



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Tjare Schlemminger

Konzeption und Entwicklung einer visualisierten Programmsteuerung für eine Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen

Tjare Schlemminger

Konzeption und Entwicklung einer visualisierten Programmsteuerung für eine Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen

Bachelor-/Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelor-/Masterprüfung

im Studiengang Mechatronik
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
PlantaCorp GmbH
Technik
Bankstraße 4-6
20097 Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Jörg Dahlkemper
Zweitprüfer/in: Prof. Dr. Anna Usbeck

Abgabedatum: 14.07.2021

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Tjare Schlemminger

Thema der Bachelorthesis

Konzeption und Entwicklung einer visualisierten Programmsteuerung für eine Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen

Stichworte

Automatisierung, SPS, Schaltpläne, HMI, Software Engineering, Liposomen, Produktionsprozess

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Automatisierung einer Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen thematisiert. Dafür werden zunächst die zur Automatisierung notwendigen Anforderungen zusammengefasst, um in den darauffolgenden Arbeitsphasen, ein geeignetes Gesamtsystem zusammenzustellen, das dann in das vorhandene System integriert wird. Hierzu gehören sowohl die Auswahl der Komponenten als auch die Planung und Realisierung des Schaltschrankaufbaus, der Verdrahtung und die Programmierung sowie Visualisierung der Steuerung. Durch eine abschließende Funktionsanalyse wird das Gesamtsystem auf seine Funktionen überprüft.

Name of Student

Tjare Schlemminger

Title of the paper

Conception and development of a visualized program control for a process plant for the production of liposomal formulations

Keywords

Automation, PLC, circuit diagrams, HMI, software engineering, liposomes, production process

Abstract

This thesis describes the automation of a process plant for the production of liposomal formulations. First, the requirements necessary for automation are summarized in order to put together a suitable overall system in the subsequent work phases, which is then integrated into the existing system. This includes the selection of the components as well as the planning and implementation of the control cabinet structure, the wiring and the programming and visualization of the control. The overall system is checked for its functions by means of a final functional analysis.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziel	1
1.3 Vorgehen	1
2. Stand der Technik und Ausgangssituation.....	2
2.1 Stand der Technik.....	2
2.1.1 Liposomen und ihr Herstellungsprozess	2
2.1.2 Entwicklung automatisierungstechnischer Software.....	4
2.1.3 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und ihre Schnittstellen	7
2.2 Ausgangssituation.....	9
3. Analyse der Anforderungen.....	15
4. Konzeption.....	17
4.1 Erarbeitung verschiedener Grundkonzepte der Hardware.....	17
4.2 Vergleich der verschiedenen Alternativen gegenüber den Anforderungen	23
5. Entwicklung	26
5.1 Auswahl der Steuerungskomponenten	26
5.2 Entwicklung des Schaltschrankaufbaus und Erstellung des Schaltplans	28
5.3 Entwicklung der Steuerung.....	33
5.3.1 Betriebskopf	33
5.3.2 Handbetrieb.....	34
5.3.3 Automatikbetrieb	37
5.5 Entwicklung der Visualisierung	42
5.6 Entwicklung der Störungshandhabung.....	45
5.7 Entwicklung der Datenarchivierung.....	46
6. Realisierung und Test	47
6.1 Schaltschrankbau.....	47
6.2 Programmieren der Steuerung.....	49
6.2.1 Funktionsbaustein „Input_mapping“	49
6.2.2 Funktionsbaustein „Operating_head“	50
6.2.3 Funktionsbaustein „Auto_mode“	51
6.2.4 Funktionsbaustein „Manual_mode“	52
6.2.5 Funktionsbaustein „RS485_communication“	53
6.2.6 Funktionsbaustein „Calculation“	56
6.2.7 Datenbaustein „Parameter“	58
6.2.8 Funktionsbaustein „Failure_handling“.....	59
6.2.9 Funktionsbaustein „WP231PR“	61
6.2.10 Funktionsbaustein „Output_mapping“	62
6.3 Visualisierung des Prozesses.....	63

6.3.1 Automatikbetrieb	63
6.3.2 Rezeptauswahl	65
6.3.3 Handbetrieb.....	66
6.3.4 Kurven.....	67
6.3.5 Waagen Kalibrierung.....	68
6.3.6 Störmeldungen.....	69
6.4 Anbindung an die Prozessanlage	70
6.5 Funktionstests	72
6.5.1 Automatikbetrieb	72
6.5.2 Handbetrieb.....	74
6.5.3 Kurvenverläufe	75
6.5.4 Waagen Kalibrierung.....	76
6.5.5 Störmeldungen.....	77
7. Zusammenfassung und Fazit	78
Literaturverzeichnis.....	80
Anhang A - Schaltplan.....	84
Anhang B - Petrinetze.....	94
Anhang C - Programmcode.....	99
Anhang D - Stückliste.....	126

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Liposom	2
Abbildung 2: Studie zur Bioverfügbarkeit von Liposomalem Vitamin C	3
Abbildung 3: „Continuous Function Chart“ (CFC) [7]	4
Abbildung 4: „Sequence Function Chart“ (SFC) [8]	5
Abbildung 5: Petrinetz Komponente	5
Abbildung 6: Petrinetz Beispiel eines Stofflösers	6
Abbildung 7: Steuerkreis	7
Abbildung 8: Profibus DP	8
Abbildung 9: Prozessanlagen	9
Abbildung 10: Aktueller Schaltschrank	10
Abbildung 11: Prozessanschlüsse unterhalb der Anlage	11
Abbildung 12: Tankinnenraum unten	11
Abbildung 13: Prozessanschlüsse oberhalb der Anlage	12
Abbildung 14: Tankinnenraum oben	13
Abbildung 15: Prozess Ablaufdiagramm	14
Abbildung 16: Schematischer Tankaufbau	18
Abbildung 17: Schaltschrankentwurf	28
Abbildung 18: Schaltplan 1/3	29
Abbildung 19: Schaltplan 2/3	30
Abbildung 20: Schaltplan 3/3	30
Abbildung 21: Betriebskopf - SIPN 0.0	33
Abbildung 22: Handbetrieb - SIPN 1.2	34
Abbildung 23: Handbetrieb 1/2 - SIPN 1.2	35
Abbildung 24: Handbetrieb 2/2 - SIPN 1.2	36
Abbildung 25: Automatikbetrieb - SIPN 1.0	37
Abbildung 26: Automatikbetrieb 1/4 - SIPN 1.0	38
Abbildung 27: Vakuum Erzeugung - SIPN 1.1	38
Abbildung 28: Automatikbetrieb 2/4 - SIPN 1.0	39
Abbildung 29: Automatikbetrieb 3/4 - SIPN 1.0	40
Abbildung 30: Automatikbetrieb 4/4 - SIPN 1.0	41
Abbildung 31: Verdrahteter Schaltschrankinnenaufbau	47
Abbildung 32: Schaltschrankaufbau Unterseite	48
Abbildung 33: Schaltschrankaufbau Oberseite	48
Abbildung 34: Deklaration der Eingänge	49
Abbildung 35: Zuweisung der Eingänge	49
Abbildung 36: Betriebskopf Programmcode	50
Abbildung 37: Automatikbetrieb Programmcode	51
Abbildung 38: Handbetrieb Programmcode	52
Abbildung 39: RS485 Kommunikationsaufbau	53
Abbildung 40: Setzen der Zielfrequenz des Rührwerkantriebs	53
Abbildung 41: Zähler für Zugriffszeitpunkte	54
Abbildung 42: Freigabe der Antriebsmotoren	55
Abbildung 43: Berechnung der Durchflussmenge	56

Abbildung 44: Temperatur Messwert Umrechnung.....	57
Abbildung 45: Füllstand Analogwert Umrechnung.....	57
Abbildung 46: Deklaration der Parameter.....	58
Abbildung 47: Rezepturen.....	58
Abbildung 48: Fehlerberechnung „Volume not changing“.....	59
Abbildung 49: Auslösung des Systemfehlers.....	59
Abbildung 50: Auslösen einer HMI-Meldung.....	60
Abbildung 51: Generierung der HMI-Meldungen.....	60
Abbildung 52: Prozessdaten des Wägemoduls.....	61
Abbildung 53: Befehlsausführung des Wägemoduls.....	61
Abbildung 54: Justagegewichte aus Datensatz 3.....	61
Abbildung 55: Programmauszug 1/2 „Output_mapping“.....	62
Abbildung 56: Aufruf der Funktion „Output_mapping“ im OB1.....	62
Abbildung 57: Programmauszug 2/2 „Output_mapping“.....	62
Abbildung 58: Visualisierung des Automatikbetriebes.....	63
Abbildung 59: HMI-Hinweise.....	64
Abbildung 60: Variablenanbindung der Visualisierung.....	64
Abbildung 61: Visualisierung der Rezeptauswahl.....	65
Abbildung 62: Visualisierung des Handbetriebes.....	66
Abbildung 63: Warnhinweis beim Starten der Heizung.....	66
Abbildung 64: Visualisierung der Kurvenverläufe.....	67
Abbildung 65: Visualisierung der Waagenkalibrierung.....	68
Abbildung 66: HMI-Meldefenster.....	69
Abbildung 67: Finaler Schaltschrankaufbau.....	70
Abbildung 68: Oberer Tankaufbau nach Anbindung.....	71
Abbildung 69: Magnetventil unterhalb des Tanks.....	71
Abbildung 70: Parameter des Rezeptes "Vitamin X".....	72
Abbildung 71: Auszug der Archivierung.....	72
Abbildung 72: Prozessverlauf im Automatikbetrieb.....	73
Abbildung 73: Visualisierung des Automatikbetriebes auf dem HMI.....	73
Abbildung 74: Visualisierung des Handbetriebs auf dem HMI.....	74
Abbildung 75: Visualisierung der Kurvenverläufe „Trace 1“ auf dem HMI.....	75
Abbildung 76: Visualisierung der Kurvenverläufe „Trace 2“ auf dem HMI.....	75
Abbildung 77: Visualisierung der Waagenkalibrierung auf dem HMI.....	76
Abbildung 78: Visualisierung einer Störmeldung auf dem HMI.....	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungsliste.....	15
Tabelle 2: Signale der Sensoren.....	19
Tabelle 3: Signale der Aktoren.....	19
Tabelle 4: Morphologischer Kasten	21
Tabelle 5: Gesamtlösungen	21
Tabelle 6: Vergleich der Gesamtlösungen gegenüber den Anforderungen	23
Tabelle 7: Komponente und Schutzelemente	26
Tabelle 8: Komponente und Schaltelemente	27
Tabelle 9: Verlustleistung	31
Tabelle 10: Petrinetz Eigenschaften	41
Tabelle 11: Visualisierungsanforderungen - Automatikbetrieb.....	42
Tabelle 12: Visualisierungsanforderungen - Handbetrieb	43
Tabelle 13: Visualisierungsanforderungen - Rezepte	43
Tabelle 14: Visualisierungsanforderungen - Kurven	44
Tabelle 15: Visualisierungsanforderungen - Waagen Kalibrierung.....	44
Tabelle 16: Störungen	45
Tabelle 17: Adressen der Frequenzumrichter	54
Tabelle 18: Befehlscodes des Wägemoduls	61

Abkürzungsverzeichnis

ΔT *Temperaturunterschied*
A *Ampere*
AI *Analog Input*
AS *Automation Station*
AT *Automatisierungstechnik*
CFC *Continuous Function Chart*
CIP *Clean In Place*
DC *Direct Current*
DI *Digital Input*
DO *Digital Output*
f *Ausgleichsfaktor*
HMI *Human Machine Interface*
I *Strom*
KW *Kilowatt*
LED *Light-emitting diode*
OS *Operator Station*
P *Leistung*
RTD *Resistance Temperature Detector*
SFC *Sequence Function Chart*
SPS *Speicherprogrammierbare Steuerung*
Ti *See, Schaltschrank Innentemperatur*
Tu *Umgebungstemperatur*
U *Spannung*
V *Volt*
V̇ *Volumenstrom*
VPS *Verbindungsprogrammierte Steuerung*

1. Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit soll eine Prozessanlage zur Herstellung liposomaler Formulierungen automatisiert werden. Im Folgenden werden die Konzeption und Entwicklung dieses Projektes erläutert.

1.1 Motivation

Aufgrund von kundenindividuellen Produkthanforderungen kommt es seit Jahren zu einer kontinuierlich steigenden Variantenvielfalt. Um die Wirtschaftlichkeit nicht zu gefährden, wird es somit zunehmend wichtiger, Prozessabläufe zur Effizienzsteigerung zu optimieren. Einen bedeutenden Teil trägt dazu die Automatisierung der zu verwendenden Prozessanlagen bei. [1] Zur Automatisierung gehören alle Maßnahmen, die zu einem vollständigen oder teilweise selbständigen Prozessablauf führen. Dabei kann der Prozess durch ein zuvor erstelltes Programm oder eine künstliche Intelligenz gesteuert werden. [2] Die aktuell bestehende Prozessanlage, zur Herstellung von Lipiden Nanopartikeln, verfügt lediglich über eine manuelle Steuerung der Aktoren mit visuellen Messinstrumenten. Hieraus resultierend hat der Bediener die gesamte Verantwortung über den Ablauf des Prozesses. Er soll die Messinstrumente selbst auswerten und die jeweiligen Aktoren ein- und ausschalten. Hierdurch ist ein stabil gleichbleibender Prozess nicht gewährleistet und die Einarbeitung neuer Maschinenbediener sehr aufwändig.

1.2 Ziel

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine bestehende Prozessanlage mit 250 l Fassungsvermögen und manueller Steuerung durch eine Automatisierung zu erweitern. Über ein Human Machine Interface (HMI) kann der aktuelle Prozess beobachtet und gesteuert werden. Eine einfache Bedienung sowie ein einheitlicher Prozessablauf soll hierbei eine gleichbleibende Produktqualität sicherstellen. Zusätzlich können Parameter vorangegangener Prozesse über eine Archivierungsfunktion nachvollzogen werden.

1.3 Vorgehen

Um das Projekt erfolgreich durchzuführen, werden verschiedene Phasen nacheinander durchlaufen. Die Umsetzung hierbei wird nach dem Top-down-Prinzip realisiert. Zunächst wird der aktuelle Stand der Technik recherchiert und dargelegt. Anschließend werden nach Analyse der Anforderungen, geeignete Lösungsmöglichkeiten in einer Konzeptionsphase zusammengestellt und miteinander verglichen. Während der Entwicklung erfolgt die Planung der Verdrahtung, der Software und der Visualisierung. In der danach folgenden Realisierungsphase findet die Umsetzung der ausgewählten Lösungen statt. Im Anschluss an die Realisierung wird die Implementierung der Steuerung sowie das Testen des Gesamtsystems durchgeführt. In einer abschließenden Zusammenfassung wird sowohl ein Fazit über den Verlauf des Projektes als auch das Erfüllen der Anforderungen gezogen. Aufgrund der multikulturellen Zusammensetzung der Beschäftigten des Unternehmens erfolgt die Verfassung der Anlagendokumentation in englischer Sprache.

