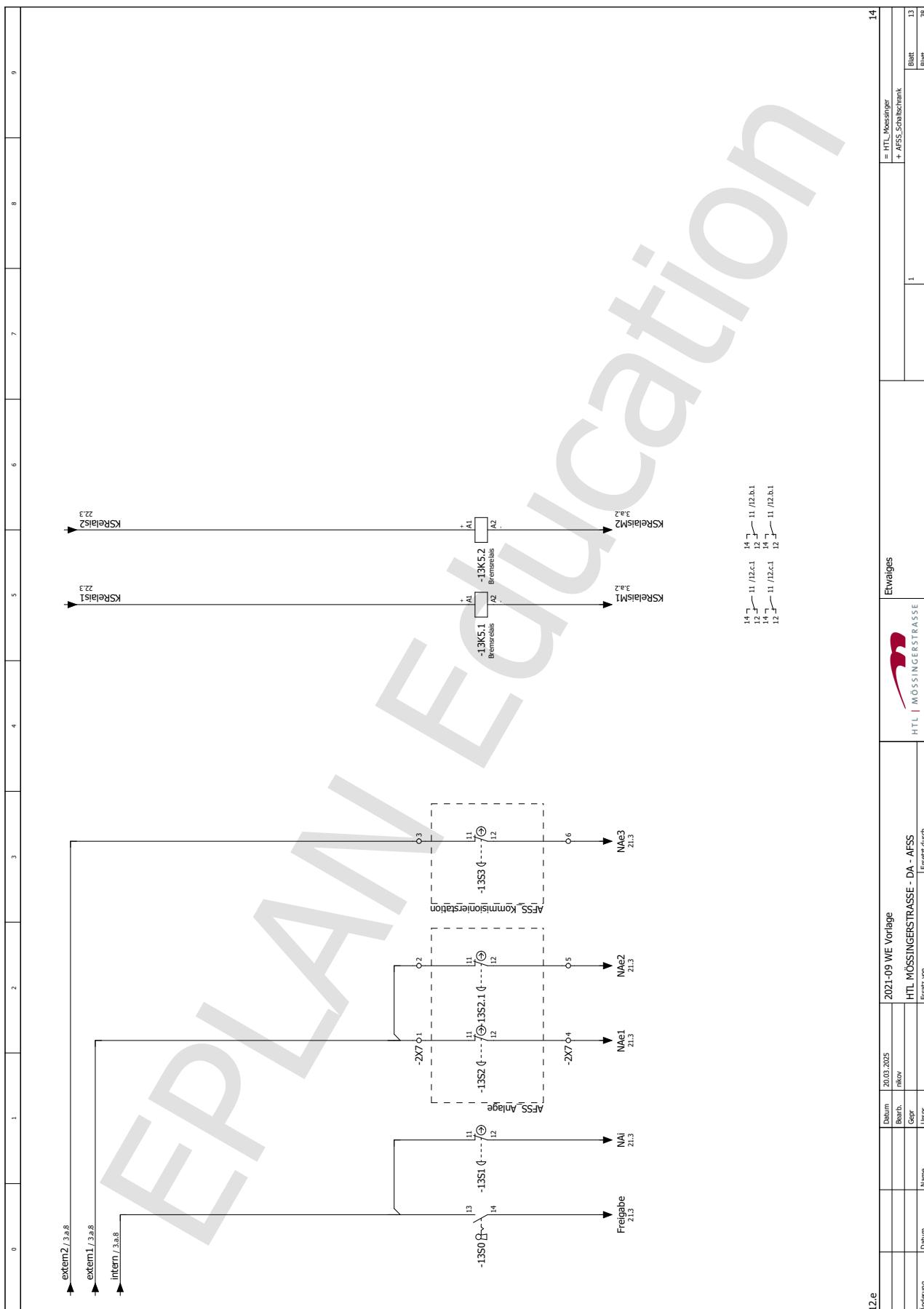


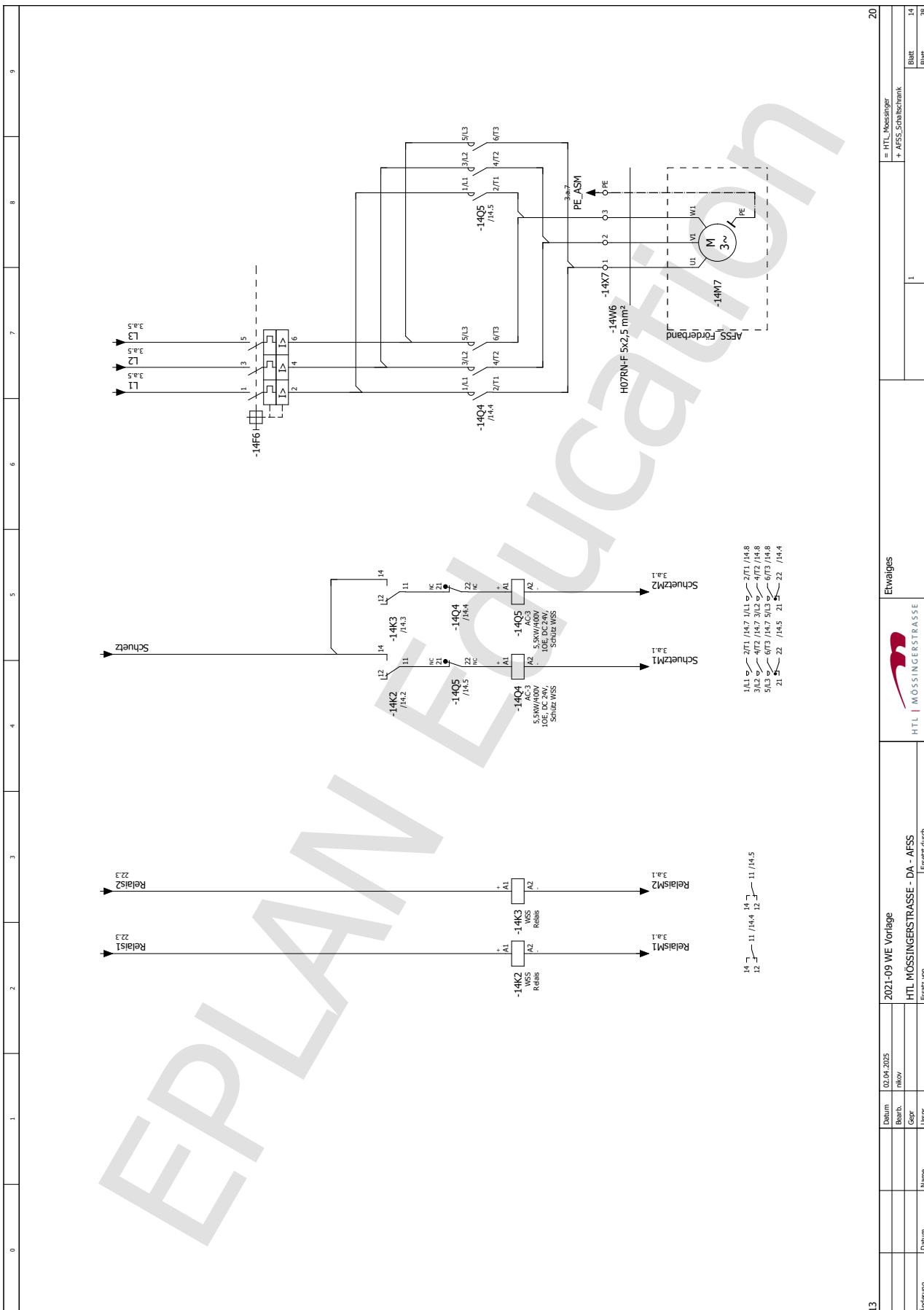


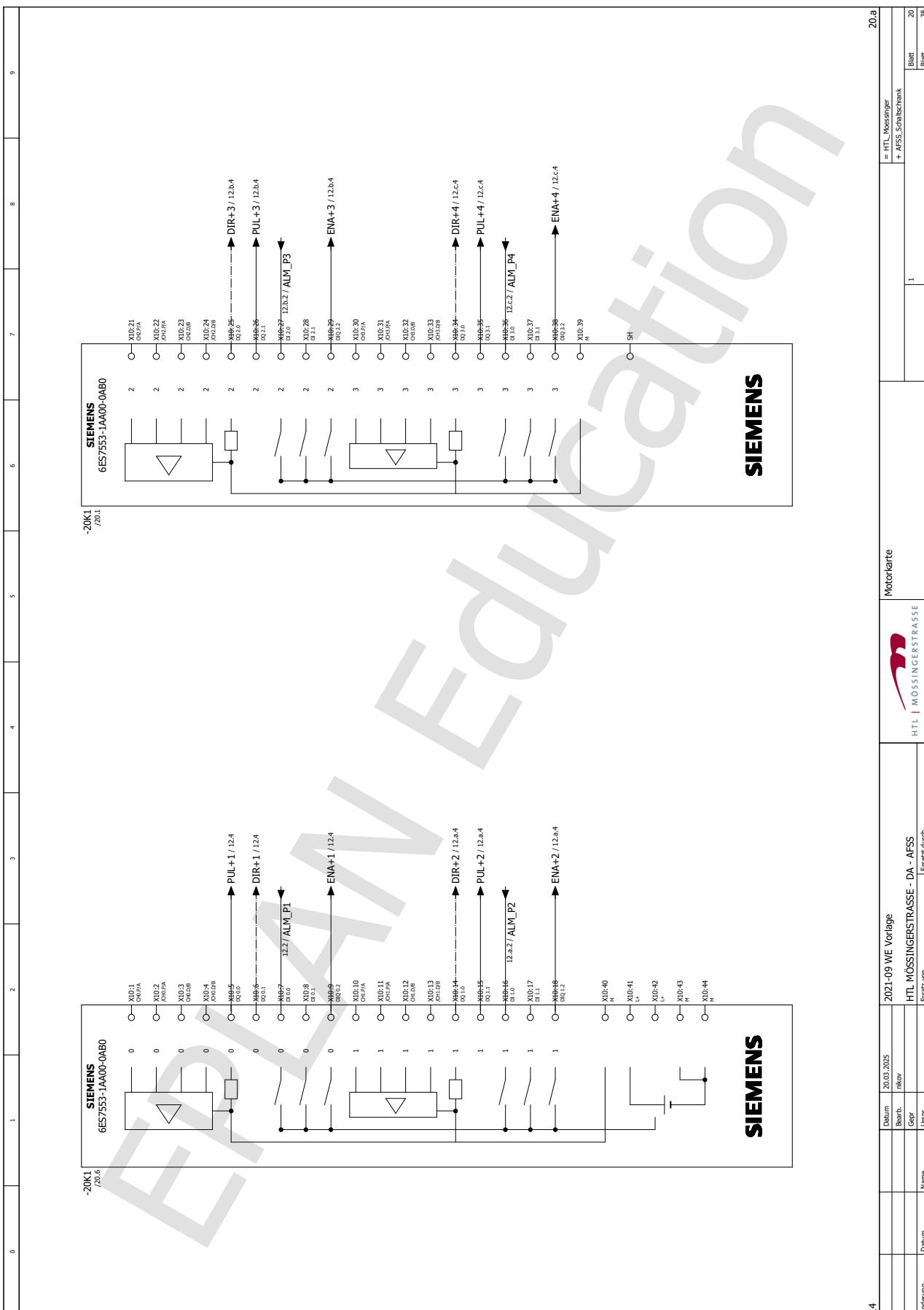


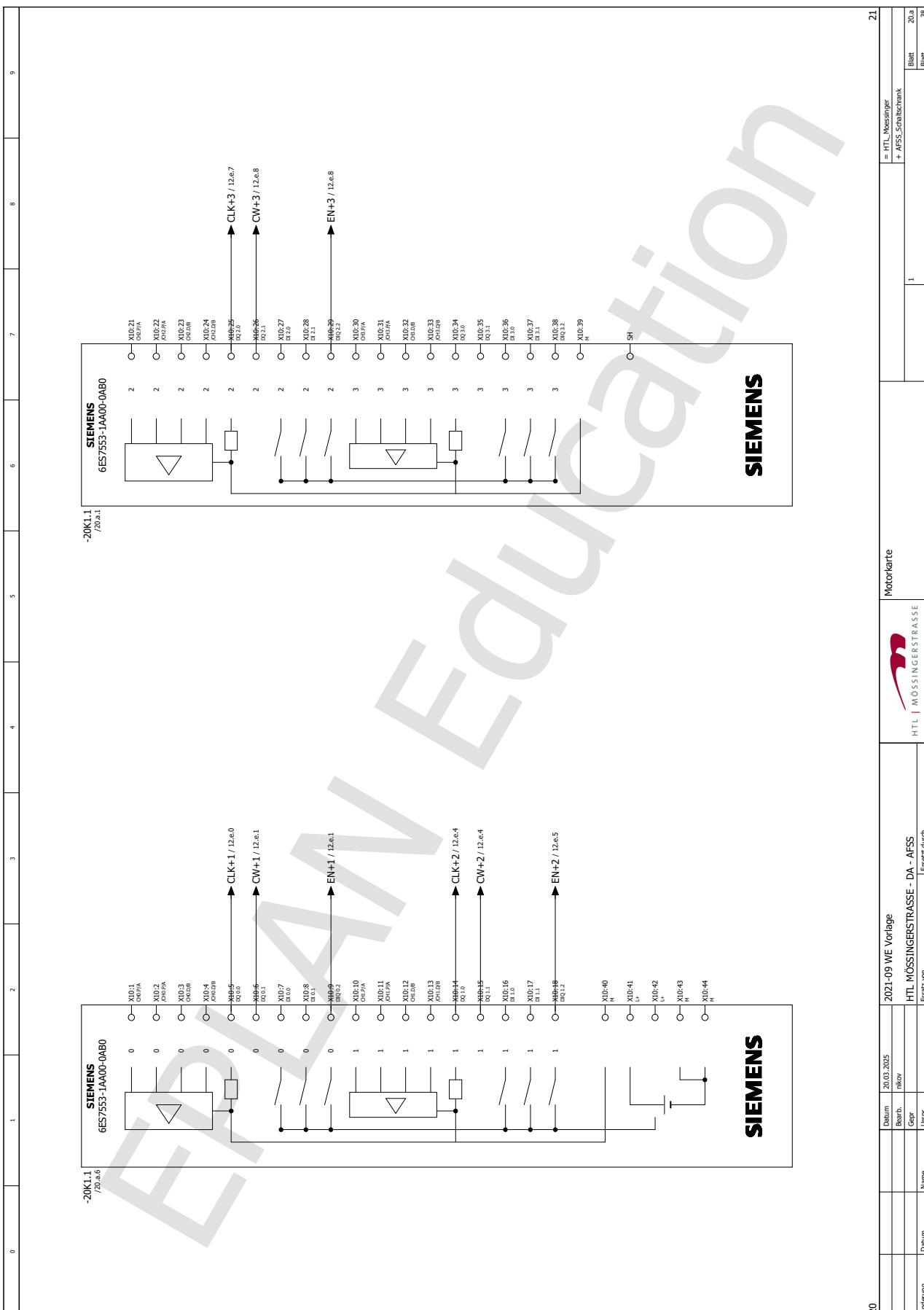