2. Stand der Technik und Ausgangssituation

In diesem Teil der Arbeit erfolgt zunächst die Aufarbeitung des aktuellen Stands der Technik und anschließend die Analyse sowie die Darstellung der bestehenden Ausgangssituation.

2.1 Stand der Technik

Um den Stand der Technik auf diesem Gebiet wiederzugeben, werden für dieses Thema relevante Themengebiete in Hinblick auf den aktuellen Forschungsstand erörtert.

2.1.1 Liposomen und ihr Herstellungsprozess

Liposomen sind Nanopartikel und fungieren als Wirkstoffträger, in denen verschiedene Wirkstoffe gekapselt werden können (siehe Abbildung 1). Die äußere Hülle besteht – ähnlich wie die menschlichen Zellen – aus Phospholipiden. Durch diese Schutzhülle, auch Imitation genannt, weichen die Liposomen dem natürlichen Ausscheidungsprozess der Milz und Leber aus, und gelangen so in den Blutkreislauf. Anschließend können die gekapselten Stoffe freigesetzt werden. [3]

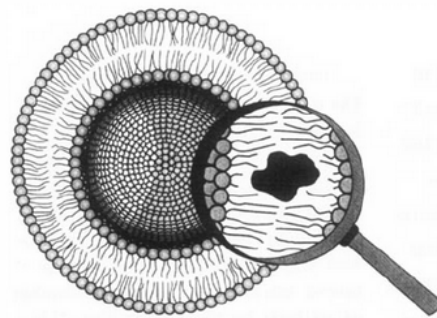


Abbildung 1: Liposom

Anhand der Abbildung 1 ist der Aufbau eines einschichtigen (unilamellaren) Liposoms zu sehen. Liposomen sind amphiphil, was bedeutet, dass ein Molekül sowohl wasserliebende als auch fettliebende Bestandteile hat. Die Kugeln stellen die wasserliebenden Molekülteile und die Linien die fettliebenden Molekülteile dar. Befinden sich die Moleküle in einer wässrigen Umgebung, dann orientieren sich die wasserliebenden Molekülteile nach außen. Die fettliebenden Molekülteile befinden sich dann im Inneren der Doppelschicht. Durch das Einwirken äußerer Kräfte schließen sich diese Doppelschichten zu Kugeln zusammen. Das Umgebungsmedium wird hierdurch im inneren Kompartiment (Membranbereich) in der Liposomen Hülle eingeschlossen. Dies ist davon abhängig, ob der Wirkstoff eher wasser- oder fettliebend ist. [4]

Durch diese Fähigkeit der Imitation bieten liposomale Formulierungen eine deutlich höhere Bioverfügbarkeit als vergleichbare Kapseln zur oralen Einnahme. Anhand der Abbildung 2 sind Ergebnisse einer Studie dargestellt, bei der den Probanden Vitamin-C-Präparate in unterschiedlicher Form verabreicht und der Vitamin-C-Gehalt im Blut beobachtet wurden. Wie zu erkennen, verzeichnen die Probanden, denen das liposomale Präparat verabreicht wurde, nach der letzten Messung einen nahezu dreifachen Vitamin C Gehalt gegenüber den Probanden mit einem Standardpräparat. [5]

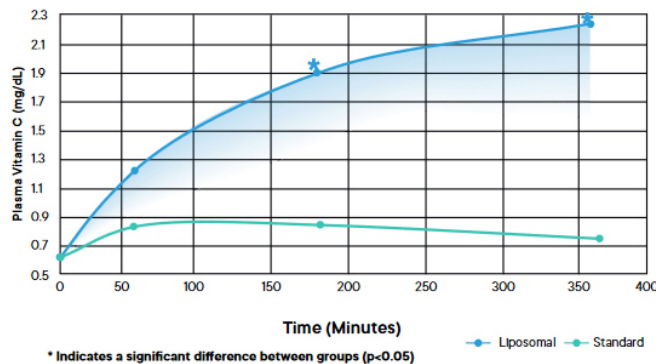


Abbildung 2: Studie zur Bioverfügbarkeit von Liposomalem Vitamin C

Zur Herstellung der Liposomen eignen sich unterschiedliche Verfahren. Bei jedem Verfahren werden externe Kräfte auf das zu bearbeitende Medium aufgebracht, um eine Liposomen-Bildung zu erreichen. Je nach Verwendung der Methoden unterscheiden sich die Charakteristika der einzelnen Liposome. Eine häufig verwendete Methode ist die Homogenisation, bei der die Dispersion durch eine kleine Öffnung gepresst wird. Die hier auftretenden Strömungskräfte sorgen für die Bildung der Liposome und können zur Größenkontrolle der Liposome verwendet werden. Eine weitere Methode ist das Dispergieren mit hochscherenden Rührern, die zur Herstellung eher grobteiliger Dispersion von großen Liposomen genutzt werden. Hierbei wird das Medium für ca. 30 min in einem Rührbehälter von einem Rotor/Stator-System dispergiert. Die auftretenden Scherkräfte bewirken die Liposomenbildung. [4] Zudem ist es möglich, Liposome unter der Verwendung von Ultraschall herzustellen. Hierbei wird das Medium mit einem Schallsignal ab 20 kHz beaufschlagt. Der daraus resultierende Schalldruck sorgt für den Kavitationseffekt, bei dem es durch die periodische Kompression und Dehnung des Mediums zur Blasenbildung und anschließendem Aufreißen der Blasen kommt. Durch das Aufreißen der Blasen entstehen große mechanische Kräfte, die für die Bildung der Liposome verantwortlich sind. Je nach Frequenz und Amplitude des Schallsignals können sich Charakteristika der Liposome stark unterscheiden. [3]

2.1.2 Entwicklung automatisierungstechnischer Software

Die Realisierung von automatisierungstechnischer Software unterscheidet sich – aufgrund der sehr viel engeren Kopplung zum technischen System – von einer allgemeinen Software. Der strukturgebende Faktor ist hierbei der technologische Prozess, durch den die verfahrens- oder fertigungstechnischen Vorgänge beschrieben werden.

Das Prozessleitsystem in der Prozessindustrie wird üblicherweise in zwei Teile unterteilt. Die „Operator Station“ (OS) ist hierbei zur Prozessführung zuständig und realisiert die Auswertung sowie das Verhalten der HMIs, über welche die Anlage bedient wird. Die für den Prozess notwendigen Steuerungs- und Regelungsfunktionen werden von der „Automation Station“ (AS) übernommen.

Diese Aufgabe wird durch die speicherprogrammierbaren Steuerungen – nachfolgend SPS genannt und im Folgekapitel 2.1.3 beschrieben – umgesetzt. Die Automatisierungssoftware der Automation Station richtet sich nach einem zuvor erstellten Ablaufplan, der durch die im Programm hinterlegten Funktionsbausteine realisiert wird. Im Gegensatz hierzu besteht die Automatisierungssoftware der Operation Station aus den Bedienbildern, also der Visualisierung, die auf dem HMI angezeigt wird. Die Struktur erfolgt hierbei über grafische Elemente, die meist eine Übersicht der wichtigsten Anlagenparameter darstellen und mit den Variablen der AS kommunizieren.

Zum Erstellen von Ablaufplänen gibt es unterschiedliche Methoden, von denen auf drei Methoden im Folgendem weiter eingegangen wird. Zwei häufig verwendete Methoden sind das Continuous Function Chart (CFC) und das Sequence Function Chart (SFC). Wie anhand der Abbildung 3 zu erkennen, werden verschiedene Funktionsbausteine logisch miteinander verschaltet und so die Softwarefunktion realisiert. Die Eingangsvariablen sind hierbei jeweils auf der linken Seite und die Ausgänge auf der rechten Seite angegeben. [6]

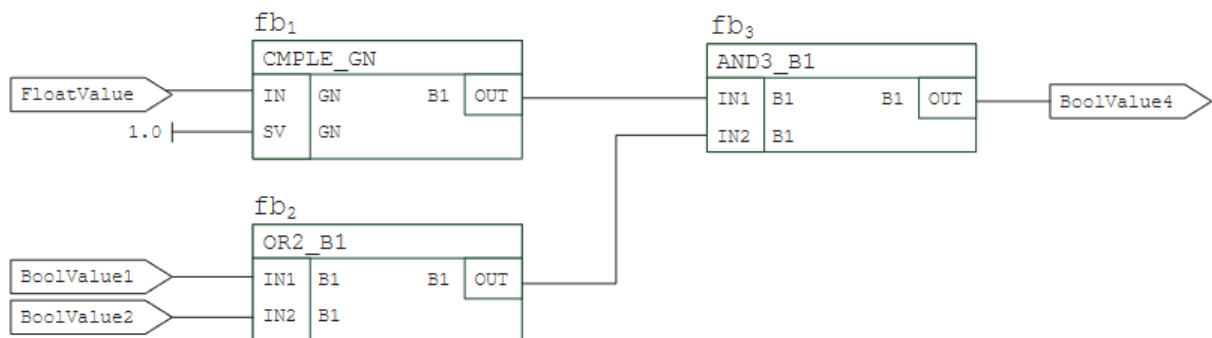


Abbildung 3: „Continuous Function Chart“ (CFC) [7]

Das SFC hingegen beschreibt ein ablaforientiertes Verhalten über Transitionen und Schritte, die durch gerichtete Kanten miteinander verbunden werden. Wie anhand der Abbildung 4 zu sehen, werden die Transitionen an Bedingungen geknüpft und weitere Schritte mit vordefinierten Aktionen gekoppelt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, bei komplexeren Sequenzen Sprünge oder Parallelzweige zu modellieren. [6]

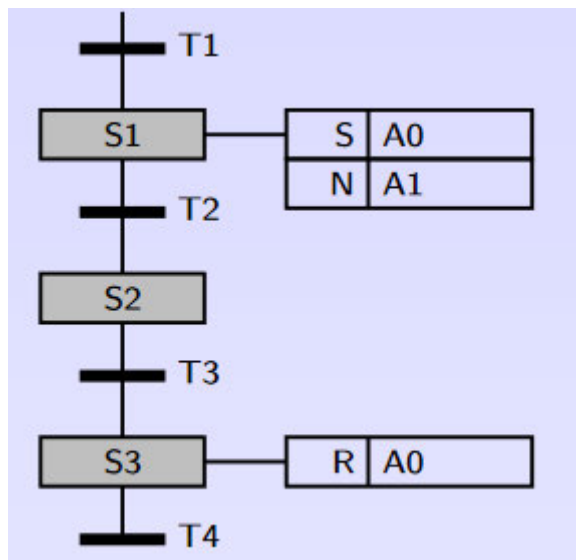


Abbildung 4: „Sequence Function Chart“ (SFC) [8]

Eine weitere Methode zur Modellierung ereignisdiskreter Systeme sind sogenannte Petrinetze. Sie eignen sich besonders für Ablaufsteuerungen und Steuerungsaufgaben mit nebenläufigen Prozessen. Durch die Verwendung von Petrinetzen resultiert infolge der verständlichen, grafischen Darstellung automatisch eine verständliche Dokumentation, die sich gleichzeitig zur Codegenerierung eignet.

Wie anhand der Abbildung 5 zu sehen, besteht jedes Petrinetz aus verschiedenen Basiskomponenten.

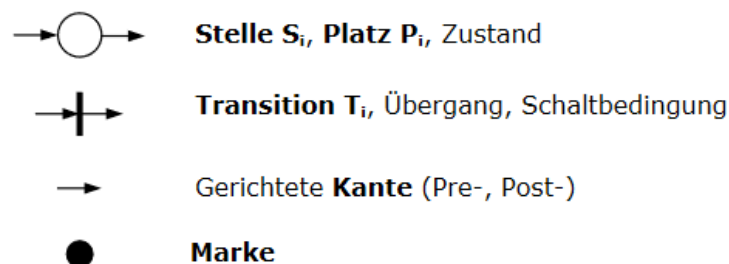


Abbildung 5: Petrinetz Komponente

Eine Stelle beschreibt den Zustand eines Systems und ist nur dann aktiv, wenn sich in der Stelle eine Marke befindet. Im Gegensatz zum SFC hat ein Petrinetz kein speicherndes Verhalten. Es ist deshalb übersichtlicher, da Nebenläufigkeiten sofort erkannt werden. [8]

Die Marken können durch die Schaltbedingung einer Transition an die nächste Stelle übergeben werden, sofern diese durch gerichtete Kanten miteinander verbunden sind. Eine Transition kann nur dann schalten, wenn alle Eingangsstellen belegt und alle Ausgangsstellen frei sind.

Nach dem Schalten einer Transition werden alle Ausgangsstellen mit einer Marke besetzt. Anhand der Abbildung 6 ist das mögliche Petrinetz eines Stofflösers in Form eines Bedingungs-/Ereignisnetzes dargestellt. Bei dieser Form des Petrinetzes kann jede Stelle genau eine oder keine Marke enthalten. Das System startet im Zustand „Ruhe“. Nach dem Schalten der Transition T1 wird die Marke dem Zustand „Ruhe“ abgezogen und an den Zustand „Vorlegen“ übergeben. Befindet sich die Marke nach Schalten von T2 nun im Zustand „Fördern“, kann die Transition T3 schalten. Hierbei wird die Marke dem Zustand „Fördern“ entzogen und jeweils eine Marke an den Zustand „Rühren“ und „Lösen“ übergeben. Die Transition T5 kann nun erst schalten, wenn zuvor die Transition T4 geschaltet hat, und sich eine Marke im Zustand „Leeren“ befindet. Anschließend befindet sich das System zurück in der Ausgangsposition.

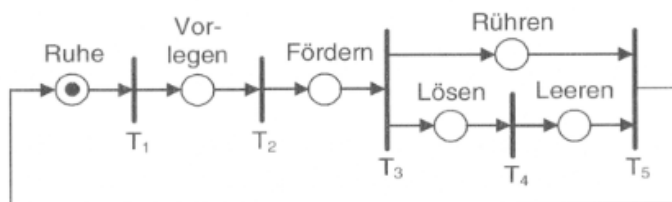


Abbildung 6: Petrinetz Beispiel eines Stofflösers

Unabhängig von den verbundenen Stellen an einer Transition können weitere Schaltbedingungen, wie beispielsweise Sensorsignale, an eine Transition geknüpft werden. Zwei weitere Sonderfälle sind Zeit- und Löschttransitionen. Bei einer Zeittransition ist es eine Voraussetzung, dass alle Schaltbedingungen für einen gewissen Zeitraum aktiv sind, bevor die Transition schaltet. Löschttransitionen entfernen Marken aus beliebigen Stellen. Diese werden dazu verwendet, Systeme in einen kontrollierten Zustand zu bringen. Jedes Petrinetz kann in Abhängigkeit der Anfangsmarkierung die folgenden Eigenschaften aufweisen[9]:

- Tote Transition
Die Transition wird bei keiner Folgemarkierung der Anfangsmarkierung aktiviert.
- Deadlock
Der Markenfluss kommt vollständig zum Stillstand, weil es für eine erreichte Markierung keine aktivierten Transitionen gibt.
- Schwache Lebendigkeit
Für jede Markierung gibt es mindestens eine schaltfähige Transition. Deadlockfreie Netze sind mindestens schwach lebendig und dürfen einzelne „tote“ Transitionen aufweisen.
- Starke Lebendigkeit
Durch eine geeignete Schaltfolge des Petrinetzes kann jede Transition immer wieder aktiviert werden.

2.1.3 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und ihre Schnittstellen

Zur Automatisierung von Prozessen werden sogenannte speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) verwendet. Im Gegensatz zur verbindungsprogrammierten Steuerung (VPS), bei der die Logik über die Verdrahtung der Hardware erfolgt, wird die Logik der SPS innerhalb einer Software festgehalten. Die verschiedenen Sensoren und Aktoren werden hierzu direkt an die jeweiligen Ein- bzw. Ausgänge der SPS verbunden.

Der Steuerungsablauf verläuft dabei wie anhand der Abbildung 7 nach dem EVA-Prinzip (Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe). Die Sensordaten werden zunächst durch die Eingänge eingelesen und die zugehörigen Ausgänge entsprechend der Softwarelogik geschaltet. [10]

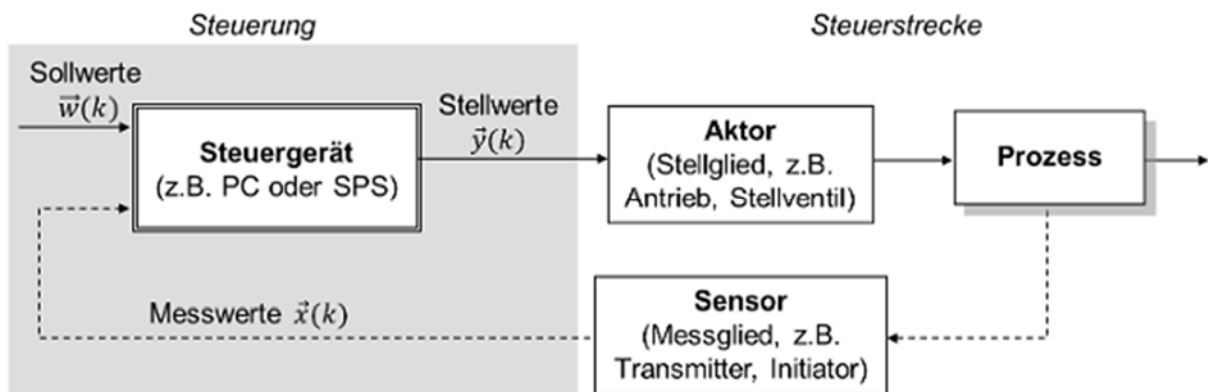


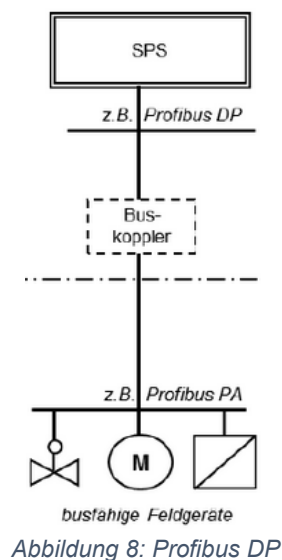
Abbildung 7: Steuerkreis

Unterschieden wird laut [10] grundsätzlich zwischen folgenden Aufbauarten bei SPS:

- Hardware SPS
Alleinstehende, erweiterbare Steuerung mit eigener Stromversorgung, CPU und RAM zum Gebrauch in Schaltschränken oder Gehäusen
- Slot-SPS
Einsteckkarte mit Feldbuskopplung für den PC mit Co-Prozessor, gemeinsamen Speicher und Stromversorgung
- Soft-SPS
Reine Software mit der Ausführung auf einem PC mit verschiedenen Schnittstellen

Die Anbindung der Ein- und Ausgänge erfolgt je nach Ausstattung der SPS durch binäre-/ analoge Signale oder über Bussysteme. Binäre Eingangssignale werden häufig durch einfache Sensoren z.B. Anwesenheitskontrollen, Niveauschalter, verwendet, die bei einem positiven Schaltzustand eine positive Schaltspannung an den Eingang der SPS anlegen und diesen hierdurch auf 1 setzen. Ähnlich verhält es sich mit den binären Ausgangssignalen. Wird ein Ausgang auf 1 geschaltet, gibt die SPS den jeweiligen Spannungspegel auf den Ausgang, wodurch sich Aktoren, wie beispielsweise

Magnetventile, Relais, steuern lassen. Analoge Ein- und Ausgangssignale hingegen nutzen Spannungs- oder Strombereiche von 0 bis 10 V, 0 bis 20 mA und 4 bis 20 mA, um Signale einzulesen oder auszugeben. Diese Bereiche werden dazu genutzt, um Sensoren wie beispielsweise Temperatur-, Durchfluss- oder Füllstandsmessungen auszuwerten. Über die analogen Ausgänge können so z.B. Regelventile und Motorgeschwindigkeiten gesteuert werden. Das Signal 4 – 20 mA hat zusätzlich die Funktion der Drahtbruchüberwachung, da in diesem Fall 0 mA gemessen werden würden. Eine weitere Möglichkeit der Signalverarbeitung ist die Kommunikation über Bussysteme. Bei dieser Art der Kommunikation werden die Informationen seriell über verdrehte Zwei- oder Vierdrahtleitungen übertragen, die von mehreren Teilnehmern genutzt werden können. Durch die serielle Datenübertragung können somit deutlich mehr Daten, ohne weitere Leitungen übertragen werden. Hierdurch entstehen zwar höhere Übertragungszeiten, die aber immer noch innerhalb der Zykluszeiten einer SPS liegen. Anhand der Abbildung 8 ist das Verdrahtungskonzept einer SPS mit den Aktoren über eine Profibus-Verbindung verdeutlicht.



Je nach Bussystem unterscheiden sich die verwendeten Protokolle, Geschwindigkeiten und Kommunikationsstrukturen. [10]

2.2 Ausgangssituation

Für den aktuellen Produktionsprozess stehen, wie anhand der Abbildung 9 zu erkennen, drei Prozessanlagen in unterschiedlichen Größen mit 250 l, 500 l und 1000 l zur Verfügung. Die kleinste Anlage mit 250 l (siehe Abbildung 9; Nr.1) ist die in diesem Projekt zu automatisierende Prozessanlage, die im Gegensatz zu den Anderen außerdem mit zwei Heizelementen ausgestattet ist. Alle drei Anlagen befinden sich auf einem begehbaren Podest und sind auf jeweils drei Wägezellen (siehe Abbildung 9; Nr.2) zur Gewichtserfassung gelagert.



Abbildung 9: Prozessanlagen

Alle Anlagen arbeiten nach dem gleichen Prinzip und können über den zentralen Schaltschrank gesteuert werden (siehe Abbildung 10). Hierbei ist es möglich, die einzelnen Aktoren manuell zu bedienen und über diverse Anzeigegeräte aktuelle Sensorwerte abzulesen. Durch die Kombination aller Prozessanlagen in einem Schaltschrank wird die Bedienung der Anlage während des Betriebes schnell unübersichtlich. Die Controller (siehe Abbildung 10; Nr.1) steuern die Wasserbefüllung des Tanks je nach Parametrierung. Die oberen Anzeigen (siehe Abbildung 10; Nr.2) zeigen den Messwert der Wägezellen an und können diesen hierüber kalibrieren. Die aktuelle Innentemperatur des 250 l Produktionstanks wird von dem Anzeigeelement (siehe Abbildung 10; Nr.3) dargestellt. Durch die sechs Regler in der Mitte des Schaltschranks (siehe Abbildung 10; Nr.4) können die Geschwindigkeiten der Antriebsmotoren angepasst werden. Je nach Bedarf ist es möglich, die Einschaltdauer des Hochscherantriebs (Rotor/Stator System) zusätzlich durch die Zeitrelais (siehe Abbildung 10; Nr.5) festzulegen. Über die Bedienung der Schaltknöpfe (siehe Abbildung 10; Nr.6), werden die jeweiligen Aktoren ein- und ausgeschaltet.

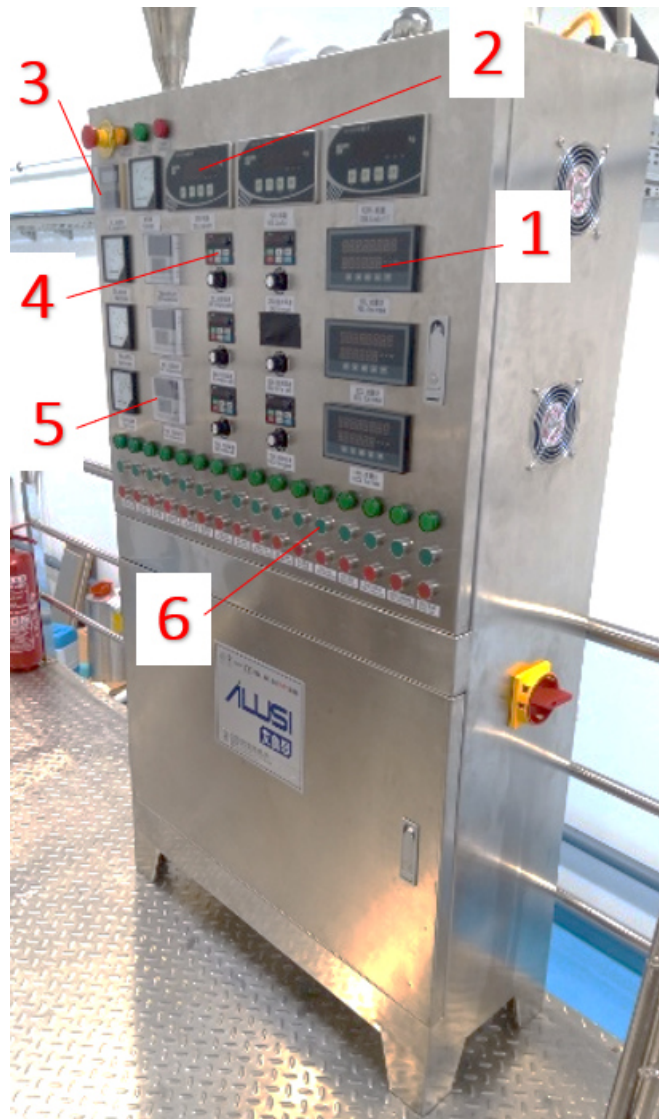


Abbildung 10: Aktueller Schaltschrank

Anhand der Abbildung 11 sind die Aktoren und Sensoren unterhalb des 250 l Tanks zu sehen. Der Hochscherantrieb (siehe Abbildung 11; Nr.1) ist mit dem Hochschermesser (Rotor/Stator System) im Tank (siehe Abbildung 12; Nr.1) verbunden, der für das Dispergieren des Produktes zuständig ist. Die beiden Heizelemente (siehe Abbildung 11; Nr.2) und die dazugehörigen Handventile (siehe Abbildung 11; Nr.6) können bei Bedarf zugeschaltet werden, sind jedoch für den aktuellen Produktionsprozess irrelevant. Dahinter befindet sich die Ultraschallsonde (siehe Abbildung 11; Nr.3) und (siehe Abbildung 12; Nr.2), die durch Ultraschallmodulation die Herstellung der Liposomen einleitet. Die Vakuum Pumpe (siehe Abbildung 11; Nr.4) sorgt für einen Unterdruck im Produktionstank, wodurch das Pulver zur Herstellung über das Hauptventil (siehe Abbildung 11; Nr.5) von unten in den Tank eingesogen werden kann. Die Wasserzufuhr wird über das Magnetventil (siehe Abbildung 11; Nr.7) und den darüber befindlichen Durchflusssensor (siehe Abbildung 11; Nr.8) realisiert. Ein zusätzlicher Controller steuert hierzu das Magnetventil und schließt es, sobald die gewünschte Füllmenge erreicht ist. Der Temperaturfühler (siehe Abbildung 11; Nr.9) misst die Produkttemperatur innerhalb des Tanks.

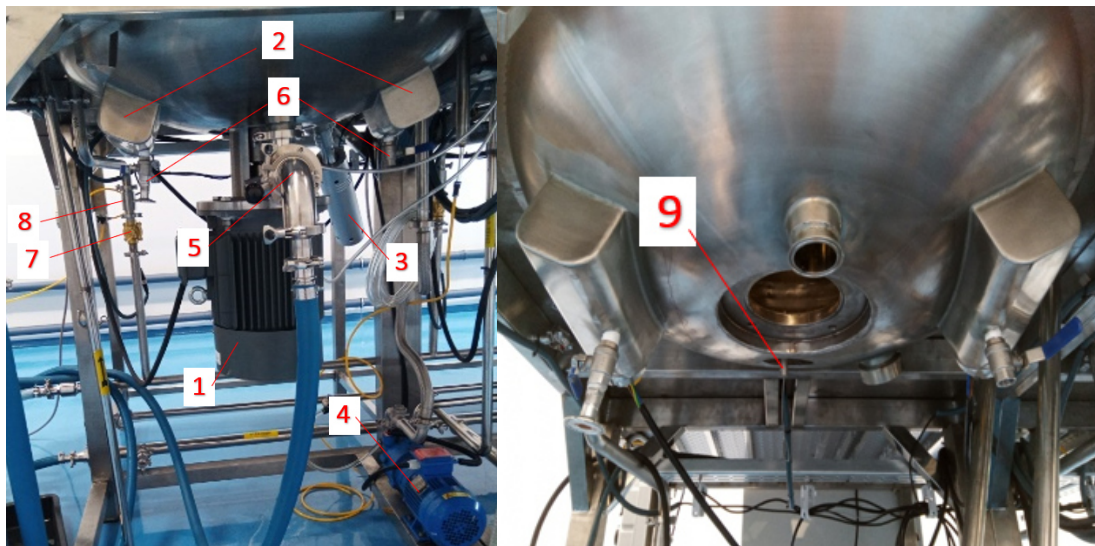


Abbildung 11: Prozessanschlüsse unterhalb der Anlage

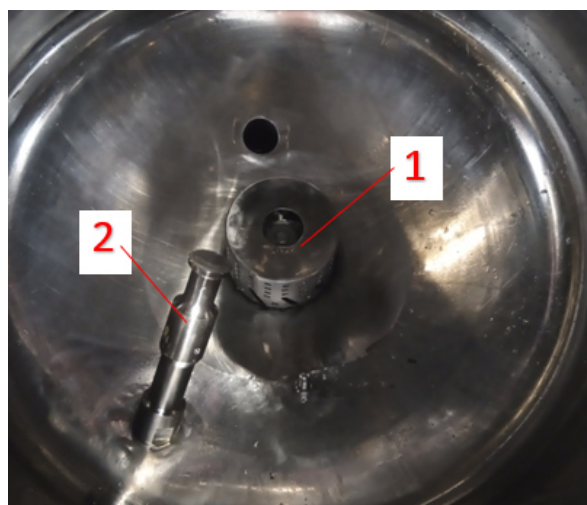


Abbildung 12: Tankinnenraum unten

Wie anhand der Abbildung 13 zu sehen, befinden sich Oberhalb des Tanks weitere zur Herstellung notwendige Komponenten. Für das stetige Rühren während des Herstellungsprozesses dient der Antriebsmotor des Rührwerks (siehe Abbildung 13; Nr.1), der an das Rührwerk (siehe Abbildung 14; Nr.1) gekoppelt ist. Durch das Mannloch (siehe Abbildung 13; Nr.2) werden das Beobachten des Produktionsprozesses und der Zugang in den Tank ermöglicht. Das Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.3) ist direkt mit der Vakuumpumpe verbunden und soll zur Vakuumerzeugung geöffnet werden. Hingegen wird das Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.4) dazu genutzt, um das Vakuum aus dem Behälter auszugleichen. Ein weiteres Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.5) füllt den Tank bei Bedarf mit Druckluft, was für den aktuellen Prozess jedoch nicht notwendig ist. Den aktuellen Tankinnendruck zeigt hierzu das Manometer (siehe Abbildung 13; Nr.6). Die unter dem Tank befindliche Wasserzufuhr ist an das Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.7) gekoppelt, das bei Befüllung geöffnet sein soll. Das Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.8) ist mit den CIP-Rotationsdüsen (siehe Abbildung 14; Nr.2) verbunden, die zur Reinigung des Behälters genutzt werden. Zusätzlich ist ein weiteres Handventil (siehe Abbildung 13; Nr.9) verfügbar, über das dem Prozess weitere Zutaten hinzugefügt werden. Des Weiteren befindet sich hinter dem Antriebsmotor eine LED zur Beleuchtung des Tankinnenraums.