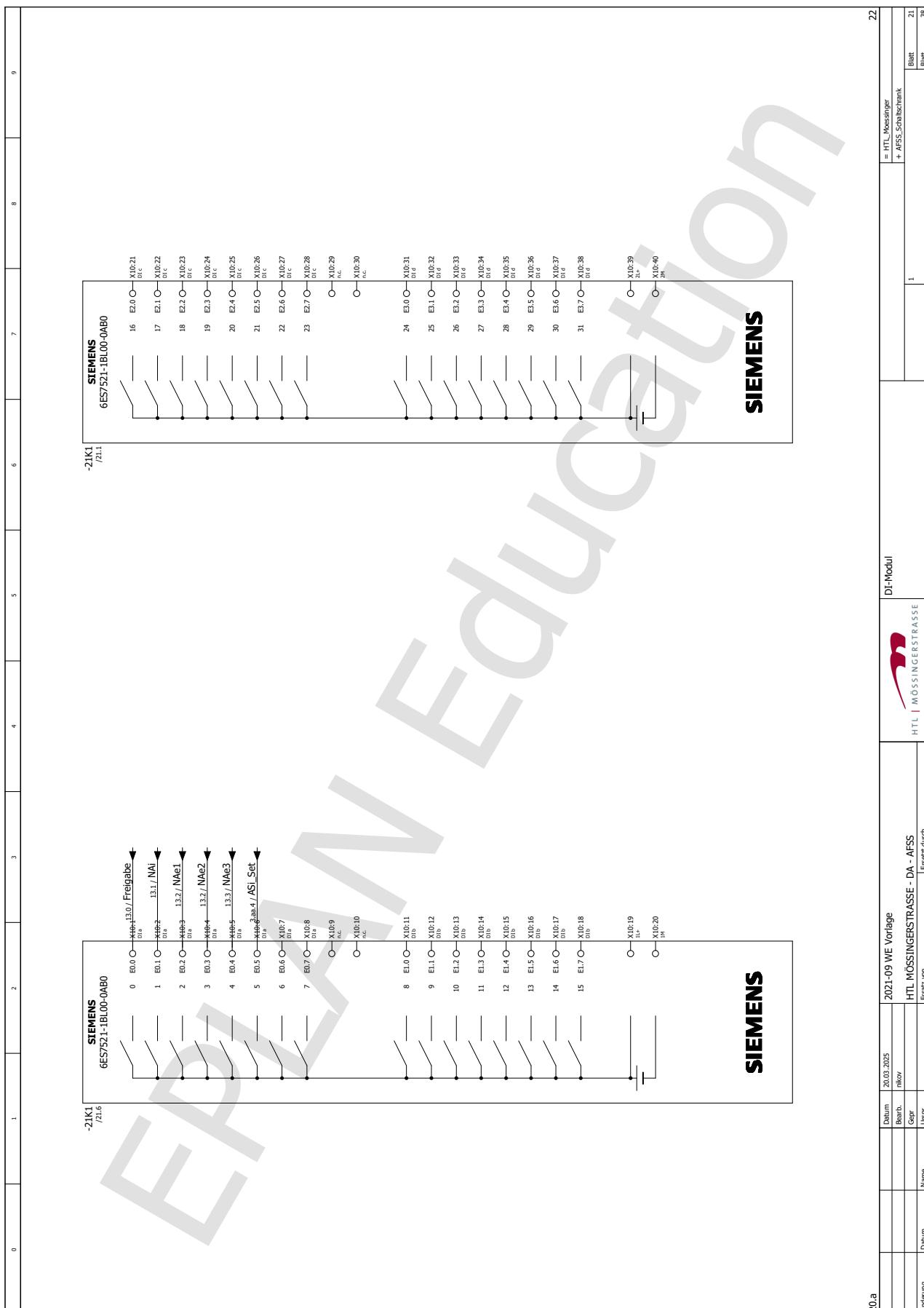
Änderung	Datum	Name	Step-Drive MS5_6_7		Step-Drive MS6_7
			Bearb.	Gegr.	
			nikov		HTL MÖSSINGERSTRASSE - DA - AFSS Ersetzt von
			Usr1		