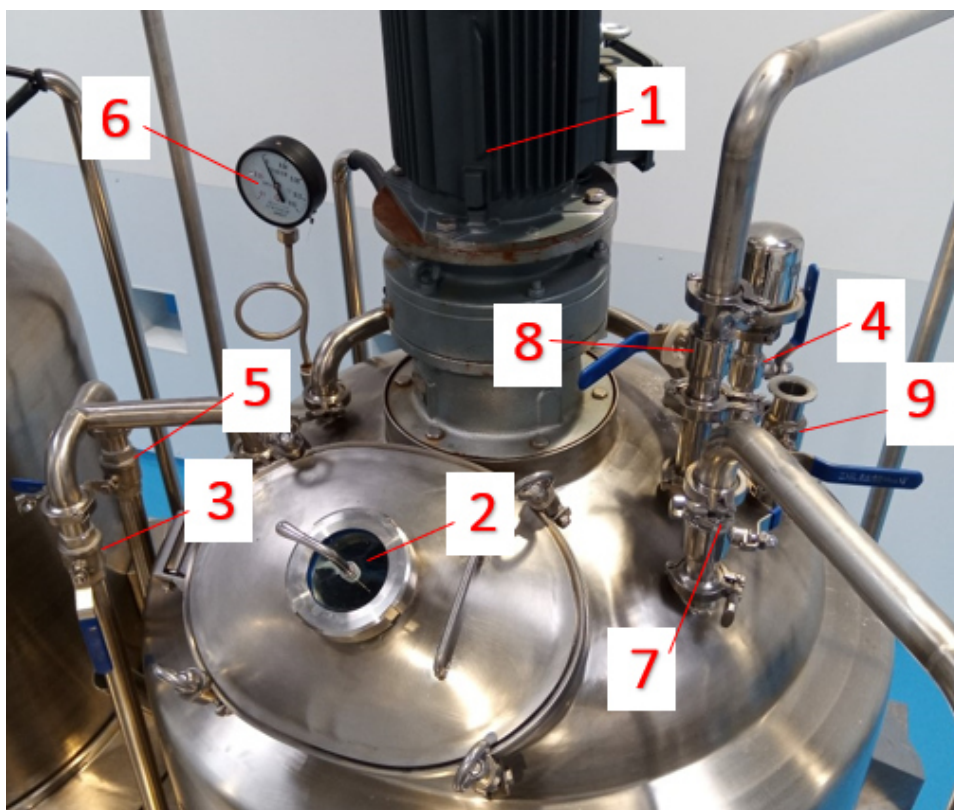


Abbildung 13: Prozessanschlüsse oberhalb der Anlage

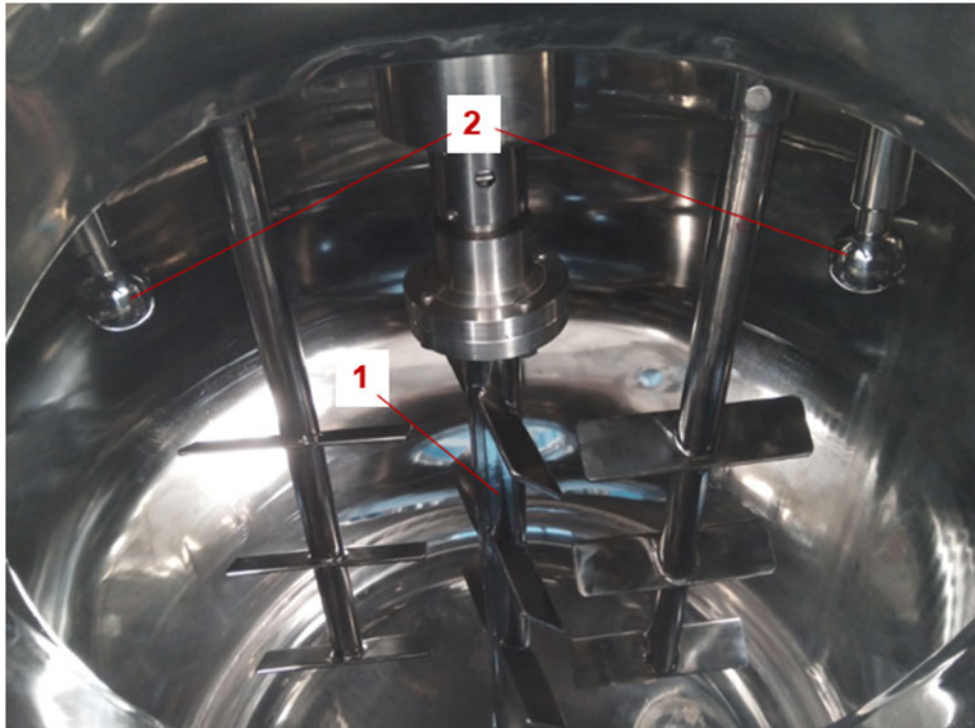


Abbildung 14: Tankinnenraum oben

Der aktuelle Prozessablauf unterteilt sich in die Einzelschritte aus Abbildung 15, die durch die Automatisierung umgesetzt werden sollen. Für jedes Produkt und jeden Auftrag werden für den Prozess unterschiedliche Füllvolumen und Prozesszeiten benötigt. Abhängig von den benötigten Aromastoffen kann sich der Prozessablauf leicht unterscheiden. Jeder Prozessschritt wird hierbei manuell von einem Produktionsmitarbeiter umgesetzt.

Die jeweiligen Zeiten und Geschwindigkeiten sollen daher ständig überwacht und angepasst werden. Zu Beginn wird der Tank auf die Hälfte des Endvolumens mit Wasser befüllt. Wenn das Volumen erreicht ist, dann werden die flüssigen Zutaten hinzugegeben. Anschließend erfolgt der Aufbau des Vakuums durch Einschalten der Vakuumpumpe. Ist das gewünschte Vakuum erreicht, werden die Antriebsmotoren gestartet und das Produkt über das Hauptventil in den Tank gesogen. Kommen später weitere Aromen hinzu, wird der Tank bis auf das Füllvolumen „2“ mit Wasser befüllt. Ist dies nicht der Fall, erfolgt die Befüllung auf das Füllvolumen „3“, das bereits dem Endvolumen entspricht. Nachfolgend an die Homogenisierung und Ultraschallbehandlung erfolgt die Abschaltung des Hochscherantriebs und sofern vorhanden, die Zugabe der Aromen. Da die Befüllung zuvor unter dem Einfluss von Vakuum geschieht, kann es nach der Auflösung des Vakuums zu einem Verlust des Volumens kommen. Daher erfolgt hier gegebenenfalls ein erneutes Befüllen auf das Füllvolumen „3“ mit anschließendem Einrühren. Ist die Zeit zum Einrühren abgelaufen wird das Produkt abgefüllt. Im letzten Schritt wird der Tank durch die externe Reinigungsanlage gereinigt und das Rührwerk im Anschluss angehalten.

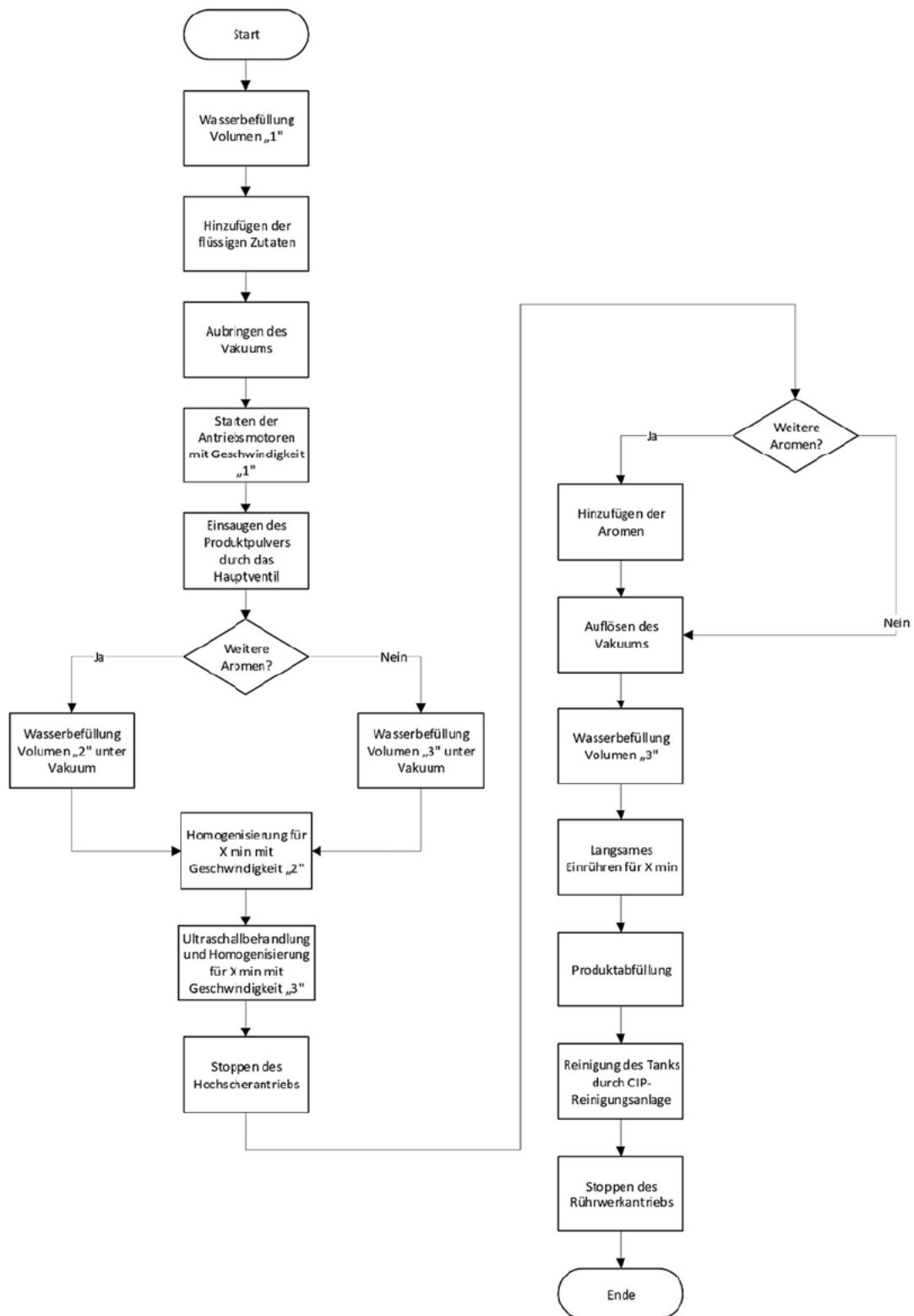


Abbildung 15: Prozess Ablaufdiagramm

3. Analyse der Anforderungen

Um mit der Konzeption und Entwicklung zu beginnen, werden alle Anforderungen an das Gesamtsystem definiert. Anhand der Tabelle 1 sind alle Anforderungen, unterteilt in Forderungen und Wünsche des Kunden, aufgelistet. Forderungen sollen bei der Umsetzung zwingend umgesetzt werden. Wünsche hingegen sollen nach Möglichkeit beachtet werden, sind jedoch nicht zwingend notwendig.

ID	Forderung /Wunsch	Anforderung	min. Wert	max. Wert	Einheit	Beschreibung
1	F	Automatikbetrieb des Prozessablaufs				
2	F	Handbetrieb jeder Einzelkomponente				
3	F	Siemens Steuerung der aktuellen Generation				S7- 1200er, S7-1500er
4	F	Hauptventil und nicht notwendige Ventile weiterhin manuell				
5	W	Reserve für weitere Ventile und Sensoren				
6	F	Bedienung durch ein HMI				
7	F	Anzeige des Prozessfortschritts				
8	F	Anzeige aktueller Parameter				Gewicht, Temperatur, Motorfrequenzen, Füllmenge
9	F	Anlegen weiterer Rezepturen/Parametern				
10	F	Archivierungsfunktion des Automatikbetriebs	14		d	Gewicht, Temperatur, Motorfrequenzen, Füllmenge
11	F	Störmeldeanzeige				
12	W	Wiederverwendbarkeit der Software				
13	F	Alleinstehender Schaltschrank				
14	F	Leichte Reinigung				
15	F	Wasserspritzgeschützt	IP44			
16	F	Einspeisung 3-Phasen Wechselspannung		400	V	
17	W	Kosten		5000	€	

Tabelle 1: Anforderungsliste

Die Hauptaufgabe des Projektes liegt darin, den bestehenden Prozess weitestgehend zu automatisieren und manuelle Schritte auf ein Minimum zu reduzieren, um eine gleichbleibende Produktqualität zu erhalten. Dies bedeutet gleichzeitig, dass vorhandene, manuell abzulesende Sensoren oder zu steuernde Aktoren, gegen automatische ersetzt werden sollen. Zusätzlich zum Automatikbetrieb soll ein Handbetrieb implementiert werden, mit dem die einzelnen Aktoren unabhängig voneinander angesteuert werden können.

Da bereits vorhandene Anlagen ausschließlich über Siemens-Steuerungen der aktuellen Generationen verfügen, ist es erforderlich, ebenfalls eine Siemens Steuerung dieser Art zu verwenden. Aus produktionstechnischen Gründen sollen das Hauptventil sowie weitere, für den Prozess irrelevante Handventile, vorerst nicht automatisiert werden. Jedoch sollen nach Möglichkeit Reserven eingeplant werden, die eine einfache Erweiterung durch weitere Ventile und Sensoren ermöglichen.

Die zuvor genutzten Taster und Anzeigeelemente sollen durch ein einzelnes HMI ersetzt werden. Durch die Visualisierung des Prozesses soll sowohl der aktuelle Fortschritt des Prozesses als auch alle aktuellen Parameter ersichtlich werden. Die für den Prozess benötigten Parameter sollen verändert, abgespeichert und neu angelegt werden können, um das System auf das jeweilige Produkt anzupassen. Zur Überwachung und Dokumentation der Prozesse sollen die Prozessparameter für mindestens 14 Tage gespeichert werden. Tritt ein Produktmangel auf, dann können die Parameter nachträglich zur Optimierung des Prozesses analysiert werden.

Bei Störungen während des Betriebes sind diese zu signalisieren und mit einer Erläuterung auf dem vorhandenen HMI anzuzeigen. Nach Möglichkeit soll die Wiederverwendbarkeit der Programmsoftware gewährleistet und so auf andere gleichartige Prozesse übertragbar sein. Hierdurch kann die Software auf weitere Anlagen transferiert und genutzt werden.

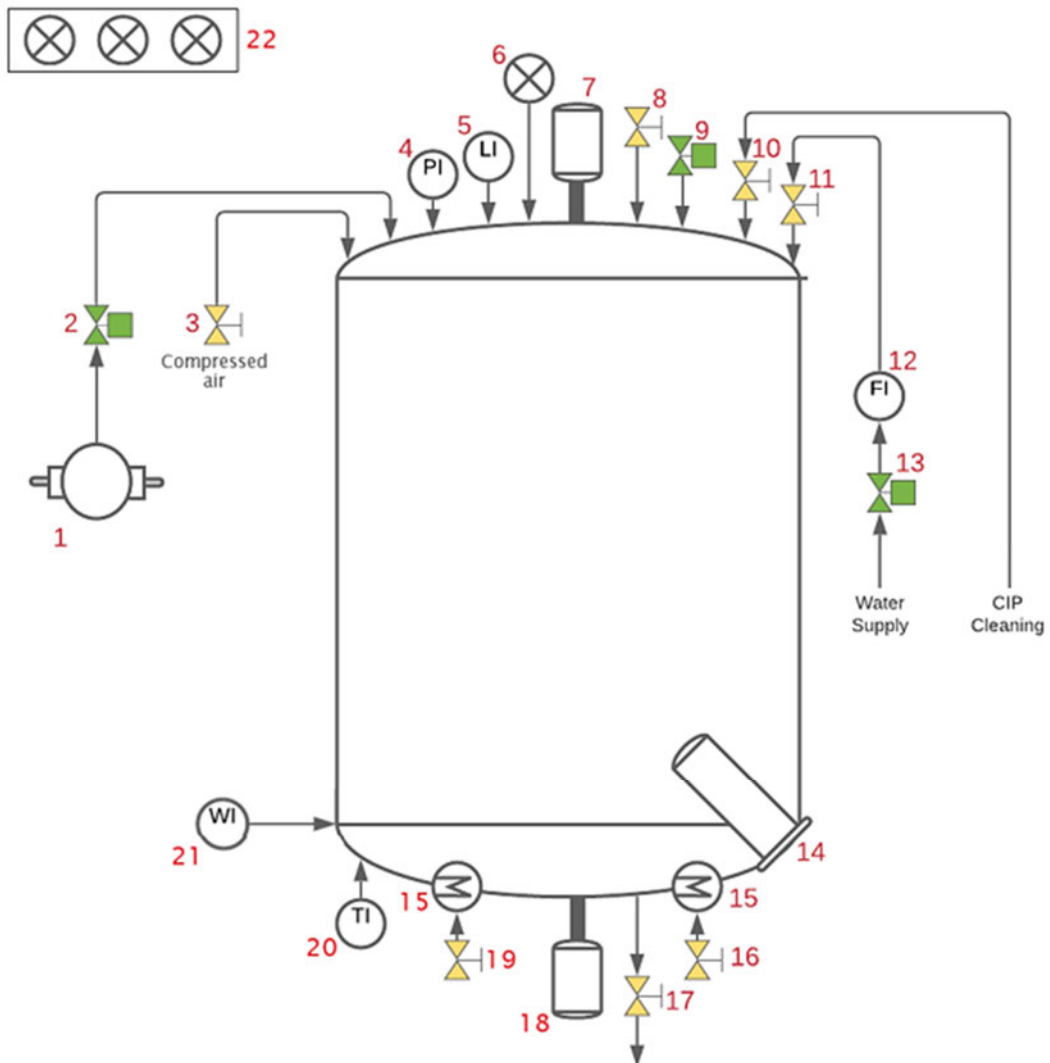
Die gesamten Steuerungskomponenten sollen in einem alleinstehenden Schaltschrank montiert werden. Dadurch ist diese von den zwei weiteren Prozessanlagen getrennt. Infolge der Anlagenverwendung innerhalb der Produktion ist sowohl eine leichte Reinigung der Oberflächen als auch die hiermit verbundene Wasserdichtigkeit nötig. Die Versorgungsspannung wird über die bereits vor Ort liegende 3-Phasen-Wechselspannung realisiert. Die Gesamtkosten für die Automatisierung sollten 5000€ nicht übersteigen.

4. Konzeption

Für die Konzeption des Gesamtsystems werden im Folgenden verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Umsetzung aufgeführt und in einem morphologischen Kasten zusammengetragen. Die Auswahl der Teillösungen erfolgt basierend auf den Anforderungen der Tabelle 2 aus Kapitel 3. Die unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten werden anschließend mit den Anforderungen verglichen und bewertet. Das am häufigsten positiv bewertete Konzept wird zur weiteren Entwicklung herangezogen.

4.1 Erarbeitung verschiedener Grundkonzepte der Hardware

Für die Auslegung der Grundkomponente ist zunächst zu prüfen, welche Sensoren und Aktoren im System vorhanden sind und welche Art der Kommunikation genutzt wird. Damit eine spätere Erweiterung des Systems gewährleistet wird, werden bereits für alle vorhandenen Handventile Magnetventile eingeplant. Ebenso wird eine Signalsäule mit den Farben Grün, Gelb und Rot im System verwendet, da der Prozesszustand hierdurch auch aus anderen Positionen beobachtet werden kann, ohne sich direkt vor der Anlage zu befinden. Das vorhandene Manometer zum Ablesen des Luftdrucks innerhalb des Tanks wird durch einen digitalen Drucksensor getauscht, um die benötigten Informationen an die Steuerung übertragen zu können. Anhand der Abbildung 16 ist der für die Automatisierung notwendige Tankaufbau in schematischer Darstellung dargestellt. Die hier grün markierten Magnetventile ersetzen die zuvor verbauten Handventile, die für die Automatisierung benötigt werden. Alle gelb markierten Handventile sind für die Automatisierung nicht zwingend notwendig und bleiben vorerst bestehen. Dennoch werden diese Ventile im weiteren Verlauf bereits als Magnetventile mit einbezogen, um einen späteren Austausch zu vereinfachen. Lediglich das Ventil mit der Nr. 11 aus Abbildung 16 wird nicht eingeplant, da dieses aufgrund des Ventils mit der Nr. 13 aus Abbildung 16 entfallen kann.



- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1. Vakuumpumpe | 12. Durchflusssensor |
| 2. Vakuum Einlassventil | 13. Wasserzufuhr Magnetventil |
| 3. Druckluft Einlassventil | 14. Ultraschallsonde |
| 4. Drucksensor | 15. Heizelemente |
| 5. Füllstand Radarsensor | 16. Heizung 1 Handventil |
| 6. Tank Beleuchtung | 17. Hauptventil |
| 7. Rührwerk Antrieb | 18. Hochscher Antrieb |
| 8. Zutaten Handventil | 19. Heizung 2 Handventil |
| 9. Vakuumausgleichsventil | 20. Temperatursensor |
| 10. CIP-Reinigung Handventil | 21. Wägezellen |
| 11. Wasserzufuhr Handventil | 22. Signalsäule |

Abbildung 16: Schematischer Tankaufbau

Sensor	Kommunikation
Durchflusssensor	1xDI
Drucksensor	2xDI
Temperatursensor	RTD-Controller
Wägezellen	Wägezellen Controller
Radarsensor	1xAI 4 – 20 mA

Tabelle 2: Signale der Sensoren

Aktor	Kommunikation
Motor Rührwerk	RS-485
Motor Hochschermesser	RS-485
Vakuumpumpe	1xDO
Heizungselemente	1xDO
Ultraschallsonde	1xDO
Tanklicht	1xDO
Signalsäule	3xDO
10x Magnetventile	9xDO

Tabelle 3: Signale der Aktoren

Das System arbeitet mithilfe verschiedener Sensoren (siehe Tabelle 2), die wiederum zum Überprüfen des Prozesses verwendet werden können. Der Durchflusssensor misst den Durchfluss des hereinfließenden Wassers und gibt pro L eine gewisse Anzahl an Impulsen an die Steuerung. Um gleichzeitig das aktuelle Volumen im Tank nachvollziehen zu können, erhält die Anlage einen integrierten Radarsensor. Zusätzlich kann das Gewicht über drei verfügbare Wägezellen gemessen werden. Die drei Wägezellen werden miteinander verbunden und die Widerstandsmessung an die Steuerung übertragen. Der Drucksensor sendet bei Erreichen der eingestellten Schwellwerte ein positives Ausgangssignal und überprüft somit, ob das Vakuum im Produktionstank ausreichend ist. Die Temperatur wird hierbei über den Temperatursensor erfasst. Dieser arbeitet nach dem 3-Leiter-Prinzip, wodurch die Kompensation der Leitungslänge erreicht wird [11]. Alle Sensoren werden mit 24 V DC versorgt. Anhand der Tabelle 3 sind die vorhandenen Aktoren und deren Kommunikation dargestellt. Die Aktoren werden so gewählt, dass diese ebenfalls mit einer 24 V Gleichspannung der SPS-Ausgänge geschaltet werden können. Die beiden Antriebsmotoren sind über jeweils einen Frequenzumrichter gesteuert. Diese bieten die Möglichkeit der Steuerung über ein analoges Eingangssignal oder aber über eine RS-485 Busschnittstelle und werden mit in das System übernommen. Die Spannungsversorgung der Motoren, Vakuumpumpe sowie der Heizelemente erfolgt über 3-Phasen-Wechselspannung.

Aus diesen Informationen lassen sich alle Anforderungen an die weiteren Steuerungskomponenten bestimmen. Die zu wählende SPS benötigt somit mindestens drei digitale Eingänge, einen analogen Eingang mit 4 – 20 mA sowie die Möglichkeit zum Anschließen eines Temperatursensors „PT-100“ und Wägezellen. Die Motoren können sowohl über analoge Ein- und Ausgänge oder aber über die Busschnittstelle RS-485 kommunizieren. Da die Kommunikation über Bus Leitungsaufwand spart und eine sehr flexible Datenverarbeitung erlaubt, wird dieser für den weiteren Verlauf

verwendet. Die zu verwendende SPS benötigt daher zusätzlich eine RS-485-Schnittstelle und mindestens 16 digitale Ausgänge.

Zur Erstellung des morphologischen Kastens wird das Gesamtsystem in seine Teilfunktionen zerlegt. Dies ermöglicht einen guten Überblick über die zu lösenden Teilprobleme.

Aus der Aufgabenstellung ergeben sich folgende Teilfunktionen:

- Schutz der Komponenten
Schützt alle Steuerungskomponenten vor äußeren Einflüssen.
- Steuerung
Führt das Steuerungsprogramm aus und steuert die verschiedenen Aktoren basierend auf den anliegenden Eingangssignalen.
- Prozessbedienung
Ermöglicht die Bedienung der Anlage durch eine Person.

Für diese Teilfunktionen werden jeweils unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten in Form eines morphologischen Kastens erarbeitet. Hierzu werden verschiedene Schaltschrankvariationen ausgewählt. Für die Auswahl der SPS werden drei unterschiedliche Arten von SPS aus der 1200er- und 1500er-Reihe mit den entsprechenden Erweiterungen und passenden HMIs zusammengestellt, die für die Erfüllung der Teilfunktionen in Frage kommen.

Anschließend werden die Teillösungen sinnvoll miteinander kombiniert. Die hieraus entstehenden Kombinationen entsprechen den möglichen Grundkonzepten.

Anhand der Tabelle 4 wird der morphologische Kasten dargestellt. Die unterschiedlichen Kombinationen der Teillösungen sind durch ihre Farben gekennzeichnet.

Merkmal / Teilfunktion		Ausprägungen		
M1	Schutz der Komponenten	Kunststoff Schaltschrank	Edelstahl Schaltschrank	Lackierter Schaltschrank aus Baustahl
M2	Steuerung	Siemens 1212C SPS + SM 1223 + SM 1231 RTD + WP 231 + Signalkonverter + CB 2141	Siemens 1214C SPS + SM 1222 + SM 1231 AI + SM 1231 RTD + WP 231 + CB 2141	Siemens 1511C SPS + CB 2141 + WP 251
M3	Prozessbedienung	HMI TP1500	HMI KP700	HMI KP900

Tabelle 4: Morphologischer Kasten

Aus dem morphologischen Kasten ergeben sich die folgenden Lösungsvarianten (siehe Tabelle 5). Jede dieser Lösungsvarianten stellt ein Gesamtkonzept zur Problemlösung dar.

Merkmal / Teilfunktion		L1: leistungsstark	L2: kosteneffizient	L3: ausgeglichen
M1	Schutz der Komponenten	Edelstahl Schaltschrank	Lackierter Schaltschrank aus Baustahl	Edelstahl Schaltschrank
M2	Steuerung	Siemens 1511C SPS + CB 2141 + WP 251	Siemens 1212C SPS + SM 1223 + SM 1231 RTD + WP 231 + Signalkonverter + CB 2141	Siemens 1214C SPS + SM 1222 + SM 1231 AI + SM 1231 RTD + WP 231 + CB 2141
M3	Prozessbedienung	HMI TP1500	HMI KP700	HMI KP900

Tabelle 5: Gesamtlösungen

Die leistungsstarke Gesamtlösung L1 besteht aus einem rostfreien Edelstahl Schaltschrank, in dem eine Siemens Kompakt CPU 1511C verbaut ist. Die CPU besitzt jeweils 16 integrierten digitalen Ein- und Ausgänge und verfügt standardmäßig über 5 analoge Eingänge, von denen einer bereits als Widerstandsthermometermessung und ein weiterer als 4 – 20 mA Eingang genutzt werden kann. Zusätzlich wird ein passendes Siwax Wägemodul WP 251 verbaut. Dies macht es möglich, Wägezellen in das System zu integrieren und auszuwerten. Mittels eines weiteren RS485 Kommunikationsmodul CB 1241, wird die Kommunikation zum Frequenzumrichter ermöglicht. Für die Prozessbedienung kommt ein TP1500 zum Einsatz. Dieses ermöglicht mit einer Bildschirmgröße von 15 Zoll und einer Auflösung von 1280 x 800 px eine ergonomische Bedienung.