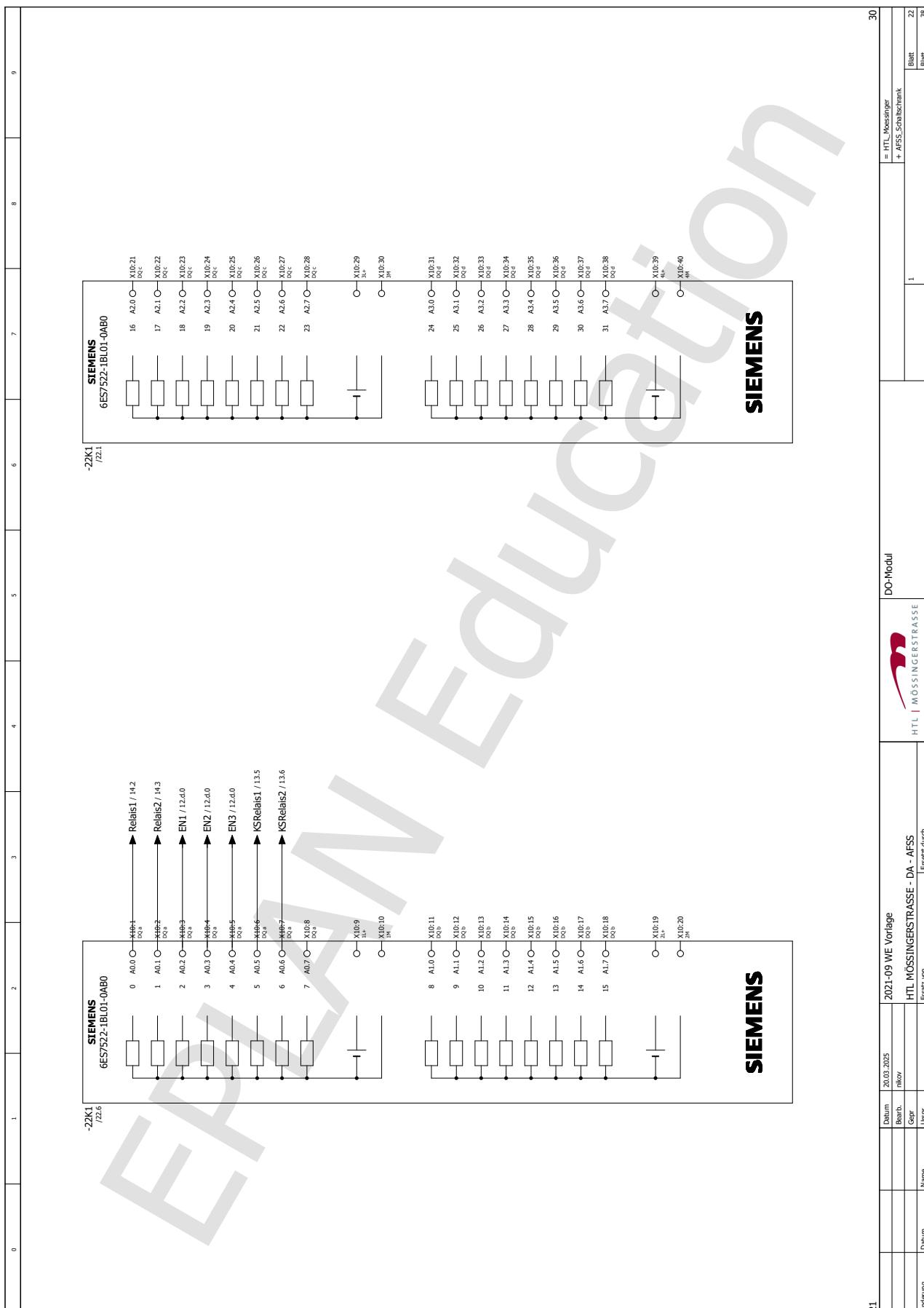


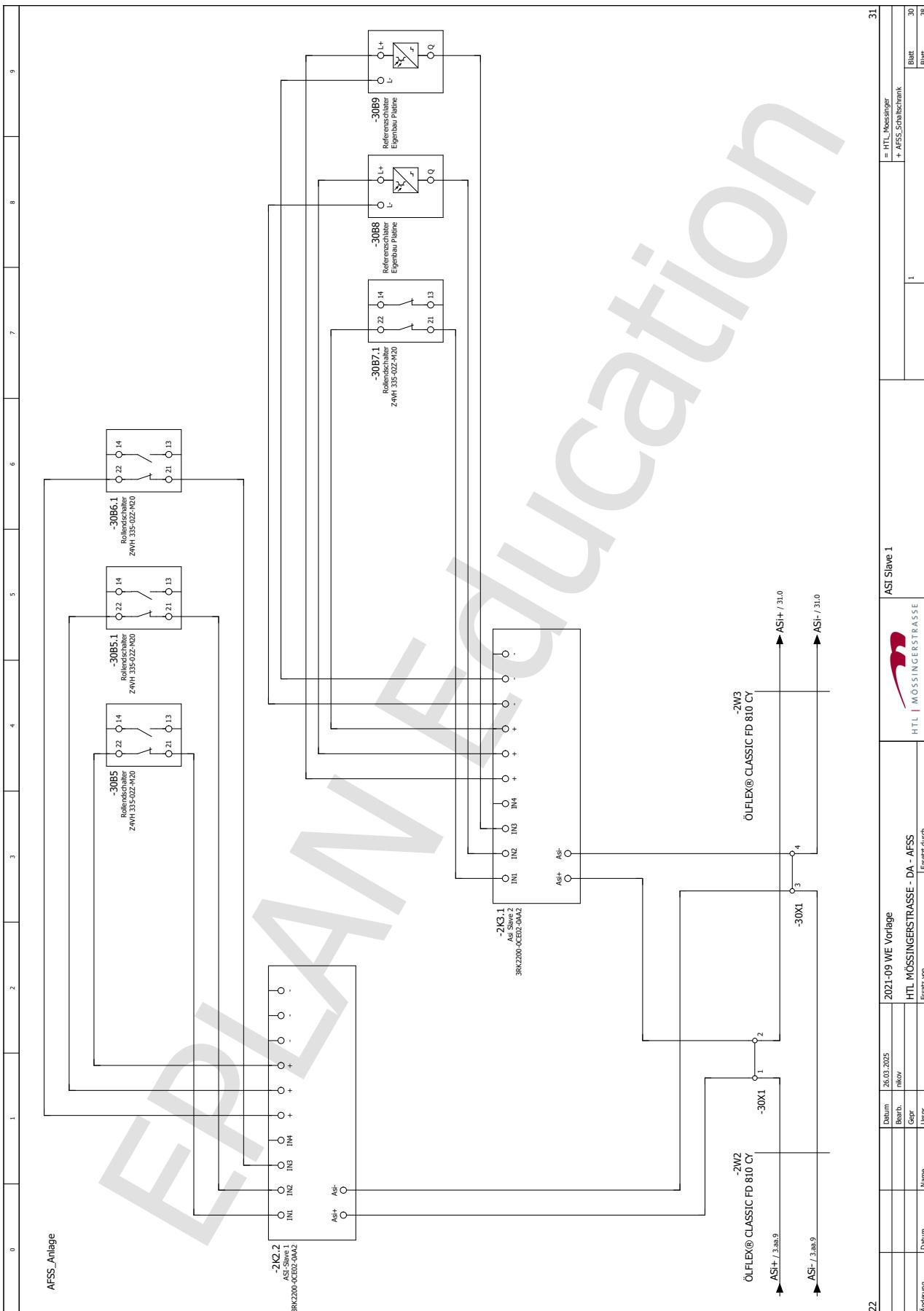


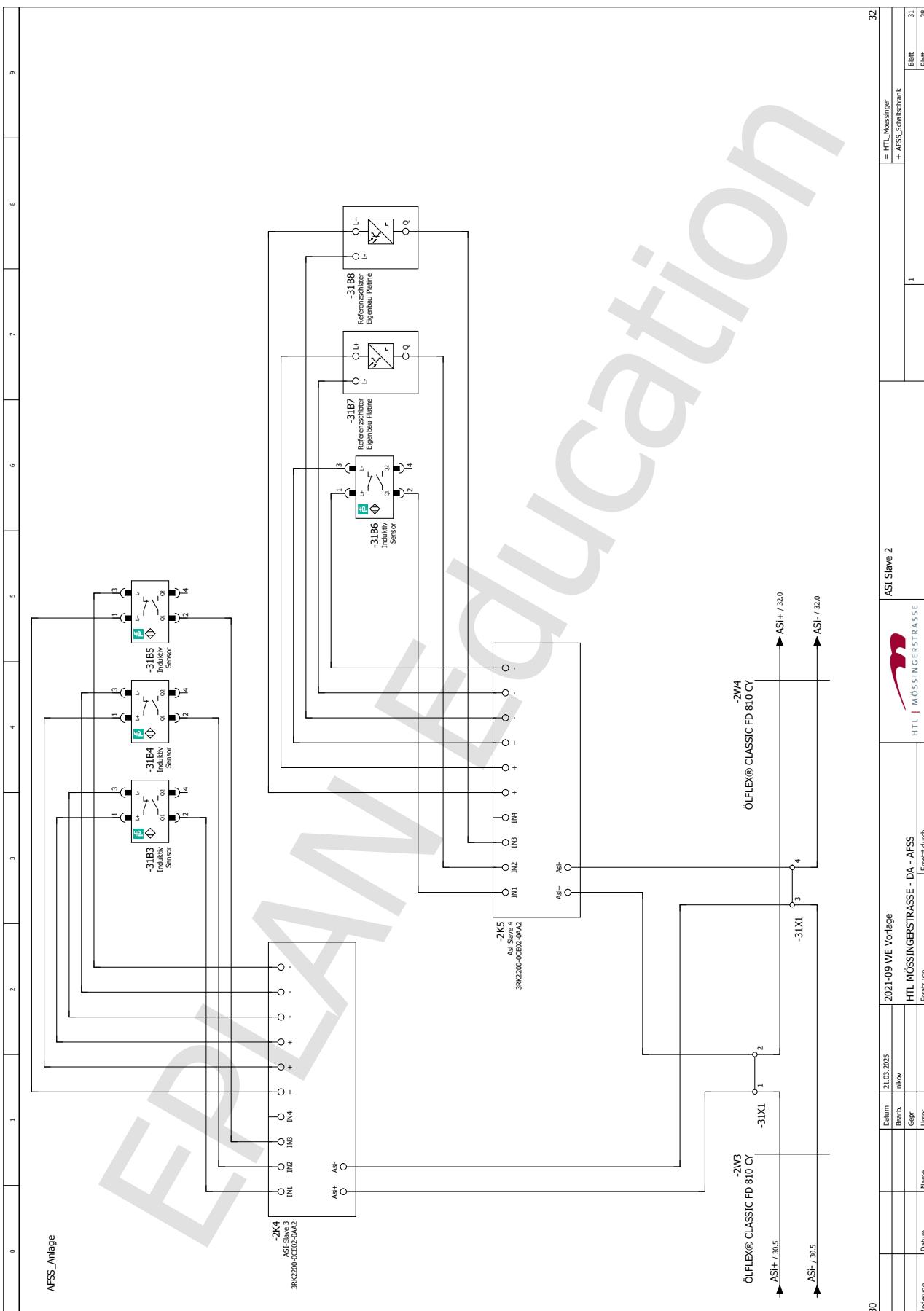


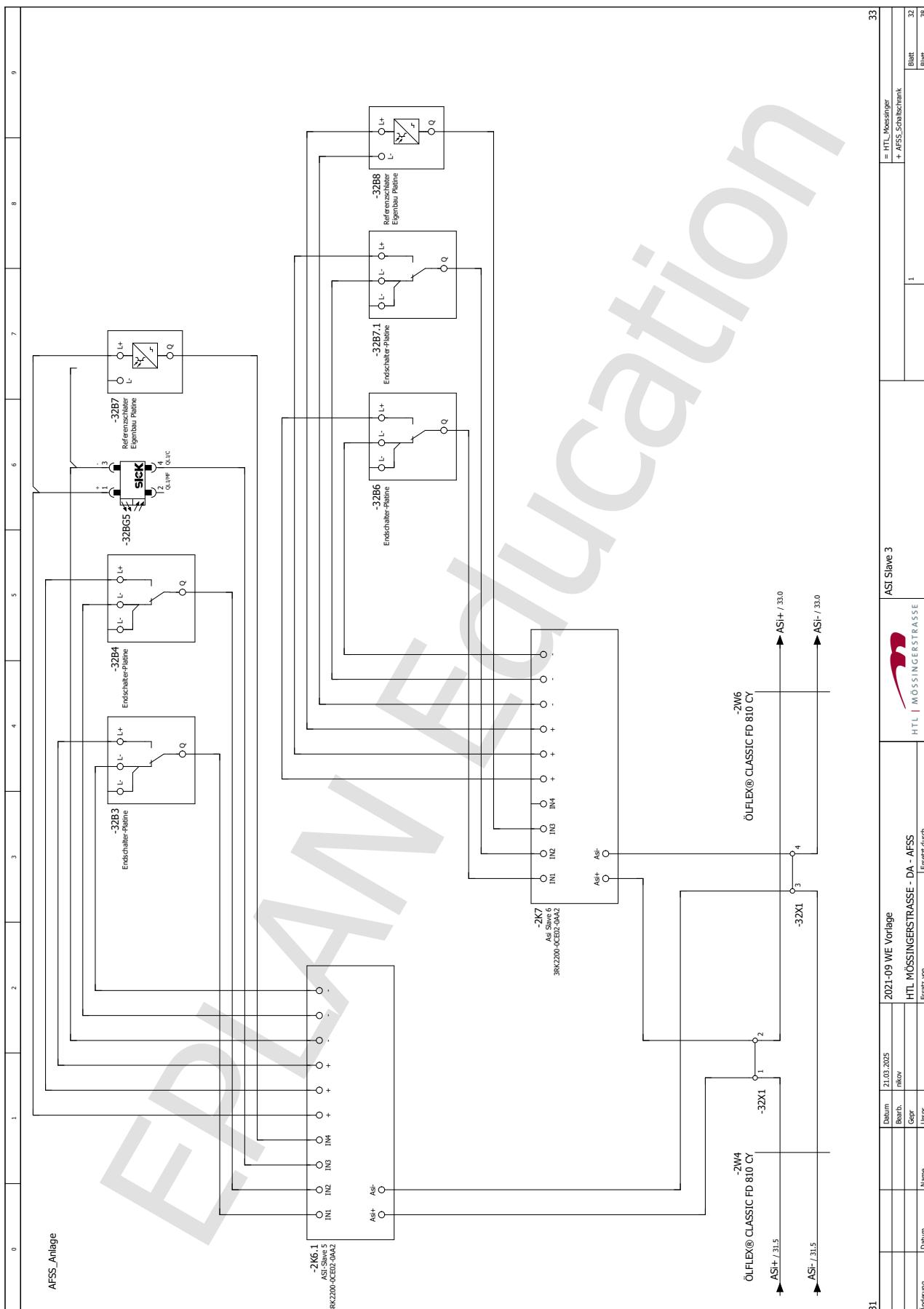


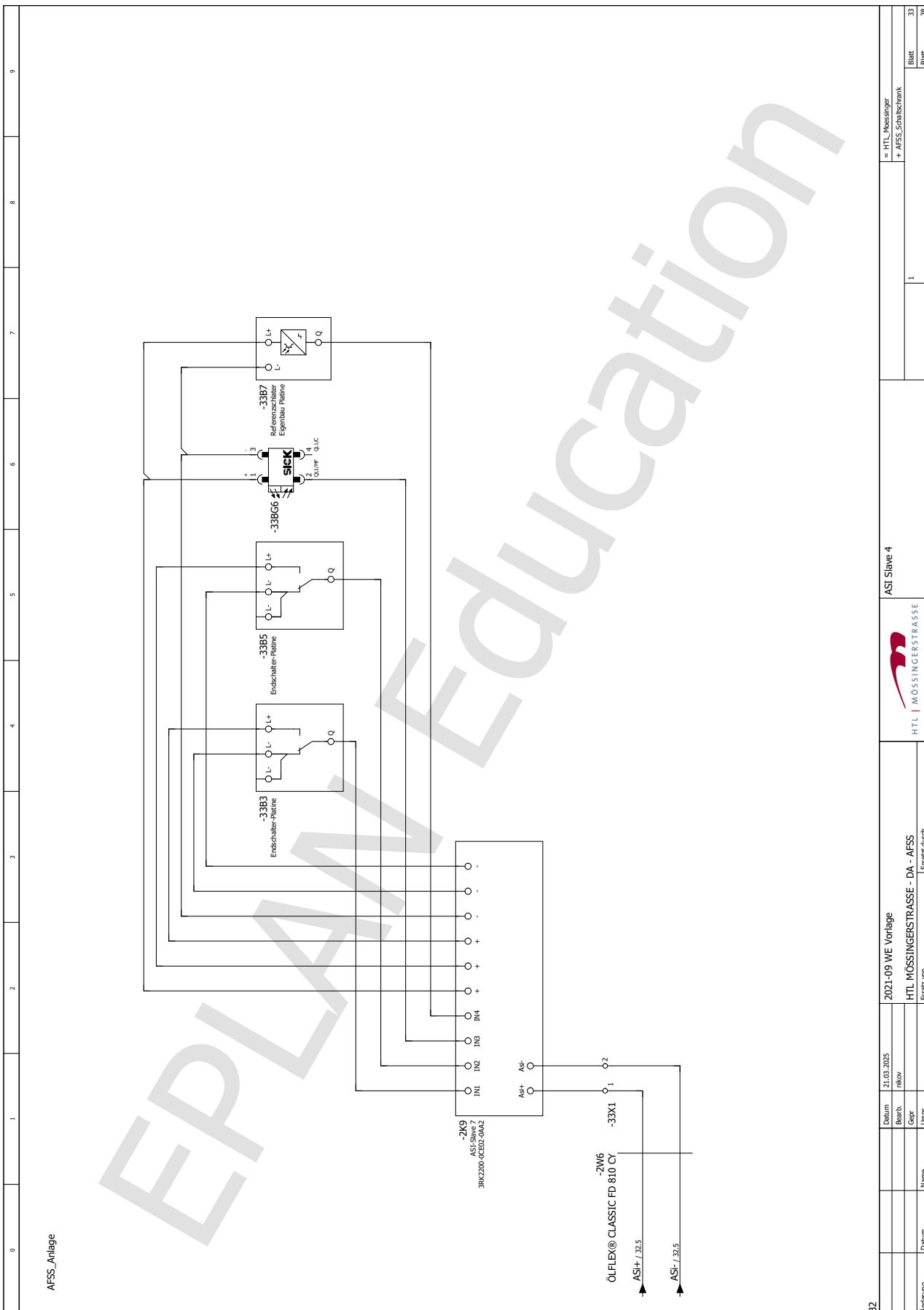












7.7 Arbeitsnachweis

7.7.1 Simbürger

Datum	Tätigkeit	Stunden
4.10.2023	Besprechung des weiteren vorgehens mit WB	0.5
9.10.2023	Gruppenbesprechung für das weitere Vorgehen	1.0
19.12.2023	CAD Auf/Ab-fahrer	3.0
10.1.2024	Testversuch ET200 SPS Stepdrive und Meeting Knapp	4.0
11.1.2024	Achse mechanisch fertig, Schlitten vertikal	4.0
12.1.2024	CAD Schuttel, Tag der offenen Tür vorbereitung	2.0
16.1.2024	Motoren ansteuern	1.0
20.1.2024	Umlenkungen- und Aufhängungskonstruktion	4.0
29.1.2024	Diagramm Datenaustausch Anfertigung	2.0
1.2.2024	Besprechung WB	4.0
3.2.2024	Website Backend/Frontend Prototyp	9.0
4.2.2024	WS Frontend	3.0
5.2.2024	KWF Antrag schreiben und WS Datenbankmanagement	3.0
7.2.2024	OPC UA Client testung	4.5
15.2.2024	WS Suche usw, Organisation, Maschinenbaubesprechung	5.5
20.2.2024	Python / OPC UA Client testen	1.0
23.2.2024	WS Warenkorb, restructuring	9.0
24.2.2024	WS Warenkorb fertig, OPC anfang und Pflichtenheft Erstversion	6.0
27.2.2024	http-Kommunikation testen	4.0
28.2.2024	Lasten/Pflichtenheft erstellen	3.0
4.3.2024	http-Kommunikation testen	3.5
10.3.2024	CAD X-Achse	7.0
13.3.2024	Absprache mit WB bez. Pflichtenheft	1.0
14.3.2024	http-Kommunikation und CAD	3.0
1.4.2024	Datenbanken und Visualisierung	5.0
2.4.2024	CAD Lagerregal	2.0
17.4.2024	CAD Gabel und Software	2.0
23.4.2024	STT-Fortsetzung / Software einföhrung	2.5
12.4.2024	Datenbanken und Visu	5.0
21.4.2024	Datenbanken und Visu	5.0
22.4.2024	TF-IDF Recherche	3.0
23.4.2024	TF-IDF Implementierung	2.0
28.4.2024	Areas und Locations Implementierung	6.0

Datum	Tätigkeit	Stunden
19.4.2024	Order Algorithmus konzeptionieren	3.0
22.5.2024	Order Algorithmus Implementierung	3.0
2.6.2024	Order Api Programmierung	5.0
3.6.2024	Api Implementierung und Visu	3.0
4.6.2024	STT-Fortsetzung und CAD	2.0
6.6.2024	SPS/Server Communitaion und Z-Prototyp CAD	5.0
8.6.2024	SPS Comm und Simulation implement	4.0
9.6.2024	System Controller	4.0
14.6.2024	Z-Prototyp Bauteile Vorbereitung	1.0
18.6.2024	Return, Cart programmieren	4.0
19.6.2024	Docker (f me)	3.0
21.6.2024	Z-PT, Schaltschrank, SPS-Com	4.5
16.7.2024	Recherche, Referenz-Elektronik	1.0
17.7.2024	Ref-Elektronik	2.0
19.7.2024	Designe/CAD Rollen u. Spannen y	6.0
22.7.2024	Design X-Spannelement	2.0
25.7.2024	Design X-Spannelement und Rollen	1.5
31.7.2024	CAD Z-Achsen zauberei	1.0
1.8.2024	CAD Z-Achse redesign	5.0
9.8.2024	CAD YZ-Achse grobe fertigstellung	5.0
10.8.2024	CAD YZ-Achse feinerschliff	4.0
11.8.2024	CAD YZ-Achse + X-Achse beginn	2.0
12.8.2024	CAD X-Achse	1.0
13.8.2024	CAD X-Achse side roller	4.0
14.8.2024	CAD X-Achse side roller 2. side	2.0
15.8.2024	CAD X-Achse Mid rollers, side Wheels, YZ-Achse Spiegelung	6.0
16.8.2024	CAD YZ-Achse Lichttaster, X-Achse	1.0
17.8.2024	X-Achse Schleppkettengedanken Auslegung	6.0
19.8.2024	Schleppenderketten einplanung	2.0
20.8.2024	CAD vertikale Schleppkette	3.0
20.8.2024	Sponsoren-E-mail beginn	1.3
21.8.2024	Kontaktdaten, Projektzusammenfassung	1.5
22.8.2024	CAD Schlitten Top	1.0
24.8.2024	Stückliste, CAD Schlitten Top	2.0
25.8.2024	CAD X-Top Verbindung, Umlenkung	5.0
27.8.2024	CAD Rahmen Aufhängungen	2.0
29.8.2024	CAD Umlenkungen und Motoraufhängungen	5.0
30.8.2024	CAD Endschalter und Rahmen beginn	3.0
31.8.2024	CAD Rahmen, Lagerschrank beginn	6.0

Datum	Tätigkeit	Stunden
1.9.2024	CAD Lagerschrank und Querfördererausschnitt	2.0
2.9.2024	Verbindungsslider implementieren	1.0
3.9.2024	Bugs beheben, Weidmüller Sortiment Bauteile auswählen	4.0
4.9.2024	Stack Bug behoben und CAD Querförderer	7.0
5.9.2024	CAD Mech. weitestgehende Fertigstellung	4.0
9.9.2024	Latex aufsetzen	2.5
10.9.2024	Meeting Weidmüller	2.0
11.9.2024	Schalschrank konzeptionieren	2.25
15.9.2024	Stückliste anfertigen	2.0
17.9.2024	Autolager Demontieren für Bauteilbeschaffung	2.5
18.9.2024	Verbindungstest, Suchalgorhythmus Rust implementation	6.0
19.9.2024	Suchag. Fertig implementiert, CAD Rollen gezeichnet	3.0
24.9.2024	Projektmanagement	3.0