Bei der kosteneffizienten Lösungsvariante L2 wird zum Schutz der Hardware ein Schaltschrank aus lackiertem Stahl verwendet. Die Steuerung des Systems übernimmt eine S7 1212C SPS, die über 8 digitale integrierte Eingänge und 6 digitale Ausgänge verfügt. Die zwei vorhandenen analogen Eingänge beherrschen lediglich ein Eingangssignal von 0 bis 10 V, können aber in Verbindung mit einem Signalumwandler zur Verarbeitung des 4 – 20 mA Signals genutzt werden. Zusammen mit einem Signalmodul SM1223 können auf jeweils 16 weitere digital Ein- und Ausgänge zugegriffen werden. Das Wägemodul Siwarex WP231 und das Signalmodul 1231RTD ermöglichen die Anbindung der Wägezellen sowie des Temperatursensors. Auch hierfür wird ein RS485 Kommunikationsmodul CB1241 zur Kommunikation mit den Frequenzumrichtern verwendet. Die Visualisierung und Bedienung der Anlage erfolgt durch ein Siemens Basic Panel KP700 mit einer sieben Zoll großen Bildschirmoberfläche und einer Auflösung von 800 x 480 px.

Gesamtlösung L3 ist die ausgeglichene Variante, bei der die Steuerungskomponenten in einem Edelstahl Schaltschrank geschützt werden. Die S7-1214C SPS kommt mit 14 integrierten digitalen Eingängen sowie 10 digitalen Ausgängen. Zur Anbindung des analogen Signals 4 – 20 mA wird das Signalmodul SM1231 AI genutzt, welches das analoge Signal verarbeiten kann. Die digitalen Ausgänge werden mit einem Signalmodul SM 1222 auf insgesamt 18 Ausgänge erweitert. Die Anbindung der Wägezellen und des Temperatursensors erfolgt ebenfalls mithilfe des Wägemoduls Siwarex WP231 und dem Signalmodul 1231RTD. Die RS485 wird analog zu L2 mithilfe des CB2141 Kommunikationsmodul realisiert. Ähnlich wie das KP700 aus der Lösung L2 wird ein KP900 verwendet, das durch das 9 Zoll große Display und der Auflösung 800 x 480 px eine größere Bildschirmoberfläche bietet.

4.2 Vergleich der verschiedenen Alternativen gegenüber den Anforderungen

Zur Entscheidungshilfe der umzusetzenden Lösungsvariante, werden die Lösungen gegenüber den Anforderungen in Tabelle 6 verglichen und nach dem folgenden Bewertungsschema bewertet:

- ++ voll erfüllt
- + erfüllt
- bedingt erfüllt
- nicht erfüllt

Anforderung	L1: leistungsstark	L2: kosteneffizient	L3: ausgeglichen
Automatikbetrieb des Prozessablaufs	++	++	++
Handbetrieb jeder Einzelkomponente	++	++	++
Siemens Steuerung der aktuellen Generation	++	+	+
Haupt Ein- und Auslassventil und nicht notwendige Ventile weiterhin manuell	++	++	++
Reserve für weitere Ventile und Sensoren	++	-	+
Bedienung durch HMI	++	-	+
Anzeige des Prozessfortschritts	++	-	+
Aktuelle Parameter sichtbar	++	-	+
Anlegen weiterer Rezepturen/Parametern	++	+	+
Archivierungsfunktion	++	+	+
Störmeldeanzeige	++	+	+
Wiederverwendbarkeit der Software	-	++	+
Alleinstehender Schaltschrank	++	+	++
Leichte Reinigung	++	+	++
Wasserspritzgeschützt	++	++	++
Einspeisung 3-Phasen-Wechselspannung	++	++	++
Kosten	--	++	+

Tabelle 6: Vergleich der Gesamtlösungen gegenüber den Anforderungen

Die leistungsstarke Lösungsvariante wird im Vergleich fast allen Anforderungen gerecht. Das System ermöglicht es, den Prozessablauf in einem Automatikbetrieb oder einem manuellen Betrieb zu steuern. Die gewählte SPS kommt aus der 1500er-Reihe von Siemens und ist somit eine der neuesten und leistungsstärksten Siemens SPS. Nicht notwendige Ventile werden nicht an das System angebunden. Dennoch bietet diese Variante ausreichend Reserven für zukünftige Änderungen. Das große HMI ermöglicht einen guten Überblick über den gesamten Prozess und aktuelle Parameter sind problemlos auf diesem zu projizieren. Beim TP1500 können bis zu 500 Rezepte und für jedes Rezept 1000 Datensätze hinterlegt werden. Zusätzlich können zum Archivieren 50 Archive mit je 50000 Einträgen und bis zu 400 Kurven zur direkten Analyse erstellt werden. Für das Anzeigen von Störmeldungen bietet das HMI die Möglichkeit, bis zu 6000 Bitmeldungen zu hinterlegen. Durch die Programmierung der SPS über das Siemens TIA-Portal lässt sich die programmierte Software auf gleichartige Systeme übertragen. Soll das Programm jedoch auf eine kleinere SPS der 1200er-Serie mit einem kleineren HMI übertragen werden, kann es hier zu Kompatibilitätsproblemen aufgrund fehlender Funktionen kommen. Da hier der Aufbau in einem eigenen Schaltschrank erfolgt, wird auch diese Anforderung komplett erfüllt. Die Steuerung ist durch den Schaltschrank wasserspritzgeschützt, der sich durch die rostfreie Edelstahloberfläche einfach reinigen lässt. Die Spannungsversorgung über eine 3-Phasen-Wechselspannung ist problemlos möglich. Je nach Art wird die SPS mit einer 24-Volt-Gleichspannung über ein Netzteil oder direkt mit einer 230-Volt-Wechselspannung versorgt. Durch die Verwendung der leistungsfähigen Steuerung und HMIs überschreitet diese Variante jedoch das gewünschte Kostenmaximum, bereits ohne die zusätzlich notwendige Hardware.

Die kosteneffiziente Lösungsvariante bietet die Möglichkeit, den Prozessablauf in einem Automatik- und einem Handbetrieb zu realisieren. Die gewählte Steuerung ist aus der aktuellen Siemensgeneration, jedoch aus der weniger leistungsfähigen 1200er-Baureihe. Hierbei ist es nicht notwendig, alle Ventile an die Steuerung anzubinden. Dennoch bietet die Steuerung für vorhandene Ventile genügend Reserven. Soll das System jedoch durch weitere Module erweitert werden, ist dies mit dieser Variante nicht möglich. Das verbaute KP700 macht die Bedienung per Touchbefehle möglich, ist aufgrund der relativ kleinen Bildschirmoberfläche aber weniger angenehm. Das HMI ermöglicht die Anzeige des Prozessfortschrittes inklusive aller aktuellen Parameter, die durch die kleine Bildschirmgröße weniger übersichtlich dargestellt werden. Das HMI ermöglicht das Anlegen von bis zu 300 Rezepturen mit je 500 Datensätzen, was immer noch ausreichend ist. Zur Archivierung bietet das HMI 50 Archive mit bis zu 20000 Einträgen pro Archiv und 300 Kurven zur Analyse. Für Störmeldungen können bis zu 4000 Bitmeldungen verwendet werden. Das Programm kann hierbei problemlos auf weitere gleichartige Systeme mit einer 1200er- oder 1500er-SPS übernommen werden, da hier das kleinste Modell der 1200er-Reihe verwendet wird und größere Modelle alle vorhandenen Funktionen unterstützen. Diese Lösungsvariante verwendet einen Schaltschrank aus lackiertem Stahl, der variabel aufgestellt werden kann. Die Reinigung des Schaltschranks ist möglich, dennoch ist die Oberfläche in der Regel nicht glatt und bietet Schmutz somit eine größere Oberfläche. Die Steuerung ist durch den Schaltschrank wasserspritzgeschützt, der aber bei Beschädigung der Lackierung Roststellen aufweisen kann. Das Betreiben der Steuerung an einer Einspeisung von 3-Phasen-Wechselspannung erfolgt hierbei genauso problemlos wie bei Lösungsvariante L1. Aufgrund der günstigen Komponenten können die Kosten gering gehalten werden.

Bei der ausgeglichenen Lösungsvariante L3 können Automatik und Handbetrieb wie bei den anderen Lösungen umgesetzt werden. Die 1214C SPS ist ebenfalls wie gefordert aus der aktuellen Generation der 1200er Serie. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, das Hauptventil sowie weitere nicht notwendige Ventile weiterhin manuell zu verwenden. Die SPS kann mit bis zu 8 weiteren Signalmodulen betrieben werden, wodurch hier ebenfalls ausreichend Reserven für spätere Erweiterungen vorhanden sind. Die Bedienung erfolgt ähnlich wie bei der Gesamtlösung L2 mit einem KP900, was im Gegensatz zum KP700 eine größere Bildschirmoberfläche bietet. Der Prozessfortschritt und die Prozessparameter können daher übersichtlicher dargestellt werden. Das KP900 bietet die gleichen Funktionen wie das KP700, wodurch ebenfalls 300 Rezepturen mit je 1000 Datensätzen und 300 Kurven zur Verfügung stehen. Gleichzeitig können die Daten in 50 Archiven mit je 20000 Einträgen gespeichert und 4000 Bitmeldung zur Störungsanzeige genutzt werden. Das Programm kann auf fast alle anderen Systeme problemlos übertragen werden, da die meisten aktuellen SPS und HMIs alle genutzten Funktionen unterstützen. Der Schutz der Steuerung wird wie in der Gesamtlösung L1 durch einen alleinstehenden Edelstahl-Schaltschrank realisiert, weshalb sowohl eine leichte Reinigung als auch der Wasserspritzschutz gewährleistet ist. Die Spannungsversorgung kann analog wie bei den anderen Lösungen L1 und L2 über die 3-Phasen-Wechselspannung eingerichtet werden. Die Kosten für diese Lösung liegen über den Kosten von Lösung L2, bleiben aber dennoch weit unter den gewünschten 5000€. Dadurch ist Budget für die Anschaffung von weiterer Hardware vorhanden.

Da die ausgeglichene Lösungsvariante L3 keine negativen Punkte in Bezug auf die Anforderungen aufweist und somit allen Anforderungen gerecht werden kann, wird diese Lösung für die weitere Entwicklung herangezogen.

5. Entwicklung

Die folgende Beschreibung der Entwicklungsphase dient zur Planung des Schaltschrankaufbaus, der Verdrahtung sowie der Programmierung und Visualisierung, die für die anschließende Realisierungsphase erforderlich ist.

5.1 Auswahl der Steuerungskomponenten

Die aktuelle Variante S7-1214C AC/DC/RLY bietet weitreichende Erweiterungsmöglichkeiten, um den Anforderungen gerecht zu werden. In der Ausführung AC/DC/RLY werden die Ausgänge als Relais geschaltet und können hierdurch einen höheren Dauerstrom von bis zu 2 A schalten. Die DC Variante kann über die Transistorausgänge lediglich 0,5 A bereitstellen. [12]

Zur Überprüfung des Vakuums während des Prozesses wird das Manometer gegen den Drucksensor PAC50 von SICK ausgetauscht. Dieser bietet die Möglichkeit, zwei voneinander unabhängige Schaltpunkte zu programmieren und arbeitet in einem Messbereich von -1 bis 1 bar. Die zusätzliche digitale Anzeige ermöglicht weiterhin das Ablesen des Druckes direkt an der Anlage.

Als weiteres Bedienelement wird ein Not-Aus-Schalter in das System integriert, der das System im Notfall in einen sicheren Zustand bringt. Die beiden Hauptantriebe verfügen bereits über jeweils einen Frequenzumrichter „Delta VFD Drive“ über die die Motorgeschwindigkeiten geregelt werden können. Die Steuerung der Frequenzumrichter erfolgt wie beschrieben über die vorhandene RS-485 Schnittstelle. Um einen zusätzlichen Schutz zu gewährleisten, werden alle Motoren mit einem Motorschutzschalter ausgestattet, der sowohl die Motoren als auch die Leitung vor Überlastung schützt. [13] Die Wahl fällt entsprechend der Eingangsströme auf Motorschutzschalter der Reihe „Sirius“ von Siemens.

Alle weiteren Verbraucher werden über Leitungsschutzschalter abgesichert. Die Tabelle 7 zeigt die ausgewählten Schutzelemente mit den zugehörigen Nennströmen sowie die Eingangsströme der Komponenten, die laut den Datenblättern bzw. Typenschildern auftreten. Die Heizelemente haben lediglich eine Leistungsangabe von insgesamt 12 KW. Durch den Anschluss an eine 3-Phasen-Wechselspannung lässt sich der Eingangsstrom bei einer symmetrischen Last laut [13] durch Formel 1 berechnen.

$$I = \frac{\sqrt{3} \times U}{P} = \frac{\sqrt{3} \times 400V}{12000W} = 17,32A \quad (1)$$

Der maximale Strom der Heizelemente beträgt somit 17,32 A.

Komponente	max. Eingangsstrom [A]	Schutzelement	Nennstrom [A]
Delta Frequenzumrichter 7,5 KW	22,60	Motorschutzschalter SIRIUS 4DA10	25,00
Delta Frequenzumrichter 3,7 KW	11,60	Motorschutzschalter SIRIUS 1KA10	12,50
Vakuumpumpe 1,45 KW	3,44	Motorschutzschalter SIRIUS 1GA10	6,30
Heizelemente 12 KW	17,32	Leitungsschutzschalter B20	20,00
24 V Netzteil + SPS	5,42	Leitungsschutzschalter B6	6,00

Tabelle 7: Komponente und Schutzelemente

Die Vakuumpumpe und die Heizelemente benötigen für die Ansteuerung jeweils ein Leistungsschütz. Zur Ultraschallmodulation wird ein externes Gerät verwendet, für das ein Steuersignal zur Verfügung stehen soll. Hierfür wird ein Relais genutzt, was durch Schalten eines potentialfreien Signals die Ultraschallbehandlung startet. Für die Umsetzung werden die Leistungsschütze/Relais aus Tabelle 8 mit einer 24-V-DC-Ansteuerung gewählt.

Komponente	Schaltelement	Nennstrom [A]
Vakuumpumpe 1,45 KW	Leistungsschütz ABB AF26	45
Heizelemente 12 KW	Leistungsschütz SIRIUS 3RT2	9
Ultraschallsonde	Relais Finder 48	8

Tabelle 8: Komponente und Schaltelemente

Die Spannungsversorgung der SPS Erweiterungsmodule sowie der vorhandenen Sensoren und Magnetventile erfolgt durch eine 24-V-Schutzkleinspannung. Hierzu wird ein Schaltschranknetzteil NDR 480-24 der Firma „Mean Well“ gewählt, das mit einer Ausgangsleistung von 20 A auf der 24 V Seite für ausreichend Reserven sorgt. Die Absicherung des 24-V-Netzteils und der CPU-Versorgungsspannung erfolgt über einen gemeinsamen Leitungsschutzschalter der Auslösecharakteristik „B6“. Um das System An- und abzuschalten, wird zusätzlich ein Lasttrennschalter eingesetzt. Dieser muss es ermöglichen, das System bei voller Belastung abzuschalten. Hierzu werden die Eingangsströme der einzelnen Komponenten addiert. Aus der Addition der Eingangsströme aus Tabelle 7 ergibt sich somit ein maximaler Betriebsstrom von 60,38 A. Als Lasttrennschalter wird daher ein „P3-63“ von Eaton gewählt, der einen maximalen Dauerbetriebsstrom von 63 A erlaubt.