25.9.2024	Änderungen V-Slot-Aufhängung, Project-Libre	1.0
26.9.2024	Igus, Weidmüller, Motoren ansteuern die 1.	4.0
28.9.2024	Bux im Lageralgorithmus beheben	1.5
1.10.2024	CAD	1.0
3.10.2024	Profile bearbeiten	1.5
8.10.2024	Latex Vorlage	1.0
9.10.2024	Raumeinrichtung	3.0
21.10.2024	Rahmenbau beginn	2.0
22.10.2024	Rahmenbau und Drehstromverlegung, Auftragsvorbereitung X-Aufhängung	5.5
23.10.2024	Rahmenbau	3.0
24.10.2024	Rahmenbau	3.0
25.10.2024	CAD XZ-Redesign	3.0
26.10.2024	CAD XZ-Redesign	7.0
27.10.2024	Auftragsvorbereitung X-Achse	3.0
28.10.2024	Auftragsvorbereitung X-Achse	2.0
5.11.2024	Beginn Umlenkrollen Drehen	0.8
6.11.2024	Weidmüller DP Inbetriebnahme	1.0
7.11.2024	Weidmüller DP ansteuern	3.5
8.11.2024	Weidmüller DP ansteuern	3.5
12.11.2024	Umlenkrollen Drehen	3.5
19.11.2024	Umlenkrollen Drehen, Fräsen	2.5
20.11.2024	DAS: Drehen	1.0
21.11.2024	DAS: TFIDF	2.0
22.11.2024	DAS	4.5

Datum	Tätigkeit	Stunden
23.11.2024	API stack , DAS	3.0
24.11.2024	DAS	2.0
25.11.2024	DAS	1.5
26.11.2024	Drehen	3.5
29.11.2024	DAS	4.0
3.12.2024	Drehen, DAS: Maschinenbau	5.0
6.12.2024	Website, DAS	3.5
10.12.2024	DAS: Software, CAD	5.0
13.12.2024	Drehen	3.5
7.1.2025	CNC-Fräsen, Hülsen Drehen	3.5
8.1.2025	X-Achse Zusammenbauen anfangen	2.0
10.1.2025	X-Achse Zusammenbauen	4.0
14.1.2025	X-Achse Zusammenbauen	4.0
15.1.2025	X-Achse Zusammenbauen	4.5
17.1.2025	Tag der offenen Türe	5.0
21.1.2025	TIA Portal Verbindung	3.5
24.1.2025	Lasern, Förderband, Mechanik	3.5
4.2.2025	Sicherheitstechnik-Besprechung, SPS - Server Kommunikation	3.5
14.2.2025	WMS Location Updateing	1.0
17.2.2025	DAS: Allgemeinteil	1.0
21.2.2025	Ref, Fräsen, Da-Schreiben	5.0
25.2.2025	Zusammenbauen	4.0
28.2.2025	Fräsen, E-Plan,	3.5
2.3.2025	DAS: Aufbau	1.5
3.3.2025	DAS: Besprechungsprotokolle	1.0
5.3.2025	Umlenkung und Motoren einbauen	4.5
6.5.2025	DAS	2.5
9.3.2025	DAS XZ-Achse	1.0
10.3.2025	DAS	3.0
11.3.2025	DAS	3.0
14.3.2025	Verkabelung Schaltschrank	4.0
18.3.2025	Verkabelung	5
25.3.2025	Synchronisation, DA, Service Box installieren	4
28.3.2025	DAS	3
30.3.2024	DAS und Docker Rust versuch	2
1.4.2025	DAS	2
2.4.2025	DAS	2
Summe		470.9

7.7.2 Sonvilla

Datum	Tätigkeit	Stunden
4.10.2023	Besprechung des weiteren vorgehens mit WB	0.5
9.10.2023	Gruppenbesprechung für das weitere Vorgehen	1.0
29.11.2023	Lasern Schlitten	4.5
10.1.2024	Testversuch ET200 SPS Stepdrive inkl. Meeting Knapp	4.0
16.1.2024	Motor ansteuern	4.0
18.1.2024	Schritt-Motor ansteuern	4.0
19.1.2024	Schritt-Motor ansteuern	3.0
30.1.2024	Inventur/ Sortierung Knapp-Sponsoring	4.0
6.2.2024	Induktiver Sensor testen	1.5
7.2.2024	OPC UA Client	4.5
20.2.2024	OPC UA Client	1.0
27.2.2024	Http-Kommunikation	4.0
13.3.2024	Absprache mit Wurnitsch bez. Pflichtenheft	2.0
14.3.2024	Http-Kommunikation	2.5
14.6.2024	Z-Prototyp Bauteile Vorbereitung	1.0
21.6.2024	SPS-Communikation	4.5
10.9.2024	Meeting Weidmüller	1.3
17.9.2024	Autolager Demontieren für Bauteilbeschaffung	2.5
18.9.2024	Förderband Abmessen, Verbindungstest, Sensorensicherung	2.0
26.9.2024	Igus, Mororen ansteuern	3.0
3.10.2024	Profile bearbeiten	1.5
4.10.2024	Sensoren testen	2.0
9.10.2024	Raumeinrichtung	3.0
15.10.2024	Profile bearbeiten	3.5
21.10.2024	Rahmenbau beginn	2.0
22.10.2024	Rahmenbau + Drehstrom	3.5
23.10.2024	Rahmenbau	3.5
24.10.2024	Rahmenbau	3.5
6.11.2024	Weidmüller DP Inbetriebnahme	3.5
7.11.2024	Weidmüller ansteuern	3.5
8.11.2024	Weidmüller ansteuern	3.5
12.11.2024	Drehen	2.0
15.11.2024	Fräsen	2.0
19.11.2024	Drehen, Fräsen	1.5
22.11.2024	SPS programmieren	3.5
26.11.2024	SPS programmieren	3.5

Datum	Tätigkeit	Stunden
29.11.2024	Blockschaltbild, Diplomarbeit	3.5
3.12.2024	Drehen, Diplomarbeit	3.5
6.12.2024	Diplomarbeit	3.5
10.12.2024	Diplomarbeit	3.5
13.12.2024	E-Plan	3.5
7.1.2025	CNC-Fräsen	3.5
10.1.2025	Rahmen Zusammenbau	4.5
14.1.2025	Zusammenbau Rahmen, SPS	4.0
15.1.2025	Zusammenbau Rahmen, Kabel verlegen	4.5
17.1.2025	Tag der offenen Tür	6.5
24.1.2025	Lasern, Förderband	3.5
4.2.2025	SPS-Server Kommunikation	3.5
21.2.2025	Fräsen	3.0
25.2.2025	Zusammenbauen	4.0
6.3.2025	DA-Schreiben	2.0
11.3.2025	DA-schreiben	2.0
14.3.2025	Verkabelung	4.0
18.3.2025	Verkabelung	5.0
19.3.2025	DA schreiben	2.0
22.3.2025	DA schreiben	5.0
23.3.2025	DA schreiben	2.0
25.3.2025	Synchronisation der Schrittmotoren	4.0
26.3.2025	DA Schreiben	5.0
27.3.2025	DA Schreiben	3.0
28.3.2025	DA schreiben	2.0
28.3.2025	DA schreiben	3.0
02.4.2025	DA korrigieren	2.0
Summe		195,8

7.7.3 Voglauer

Datum	Tätigkeit	Stunden
4.10.2023	Besprechung des weiteren vorgehens mit WB	0.5
9.10.2023	Gruppenbesprechung für das weitere Vorgehen	1
29.11.2023	RSTT Ausfahrer + Lasern Schlitten	3
15.12.2023	Präsentation	1.5
10.1.2024	Testversuch ET200 SPS Stepdrive inkl. Meeting Knapp	4
12.1.2024	Handout für Elternverein	1.5
16.1.2024	Motor ansteuern	3
23.1.2024	Vorbereitung für Knapp-Besuch(HO)	2.5
30.1.2024	Inventur/ Sortierung Knapp-Sponsoring	4
1.2.2024	Besprechung WB	4
15.2.2024	Besprechung Maschinenbau	1.5
17.2.2024	Programmieren-weiterbildung(py)	3
20.2.2024	el. Komponenten ausmessen	2
22.2.2024	Programmieren-weiterbildung(py)	1
24.2.2024	Schaltschrank CAD	3.5
24.2.2024	Pflichtenheft Erstversion	2
27.2.2024	Barcode-Scanner/http-Kommunikation	4
6.3.2024	Lasten/Pflichtenheft erstellen	1.25
13.3.2024	Absprache mit Wurnitsch bez. Pflichtenheft	2
14.3.2024	Barcode-Scanner/Fusion 360	3
2.4.2024	Lagerregal-Planung	2
23.4.2024	STT-Fortsetzung / Software einföhrung	2.5
6.6.2024	SPS/Server Communictaion	3
13.6.2024	Schaltschrank Konzeptionierung	2.25
18.6.2024	Schaltschrank Konzeptionierung	2
21.6.2024	Schaltschrank Konzeptionierung	4
16.7.2024	CAD-Serverschrank Konstruktion Anfang Fusion	2
18.7.2024	CAD-Serverschrank Konstruktion Montage-Schienen	2
28.7.2024	CAD-Serverschrank finished	3
6.8.2024	Schaltschrank Modul Konzeptionierung	1
3.9.2024	Firmen anschreiben und Datei-Management	1
9.9.2024	Marketing, Fortschritts-Leafletter	2.5
10.9.2024	Meeting Weidmüller	0.5
11.9.2024	Schaltschrank konzeptionierung	2.25
12.9.2024	Siemens und Lapp Anrufen+Schreiben	1
15.9.2024	Schaltschrank Komponenten konstruieren	1,5
17.9.2024	Presentation und Projektmanagement	3

Datum	Tätigkeit	Stunden
21.9.2024	el. Komponenten konstruieren sowie Profilschienen	2
22.9.2024	el. Komponenten konstruieren + E-Plan Anfang	2
24.9.2024	E-Plan Auffrischungsschulung / Project libre	2.5
26.9.2024	Igus, Mororen ansteuern die 1.	1
1.10.2024	Schaltschrank-Konzeptionierung, CAD-zeichnen	5
4.10.2024	Schaltschrank-Konzeptionierung, CAD / E-plan - zeichnen	4
6.10.2024	Schaltschrank-Konzeptionierung, CAD - zeichnen	0.5
9.10.2024	Raumeinrichtung, Schaltschrank-Konzeptionierung	2,5
15.10.2024	Schaltschrank-Konzeptionierung, E-Plan-zeichen	4
22.10.2024	2.Präsentation	1
23.10.2024	Rahmenbau	1.5
7.11.2024	E-Plan/Autocad	3.5
8.11.2024	E-Plan/Autocad	3.5
15.11.2024	E-Plan	3.5
19.11.2024	Drehen, Fräsen	1.5
22.11.2024	E-Plan	4,5
26.11.2024	E-Plan	3.5
29.11.2024	E-Plan	3.5
6.12.2024	Website	2
10.12.2024	ASI in E-Plan	3.5
13.12.2024	E-Plan	3.5
7.1.2025	Schaltschrank E-Plan / CAD	3.5
10.1.2025	CAD für Schaltschrankmodule	4.5
14.1.2025	Zusammenbauen der Module	4
15.1.2025	Kabel verlegen	2
17.1.2025	Tag der offenen Türe	5
21.1.2025	Schaltschrank Modifikationen	3.5
23.1.2025	Schaltschrank Modifikationen / Module	0.5
24.1.2025	Förderband testen	2
10.2.2025	DA schreiben	3.5
12.2.2025	DA schreiben	2
21.2.2025	Fräsen	2
25.2.2025	Schaltschrank Zusammenbauen	3.5
28.2.2025	Fräsen, E-Plan	3.5
11.3.2025	DA-schreiben	3
14.3.2025	Verkabelung	4
17.3.2025	DA schreiben	3.5
18.3.2025	Verkabelung	4
19.3.2025	DA-schreiben	2

Datum	Tätigkeit	Stunden
21.3.2025	Verkabelung	2.5
26.3.2025	DA-Schreiben	2
27.3.2025	DA-Schreiben	5
Summe		209.75

7.7.4 Widmann

Datum	Tätigkeit	Stunden
4.10.2023	Besprechung des weiteren vorgehens mit WB	0,5
9.10.2023	Gruppenbesprechung für das weitere Vorgehen	1,0
12.12.2023	Schlitten Prototyp bauen	2,0
11.1.2024	Achse und Schlitten vertikal Prototyp bauen	3,5
16.1.2024	Motor ansteuern	4,0
18.1.2024	Schritt-Motor ansteuern	4,0
19.1.2024	Schritt-Motor ansteuern	3,0
30.1.2024	Inventur/ Sortierung Knapp-Sponsoring	4,0
5.2.2024	KWF Antrag schreiben	1,0
6.2.2024	Induktiver Sensor testen	1,5
7.2.2024	Barcodescanner	3,5
27.2.2024	Barcodescanner	4,0
4.3.2024	Barcodescanner	3,5
13.3.2024	Absprache mit Wurnitsch bez. Pflichtenheft	2,0
14.3.2024	Barcodescanner	3,0
21.6.2024	Z-Achse Prototyp bauen	1,0
20.8.2024	Sponsorenemail	1,3
21.8.2024	Kontaktdaten, Projektzusammenfassung	1,5
10.9.2024	Meeting Weidmüller	2,0
12.9.2024	Siemens und Lapp Telefonat und E-Mail	1,0
17.9.2024	Präsentation und Projektmanagement	3,0
18.9.2024	Förderband Abmessen, Sensorensicherung	2,0
24.9.2024	Project libre	3,0
26.9.2024	Igus	1,0
27.9.2024	Sonsoren, E-Mails der letzten Tage	1,0
1.10.2024	Zeitplan, Sensoren recherchieren	3,5
4.10.2024	Sensoren testen	2,0
9.10.2024	Raumeinrichtung	2,5
12.10.2024	Latex Vorlage	3,0
14.10.2024	Latex Vorlage	2,0
15.10.2024	Zeitplan	4,0
16.10.2024	Latex Vorlage	1,5
22.10.2024	2.Präsentation, Referenzschaltung	2,0
23.10.2024	Referenzplatine	2,0
24.10.2024	Poster/2.Präsentation	3,5
12.11.2024	Drehen, E-Plan,	3,0
15.11.2024	ASi	2,0
19.11.2024	ASi	1,5