Für die Verdrahtung der Zuleitung wird der Leitungstyp H07V-K mit einem Leitungsquerschnitt von 10 mm² verwendet welche laut [13] eine Dauerbelastung von 73 A Standhalten. Für die weitere Verdrahtung hinter dem Lasttrennschalter werden je nach Belastung Leitungsquerschnitte zwischen 1 – 6 mm² desselben Leitungstyps eingesetzt.

5.2 Entwicklung des Schaltschrankaufbaus und Erstellung des Schaltplans

Für den Schaltschrank fällt die Wahl auf den HD 1310.600 der Firma „Rittal“, der durch das Hygienedesign auf die Anforderungen der Nahrungs- und Genussmittelindustrie abgestimmt ist. Durch eine 30-Grad-Schrägung oberhalb des Schaltschranks ist eine angenehme Bedienung aus dem Stand möglich. Für den späteren Einbau wird das Layout nach der Darstellung aus Abbildung 17 erstellt. Dieses stellt die Anordnung und Platzierung der Einzelkomponenten dar.

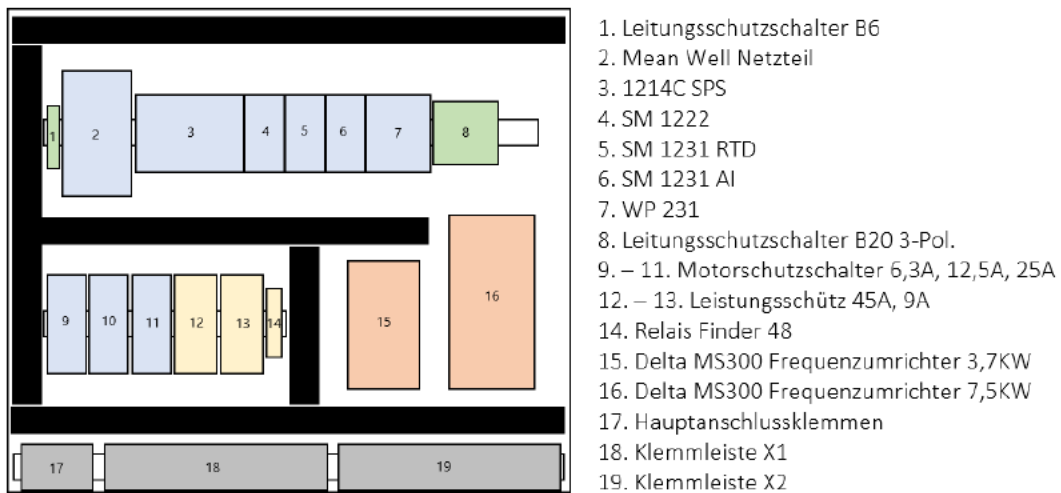


Abbildung 17: Schaltschrankentwurf

Für die spätere Verdrahtung wird zunächst ein Schaltplan mit dem Tool „Elektroplanung“ erstellt, in dem alle Komponenten und ihre Anschlüsse nachzuvollziehen sind (siehe Anhang A). Auch im Schaltplan werden bereits alle möglichen Ventile mit eingeplant, um diese zum späteren Zeitpunkt problemlos einzubinden.

Anhand der Abbildung 18 ist die Verdrahtung der Hauptkomponenten zu sehen, die mit einer 3-Phasen-Wechselspannung betrieben werden. Vor allen Aktoren erfolgt zunächst die Absicherung und nachfolgend das jeweilige Schaltelement. Für das Verdrahten der externen Sensoren und Aktoren werden die beiden Klemmleisten X1 und X2 verwendet. An X1 werden alle Komponenten angeschlossen, die mit einer Wechselspannung 3-phasig 400 V arbeiten.

Der Ultraschallgenerator wird über eine externe Spannung versorgt erhält jedoch das Steuersignal vom zuvor genannten Relais „9K3“.

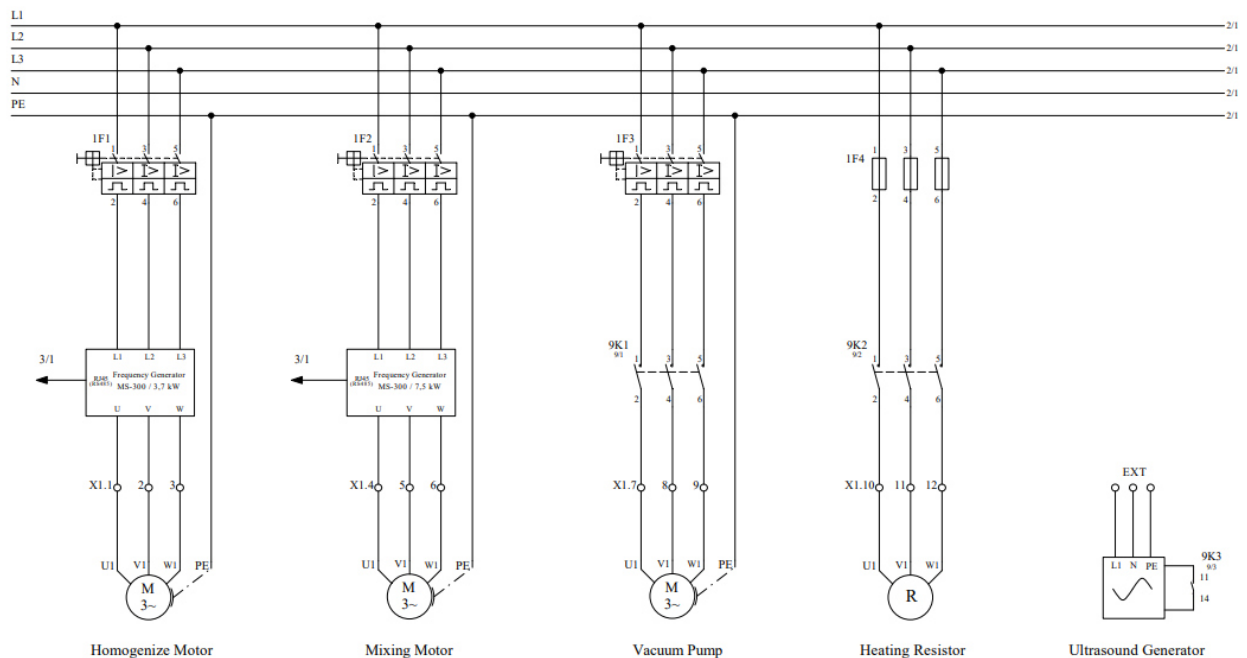


Abbildung 18: Schaltplan 1/3

Der Anschluss des 24-V-Netzteils und der SPS 1214C sind anhand der Abbildung 19 zu sehen. Alle Ein- und Ausgänge der SPS werden zunächst auf die Klemmleiste X2 geführt. Von hier aus können die weiteren Sensoren und Aktoren ohne großen Leitungsaufwand mit der SPS verbunden werden.

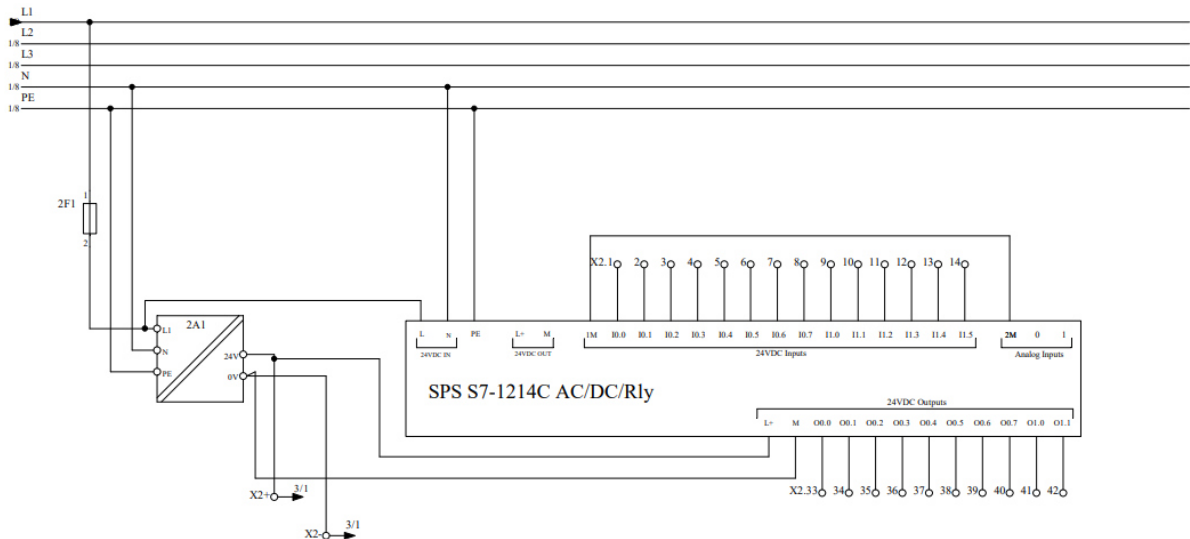


Abbildung 19: Schaltplan 2/3

Abbildung 20 zeigt einen Teil der Verdrahtung der Eingänge (links) und der Ausgänge (rechts). Die jeweiligen Sensoren und Aktoren werden zur SPS-Kommunikation mit der Klemmleiste X2 verbunden und einem Ein- bzw. Ausgang der SPS zugeordnet. Dies erleichtert die spätere Umsetzung der Programmierung.

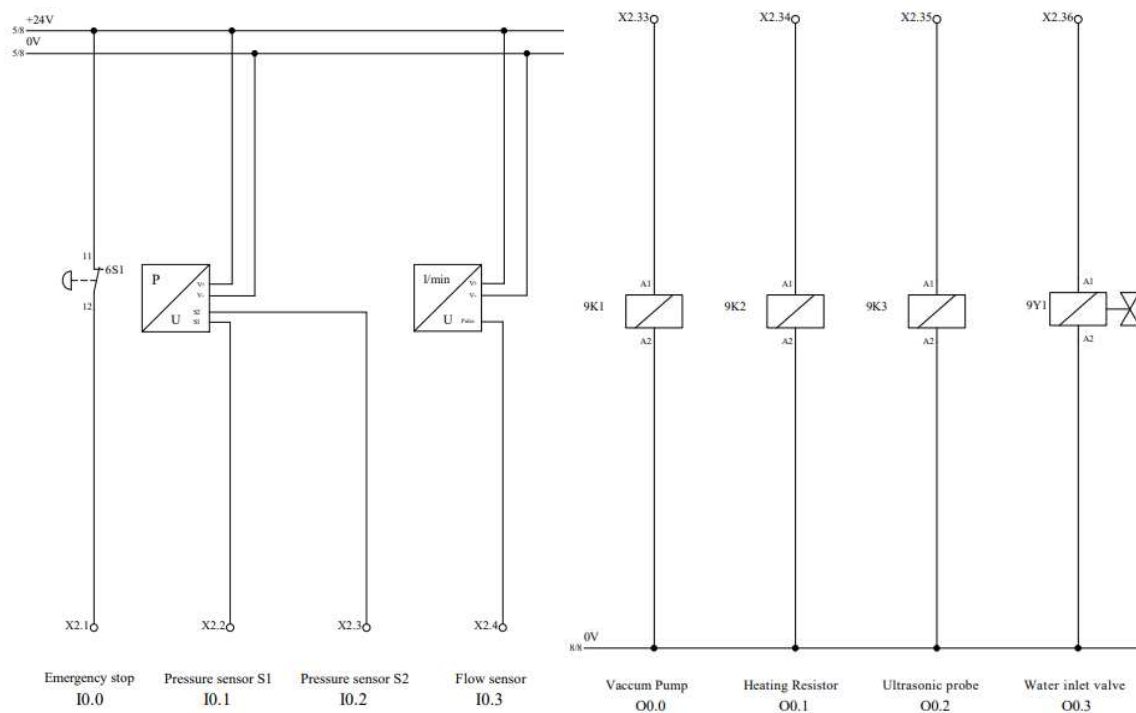


Abbildung 20: Schaltplan 3/3

Damit die Komponenten innerhalb des Schaltschranks die maximale Betriebstemperatur nicht übersteigen, braucht es eine zusätzliche Kühlung. Zwei Axiallüfter sollen hierzu für den nötigen Luftstrom sorgen. Durch zusätzliche Luftfiltermatten gelangen Staubpartikel nicht ins Innere des Schaltschranks. Um den zur Kühlung notwendigen Luftstrom zu berechnen, ist es notwendig, die Verlustleistung der einzelnen Hardwareelemente zusammenzufassen. Diese gibt an, wie viel Leistung während des Betriebes in Wärme umgewandelt wird. Anhand der Tabelle 9 sind die im Datenblatt angegebene Verlustleistung aller Komponenten zu sehen.

Komponente	Verlustleistung [W]
Delta Frequenzumrichter 7,5 KW	220,5
Delta Frequenzumrichter 3,7 KW	135,1
Motorschutzschalter 25 A	10,4
Motorschutzschalter 12,5 A	7,3
Motorschutzschalter 6,3 A	6,7
Mean Well Netzteil 24 V	36,0
Hauptschalter	13,5
Leistungsschütz ABB 45 A	4,8
Leistungsschütz Siemens	2,1
SPS 1214C	14,0
SPS Signalmodule	10,0
Leitungsschutzschalter 16 A	2,2
Leitungsschutzschalter 6 A	1,8
Gesamt	464,4

Tabelle 9: Verlustleistung

Die Verlustleistung Q_v des Gesamtsystems beträgt somit 464,4 W.

Zur Berechnung des Volumenstroms ist zusätzlich ein Ausgleichsfaktor f sowie der maximale Temperaturunterschied zwischen der Innentemperatur T_i und der Außentemperatur T_u des Schaltschranks. Da der Aufbau ebenerdig auf Meeresniveau erfolgt, ergibt sich ein Ausgleichsfaktor f von 3,1. Die Frequenzumrichter haben laut Datenblatt mit 50°C die niedrigste zulässige Betriebstemperatur. Die maximale Außentemperatur beträgt aufgrund der Klimatisierung maximal 30°C. [14]

$$\Delta T = T_i - T_u = 50^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C} \quad (2)$$

Aus Formel 2 ergibt sich somit ein ΔT von 20°C.