Datum	Tätigkeit	Stunden
22.11.2024	Website	3,5
26.11.2024	Website	5,5
27.11.2024	Website	3,0
29.11.2024	Website, Referenzplatine	4,0
3.12.2024	ASI-Sensoren-Platine	2,0
6.12.2024	Website	3,0
10.12.2024	ASI in E-Plan	3,5
13.12.2024	E-Plan	3,5
6.1.2025	Website	3,0
7.1.2025	Website	4,0
10.1.2025	Website	4,0
14.1.2025	Website	4,0
15.1.2025	Platinen löten	3,0
17.1.2025	Tag der offenen Tür	6,0
21.1.2025	Platinen testen	3,5
22.1.2025	ASI (Fail)	3,0
23.1.2025	ASI (Success)	1,5
24.1.2025	Lasern	1,5
4.2.2025	Sicherheitstechnik-Besprechung	1,5
21.2.2025	Referenzplatine	2,0
28.2.2025	Lasern	2,0
6.3.2025	DA schreiben	2,0
9.3.2025	DA schreiben	2,0
10.3.2025	DA schreiben	2,0
11.3.2025	DA schreiben	3,0
14.3.2025	DA schreiben	4,5
16.3.2025	DA schreiben	3,0
18.3.2025	DA schreiben	4,0
22.3.2025	DA schreiben	3,0
23.3.2025	DA schreiben	2,0
25.3.2025	DA schreiben	4,0
28.3.2025	DA Anhang	4,0
31.3.2025	DA korrigieren	1,0
1.4.2025	DA korrigieren und Stunden	4,0
2.4.2025	DA korrigieren und Anhang	1,5
Summe		196,8

Literaturverzeichnis

- [1] Pickengine. *Pickengine*. Online. URL: <https://www.pickengine.com/>.
- [2] Autodesk. Online. URL: <https://www.autodesk.com/de/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/DEU/Autodesk-EAGLE-now-included-with-Fusion-360.html> (besucht am 21.02.2025).
- [3] Siemens. Online. URL: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/hw-config-s7-1200/programming-guideline-de.pdf> (besucht am 21.02.2025).
- [4] Prusa Research by Josef Prusa. Online. URL: https://help.prusa3d.com/de/article/erster-druck-mit-prusaslicer_1753 (besucht am 25.02.2025).
- [5] knapp. Online. URL: <https://www.knapp.com/> (besucht am 19.03.2025).
- [6] KNAPP AG. *KNAPP Logo*. Online. URL: https://www.cancom.at/_Resources/Persistent/0650cc1da9e9bbdc15376cc365e4f349e64bf310/KNAPP_Logo_ohne_Wei%C3%9Fraum-1600x549.webp (besucht am 20.03.2025).
- [7] weidmueller. Online. URL: https://www.weidmueller.at/de/unternehmen/unser-unternehmen/wer_wir_sind/index.jsp (besucht am 19.03.2025).
- [8] Weidmüller. *Weidmüller Logo*. Online. URL: https://images.sf.craft.supply/v7/_img_/SEEFELDER_Markenlogos/weidmueller.png?w=1600&func=bound (besucht am 20.03.2025).
- [9] igus. Online. URL: <https://www.igus.at/unternehmen> (besucht am 01.03.2025).
- [10] igus. *igus Logo*. Online. URL: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSV6-6vZJCtrrKugqm-s67-_x3ij3jQiuShzQ (besucht am 20.03.2025).
- [11] lapp. Online. URL: <https://www.lapp.com/de/at/unternehmen/ueber-lapp-oesterreich/e/000123> (besucht am 03.03.2025).
- [12] Lapp. *Lapp Logo*. Online. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9a/Lapp_Logo_rgb.svg/2560px-Lapp_Logo_rgb.svg.png (besucht am 20.03.2025).
- [13] mädler. Online. URL: <https://www.maedler.de/Static/Videos> (besucht am 03.03.2025).
- [14] mädler. *mädler Logo*. Online. URL: https://www.maedler.de/MaedlerAT/MaedlerSignet_de_R_freigestellt.png (besucht am 20.03.2025).
- [15] elektro4000de. URL: <https://www.elektro4000.de/Kabel-Leitungen/Kabeltragsysteme/Stiel-Profileschienen/Verbinder/Item-Standard-Verbindungssatz-0-0-026-07::1743227.html> (besucht am 19.11.2024).
- [16] globalsources.com. URL: <https://www.globalsources.com/Plastic-coated/plastic-coated-bearing-1197379614p.html> (besucht am 19.11.2024).

-
- [17] igus. *10 Tipps für eine langlebige „freitragende“ Energieführung.* Online. 2024. URL: <https://www.igus.at/service/kontakt/energieketten-tipps-fuer-freitragende-bewegung> (besucht am 10.12.2024).
 - [18] igus. *9 Tipps für eine langlebige „stehende“ Energieführung.* Online. 2024. URL: <https://www.igus.at/service/kontakt/energieketten-tipps-stehende-anwendungen> (besucht am 10.12.2024).
 - [19] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: write me a 2 sentence description of the python programming language; in german. 2024. (Besucht am 21.11.2024).
 - [20] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: und jetzt von flask. 2024. (Besucht am 21.11.2024).
 - [21] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: html. 2024. (Besucht am 21.11.2024).
 - [22] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: css. 2024. (Besucht am 21.11.2024).
 - [23] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: js. 2024. (Besucht am 21.11.2024).
 - [24] Siemens. *Bereitstellung eines Frameworks zum Webseiten-Upload.* Online. 2024. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/059/109814059/att_1117153/v1/109814059_WebserverFramework_DOC_v10_de.pdf (besucht am 03.10.2025).
 - [25] OpenAI's ChatGPT Sprachmodell. Prompt: rust. 2024. (Besucht am 04.12.2024).
 - [26] Berufsschule-Gmunden. *SPS-Grundlagen.* Online. URL: https://bs-gmunden1.ac.at/fileadmin/user_upload/Berufsschule-Gmunden1/Import/Lehrstoffe/SPS_S7-TIA-Portal/1._S7-1200-1500_Grundlagen.pdf (besucht am 15.03.2025).
 - [27] Siemens. Online. URL: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/hw-config-s7-1200/programming-guideline-de.pdf> (besucht am 07.03.2025).
 - [28] Siemens. *Technologieobjekte.* Online. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/134/109743134/att_925648/v2/109743134_S7-1500T-TechnologyObjects_DOC_v10_de.pdf (besucht am 15.03.2025).
 - [29] SPS-Lehrgang. *SPS-Programmierung.* Online. URL: <https://www.sps-lehrgang.de/sps-programmierung/> (besucht am 19.03.2025).
 - [30] wikipedia. *Anweisungsliste.* Online. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Anweisungsliste> (besucht am 19.03.2025).
 - [31] Siemens. *Structured Code Language.* Online. URL: <https://www.automation.siemens.com/sce-static/learning-training-documents/tia-portal/advanced-programming-s7-1200/sce-051-201-scl-s7-1200-r1709-de.pdf> (besucht am 21.03.2025).

- [32] Siemens. *Einbindung von Bibliotheken*. Online. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/37364723/wie-k%C3%B6nnen-sie-globale-bibliotheken-im-tia-portal-%C3%B6ffnen-bearbeiten-und-hochr%C3%BCsten?dti=0&lc=de-WW#:~:text=%C3%96ffnen%20Sie%20die%20Task%20Card,Datei-Endung%20%22a1%22>. (besucht am 21.03.2025).
- [33] unknown. *User Manual CL57T Closed Loop Stepper Driver*. PDF. 22. Juli 2024.
- [34] Siemens. *TIA Portal Informationssystem*. Online. 1. Apr. 2025.
- [35] Xovi Glossar. Online. URL: <https://www.xovi.de/was bedeutet http/#:~:text=HTTP%20ist%20die%20Abk%C3%BCrzung%20f%C3%BCr,Client%20und%20Webserver%20verwendet%20wird>. (besucht am 18.02.2025).
- [36] OPC Router. Online. URL: <https://www.opc-router.de/was-ist-opc-ua/> (besucht am 18.02.2025).
- [37] Elektronik Kompendium. *HTTP Client Server Kommunikation*. Online. URL: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/net/0902231.htm#:~:text=Die%20Kommunikation%20findet%20nach%20dem,Server%20ist%20diese%20Verbindung%20beendet>. (besucht am 21.03.2025).
- [38] Siemens. *Libraries for Communication for SIMATIC Controllers*. Online. 23. März 2025.
- [39] buerklin. Online. URL: <https://www.buerklin.com/de/elektronik-kompetenz/instandhaltung/sicherheit-im-schaltschrankbau/> (besucht am 17.03.2025).
- [40] copyservice-shop. Online. URL: <https://www.copyservice-shop.de/Alu-Verbundplatte-Dibond-A4-A3-etc> (besucht am 13.02.2025).
- [41] Komaxgroup. Online. URL: <https://www.komaxgroup.com/en/stories/experience-the-smart-cabinet-building-initiative-up-close-and-personal> (besucht am 13.02.2025).
- [42] Smart cabinet building. Online. URL: https://www.smart-cabinet-building.com/de/loesungsangebot/digitales_engineering/loesungsangebot_zukene3/index.jsp (besucht am 13.02.2025).
- [43] elektronet. Online. URL: https://www.elektro.net/media/file/DYh4uat3cf/187f5a2f/DE_07_10_PP08.pdf (besucht am 19.03.2025).
- [44] beckhoff. Online. URL: https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=.. /content / 1031 / xts _ hygienic _ design _ ba / 7170992011 . html & id = 8528766451858564804 (besucht am 19.03.2025).
- [45] Stepperonline. *Nema-SM-Steckerbelegung*. Online. URL: <https://tinyurl.com/29e7hdam> (besucht am 20.03.2025).
- [46] ABB. Online. URL: <https://new.abb.com/low-voltage/de/produkte/installationsgeraete/fehlerstrom-schutzeinrichtungen/fi-typen> (besucht am 26.03.2025).

-
- [47] Sigurd Seyr u. a. *Elektroinstallation Blitzschutz Lichttechnik*. Verlag Jugend und Volk GmbH, 2022.
 - [48] Siemens. *S7-1500/S7-1500T Achsfunktionen V5.0 im TIA Portal V16*. Online.
 - [49] Schmersal. *Produktbild*. Online. URL: https://products.schmersal.com/de_AT/z4vh-335-02z-m20-101167776.html#mz-expanded-view-708407000705.
 - [50] Pepperl+Fuchs. *Datenblatt NBN8-18GM60-A2-V1*. Online. URL: https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/pds/326162-0005_ger.pdf?v=20240130135820.
 - [51] Sivago Semiconductors. Online. URL: <https://www.sivago.com.cn/upload/pdf/2022/TP808.pdf> (besucht am 28.02.2025).
 - [52] Kingbright. Online. URL: https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A500/LED5MMSTGE_LED5MMSTGN_LED5MMSTRT~KIN.pdf (besucht am 10.03.2025).
 - [53] Siemens. Online. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatasheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D3RK2200-0CE02-0AA2%26language%3Dde> (besucht am 14.03.2025).
 - [54] Baumer. Online. URL: https://www.baumer.com/de/de/service-support/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-lichtschranken-und-lichttastern/a/Know-how_Function_Lichtschranken-Lichttaster (besucht am 22.03.2025).
 - [55] SICK. Online. URL: https://cdn.sick.com/media/pdf/8/58/658/dataSheet_WTB4FP-22161100A00_1124609_de.pdf (besucht am 22.03.2025).
 - [56] SICK. *Produktbild*. Online. URL: <https://www.sick.com/at/de/catalog/produkte/detektionssensoren/lichttaster-und-lichtschranken/w4/wtb4fp-22161100a00/p/p671658?tab=detail#technical-details> (besucht am 21.03.2025).
 - [57] SICK. *Produktbild*. Online. URL: <https://cdn.sick.com/media/pim/5/35/135/IM0058135.png>.
 - [58] SICK. Online. URL: https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/644/dataSheet_CLV615-D2410_1068608_de.pdf (besucht am 14.03.2025).
 - [59] SICK. *SICK Lector6xx CLV6xx Funktionsbaustein: Technische Informationen*. PDF. 18. März 2025.
 - [60] Bernhard Wurnitsch. *Einführung Bussysteme der Automatisierungstechnik (Asi, Profibus, Profi-NET)*. WORD Dokument. 16. Okt. 2023.
 - [61] Siemens. Online. URL: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/73257075/wie-kann-ein-sinamics-oder-ein-antrieb-eines-drittanbieters-%C3%BCber-ger%C3%A4testammdatei-\(gsd\)-in-tia-portal-eingebunden-werden?dti=0&lc=de-BG](https://support.industry.siemens.com/cs/document/73257075/wie-kann-ein-sinamics-oder-ein-antrieb-eines-drittanbieters-%C3%BCber-ger%C3%A4testammdatei-(gsd)-in-tia-portal-eingebunden-werden?dti=0&lc=de-BG) (besucht am 23.03.2025).

-
- [62] Heinen Elektronik GmbH. Online. URL: <https://heinen-elektronik.de/glossar/profibus/> (besucht am 23.03.2025).
 - [63] Bürkert. Online. URL: <https://www.buerkert.de/de/service-support/knowledge-center/glossar/PROFINET-der-sichere-Kommunikationsstandard-in-industriellen-Netzwerken> (besucht am 23.03.2025).
 - [64] Bürkert. Online. URL: <https://www.buerkert.de/de/service-support/knowledge-center/glossar/as-interface-der-feldbusstandard> (besucht am 25.03.2025).
 - [65] Siemens. *SIMATIC ET200SP AS-Interface Master CM AS-i Master ST (3RK7137-6SA00-0BC1): Gerätehandbuch*. PDF. 23. Jan. 2025.
 - [66] LEIFIphysik. Online. URL: <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/ohmsches-gesetz-kennlinien/ausblick/gefahr-durch-strom> (besucht am 18.03.2025).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Logo der KNAPP AG, Quelle: [6]	15
Abb. 1.2	Logo der Weidmüller GMBH, Quelle: [8]	16
Abb. 1.3	Logo der igus GmbH, Quelle: [10]	16
Abb. 1.4	Logo der LAPP Austria GmbH, Quelle: [12]	17
Abb. 1.5	Logo der Mädler GmbH, Quelle: [14]	17
Abb. 2.1	Item Profil mit Standardverbindungssatz, Quelle: [15]	19
Abb. 2.2	V-Slot-Profil mit V-Wheel, Quelle: [16]	19
Abb. 2.3	Prototypen	20
Abb. 2.4	X-Achse	23
Abb. 2.5	X-Achse Gesamtansichten	23
Abb. 2.6	Zahnriemenkontraktion grafisch dargestellt	26
Abb. 2.7	YZ-Achse	29
Abb. 2.8	XY-Shuttle Gesamtansicht	29
Abb. 2.9	Bauteilzeichnung Umlenkrolle	31
Abb. 2.10	Umsetzung der Umlenkrollen	32
Abb. 2.11	Aufgebauter Rahmen und X-Achse	34
Abb. 2.12	Gesamtkonstruktion	35
Abb. 2.13	Gesamtüberblick des Servers	36
Abb. 2.14	Diagramm der BMOS bereitstellung	42
Abb. 2.15	Datenbankschema des AFSS	43
Abb. 3.1	Arbeitsweise einer SPS, Quelle: [26]	49
Abb. 3.2	Organisationsbausteine, Quelle: [27]	50
Abb. 3.3	Zugriff auf Global-DB, Quelle: [27]	51
Abb. 3.4	Sequenzdiagramm der Kontrollsignale, Quelle: [33]	56
Abb. 3.5	Baustein MC_GearIn	59
Abb. 3.6	HTTP-Client-Server Kommunikation, Quelle: [37]	63
Abb. 3.7	POST-Put Baustein, Quelle: [38]	65
Abb. 4.1	Serverschrank bei Übergabe an das AFSS-Team	72
Abb. 4.2	Dibond-Platte, Quelle: [40]	73
Abb. 4.3	Digitaler Zwilling, Quelle: [41]	74
Abb. 4.4	Sommerprototyp eines Serverschrankes	75
Abb. 4.5	Serverschrank konstruiert	76
Abb. 4.6	Siemens SITOP in Fusion360	78
Abb. 4.7	Der Schaltschrank in Fusion360 gezeichnet	79
Abb. 4.8	Schaltplan: Netzteile	84
Abb. 4.9	Seite 13 des Schaltplans, SM ohne Bremse	87
Abb. 4.10	Zusätzliche Kurzschließung von Spulen bei horizontalen Antrieben	88
Abb. 4.11	40Ncm Schrittmotoren im Schaltplan	90
Abb. 4.12	Sensoren mit den ASi-Slaves, erste Seite von vier	92
Abb. 4.13	Montierte Räder am Schaltschrank	94

Abb. 4.14 Schaltschrank mit eingebauten Modulen	96
Abb. 4.16 Service-Schnittstelle von Weidmüller	98
Abb. 5.1 Endschalter	101
Abb. 5.2 Schaltplan Referenzplatine	104
Abb. 5.3 Leiterplattenplan Referenzplatine	105
Abb. 5.4 Fertige Referenzplatine	106
Abb. 5.5 SICK Sensoren	107
Abb. 5.6 Barcodescanner Geräteübersicht im TIA-Portal	108
Abb. 5.7 Barcodescanner Beobachtungstabelle im TIA-Portal	109
Abb. 5.8 Topologie verschiedener Feldbusssysteme, Quelle: [61]	110
Abb. 5.9 Netzsicht im TIA-Portal mit ASi-Master und Slaves	112
Abb. 5.10 Siemens AS-Interface Komponente	114
Abb. 5.11 Kabelbrücke x-Achse	114
Abb. 7.1 Abmessungen Rahmen	119
Abb. 7.2 Abmessungen Schaltschrank	120
Abb. 7.3 Produktstrukturplan	122
Abb. 7.4 Terminplanung in MS Project	123
Abb. 7.5 Besprechungsprotokoll 10.12.2024	132
Abb. 7.6 Besprechungsprotokoll 16.10.2024	133
Abb. 7.7 Besprechungsprotokoll 10.12.2024	134
Abb. 7.8 Besprechungsprotokoll 14.3.2025	135

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	X-Achse unbeladen und eingefahren	25
Tab. 2.2	X-Achse beim Ladevorgang	25
Tab. 4.1	Übersicht der elektrischen Komponenten (SM steht für Schrittmotor) . .	81
Tab. 4.2	Anschlüsse des Schrittmotors	86
Tab. 4.3	Anschlüsse des Gebers	86
Tab. 4.4	Übersicht der Anschlüsse	87

Code-Snippets

1	XHR-Kommunikationsblock	38
2	JSON-Beispiel	38
3	Blueprint Beispiel	39
4	Schnittstelle für die SPS	40
5	Berechnung der Termfrequenz	45
6	Berechnung der Inversen Dokumentenfrequenz	45
7	Berechnung der Kosinusähnlichkeit	46
8	SCL Baustein „ID+Area“	67