Mithilfe von Formel 3 lässt laut [14] sich hieraus der notwendige Volumenstrom \dot{V} zur Kühlung der Komponenten berechnen.

$$\dot{V} = f \times \frac{Q_v}{\Delta T} = 3,1 \times \frac{464,4\text{m}^3}{20^\circ\text{C}\cdot\text{h}} = 71,98\text{m}^3/\text{h} \quad (3)$$

Zur ausreichenden Kühlung ist dementsprechend ein Volumenstrom von $71,98 \text{ m}^3/\text{h}$ notwendig. Basierend hierauf kommen zur Belüftung zwei Axiallüfter ARX CeraDyna mit den passenden Filtereinheiten zum Einsatz, welche mit einem Volumenstrom von jeweils $108,2 \text{ m}^3/\text{h}$ für ausreichend Luftzirkulation sorgen.

5.3 Entwicklung der Steuerung

Um die Steuerung an den verwendeten Prozessablauf aus Kapitel 2.2 anzugleichen, wird dieser in einem Systemmodell in Form eines Petrinetzes erstellt (siehe Anhang B). Anhand von Petrinetzen wird der genaue Programmablauf abgebildet, was den Vorteil einer genauen Programmübersicht und einfachen Fehlersuche mit sich bringt. Das Erstellen erfolgt mit der Software „Petri-Netz Editor“. Löschttransitionen werden in den folgenden Petrinetzen durch „[X:]“ und Zeittransition durch „Timer“ gekennzeichnet. Über die Simulation des Petrinetz Editors werden die Netze anschließend auf ihre Eigenschaften überprüft.

5.3.1 Betriebskopf

Um das System beim Starten in einen definierten Zustand zu bringen, wird zunächst ein Betriebskopf erstellt, von dem aus in die verschiedenen Zustände geschaltet werden kann.

Operating head SIPN: 0.0

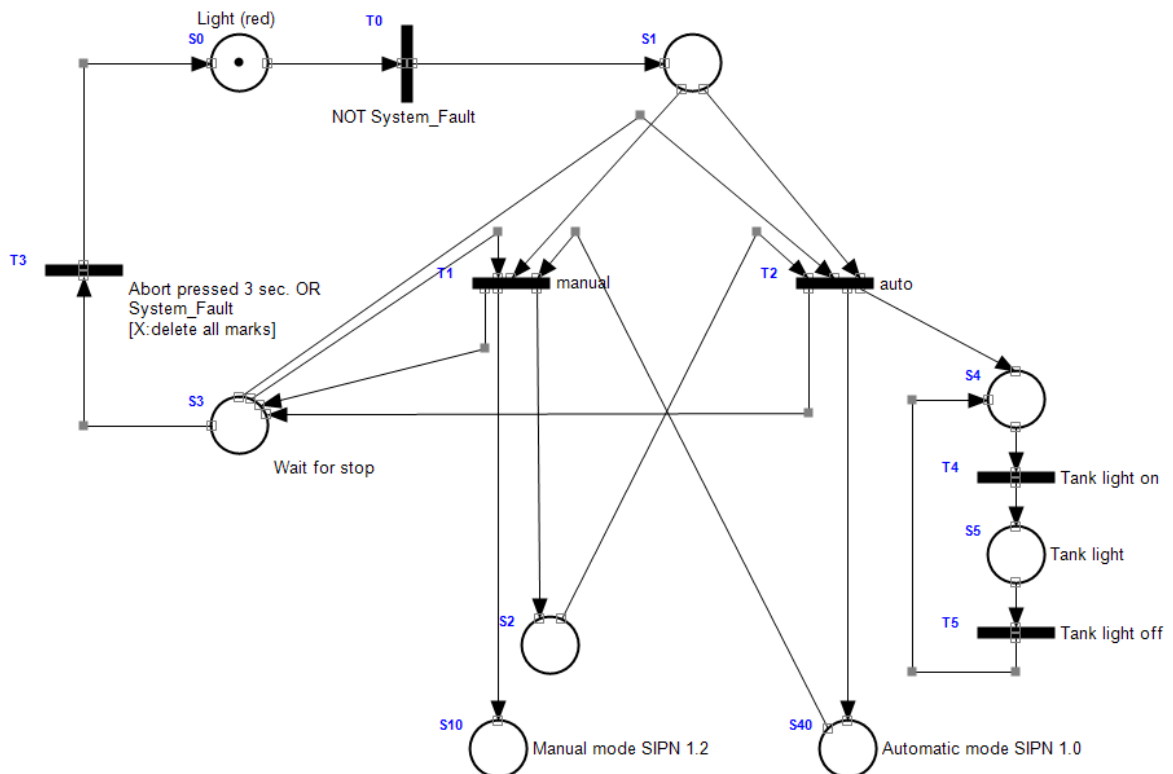


Abbildung 21: Betriebskopf - SIPN 0.0

Der anhand der Abbildung 21 dargestellte Betriebskopf zeigt die möglichen Schaltzustände der Anlage. Die Startmarkierung befindet sich zunächst im Platz S0. Danach befindet sich das System, sofern kein Fehler anliegt, im Zustand S1 und wechselt von hier aus in den Handbetrieb S10 oder

den Automatikbetrieb S40, je nachdem in welchem Bild sich das HMI befindet. Sofern sich die Anlage nicht in einem laufenden Prozess befindet, kann beliebig zwischen dem Handbetrieb und Automatikbetrieb geschaltet werden. Die Stelle S3 ist nach Systemstart dauerhaft mit einer Marke besetzt und sorgt im Fall einer Störung oder beim Stoppen des Prozesses für einen geregelten Stopp, indem die Löschttransition T3 alle vorhandenen Marken aus den weiteren Netzwerken entfernt. Anschließend erreicht die Anlage erneut den Initialzustand.

5.3.2 Handbetrieb

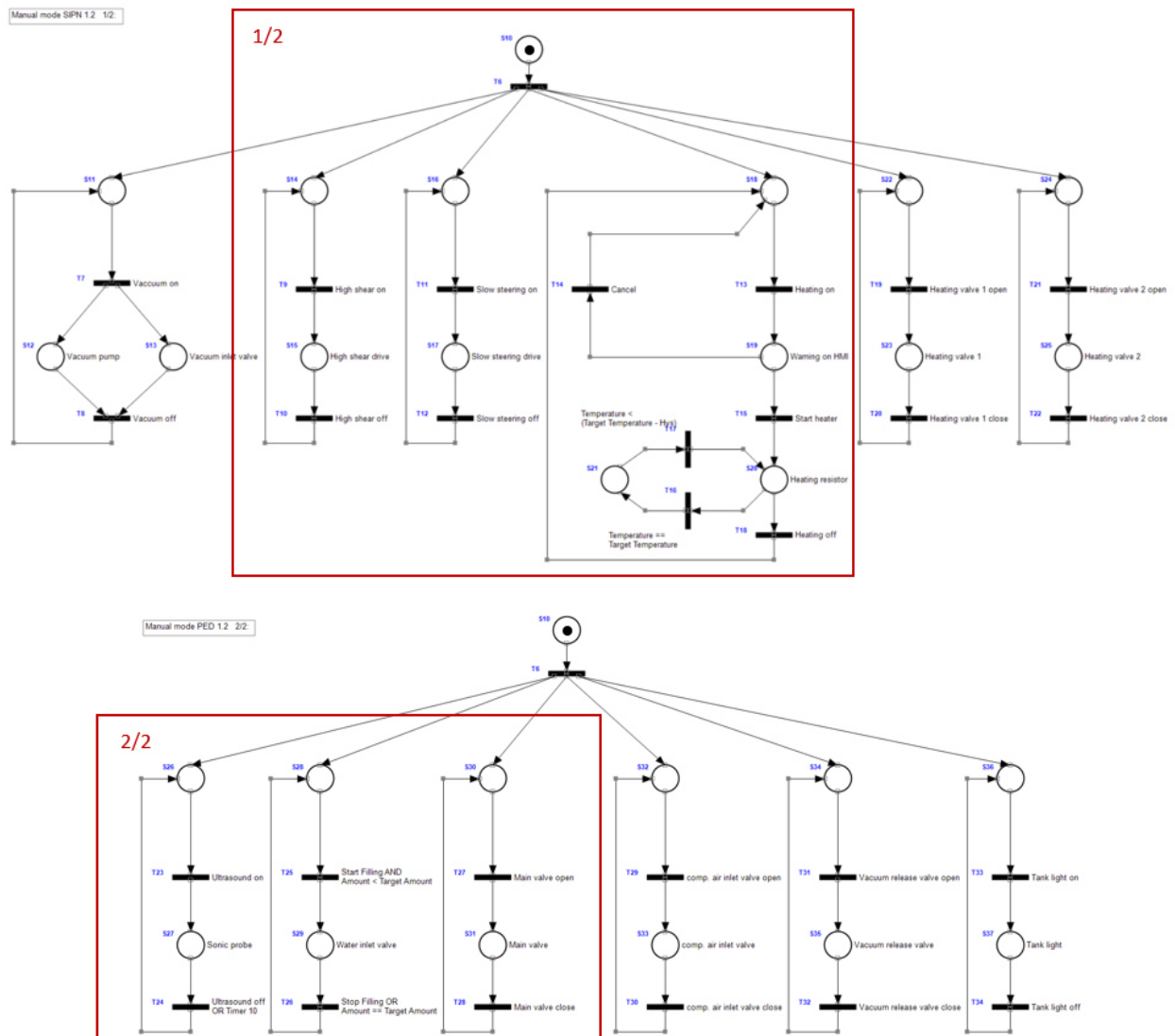


Abbildung 22: Handbetrieb - SIPN 1.2

Befindet sich die Anlage im Handbetrieb S10 (siehe Abbildung 22), wird die aktuelle Marke in der Stelle S10 an alle dahinterstehenden Stellen verteilt. Jeder Aktor kann so unabhängig ein- und ausgeschaltet werden. Wird zum Beispiel der Hochscherantrieb aus Abbildung 23 eingeschaltet, so wird die Marke der Stelle S14 über die Transition T9 an die Stelle S15 übergeben welche dann

den Hochscherantrieb mit einer voreingestellten Geschwindigkeit startet. Wird der Hochscherantrieb ausgeschaltet, dann wird die Marke in der Stelle S15 gelöscht und zurück an die Stelle S14 gegeben. Von hier aus kann der Hochscherantrieb bei Bedarf erneut eingeschaltet werden.

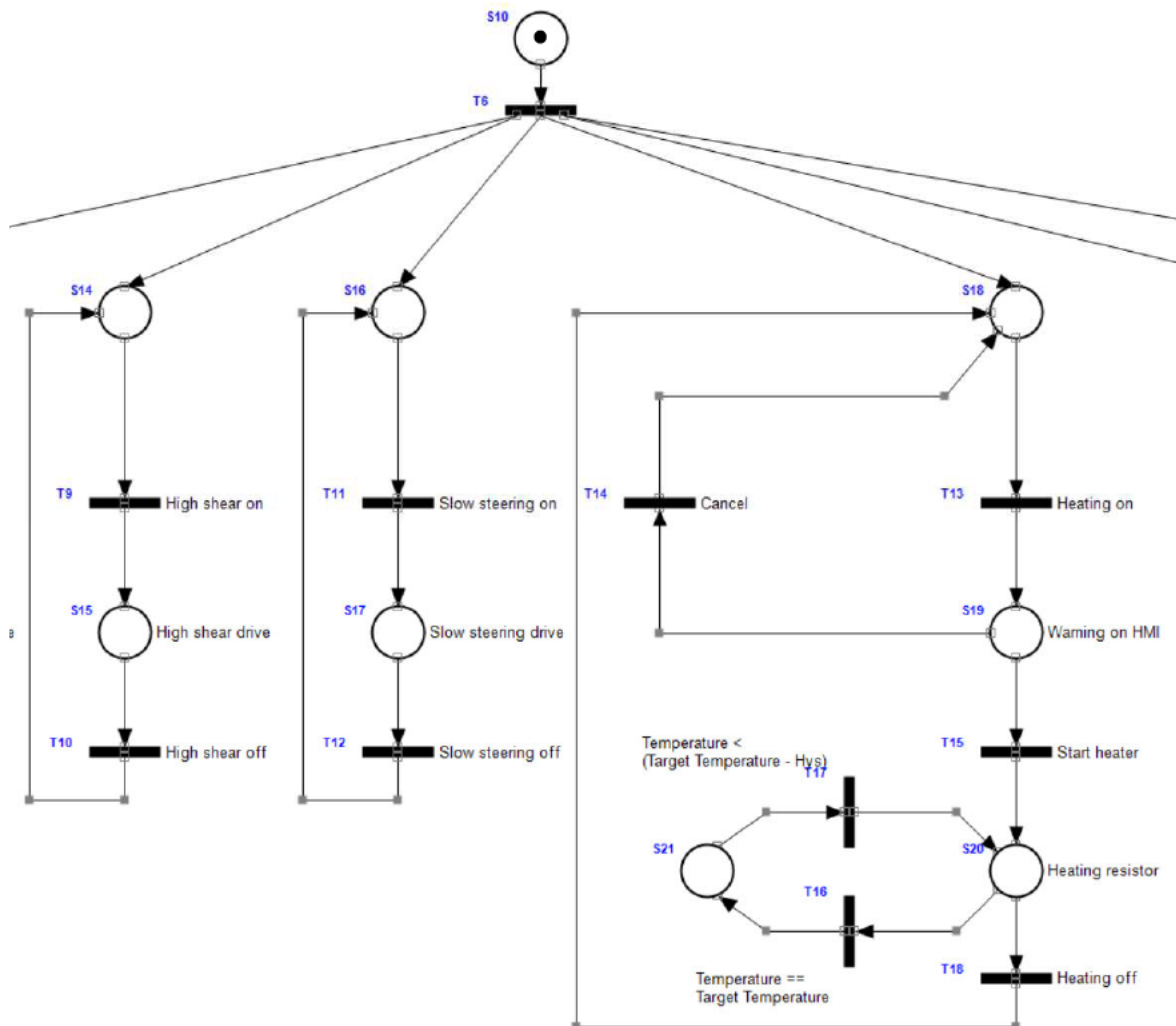


Abbildung 23: Handbetrieb 1/2 - SIPN 1.2

Ein Sonderfall besteht bei der Nutzung der Heizwiderstände. Soll die Heizung, Stelle S21 im Handbetrieb aktiviert werden, gibt es einen zusätzlichen Schritt „S19“, bei dem der Bediener zunächst darauf hingewiesen wird, beide Heizventile zu öffnen und den Wasseranschluss zu kontrollieren, damit die Heizung nicht trocken betrieben wird. Wird die Heizung dann über die Schaltfläche „Start Heater“ eingeschaltet, wandert die Marke zur Stelle S21 und heizt das Produkt auf die im Sollwert hinterlegte Temperatur auf. Ist die Temperatur erreicht, wandert die Marke zur Stelle S20 und die Heizung bleibt bis zur Unterschreitung des fest hinterlegten Grenzwertes ausgeschaltet. Anschließend schaltet sich die Heizung erneut ein, sofern diese nicht ausgeschaltet wurde.

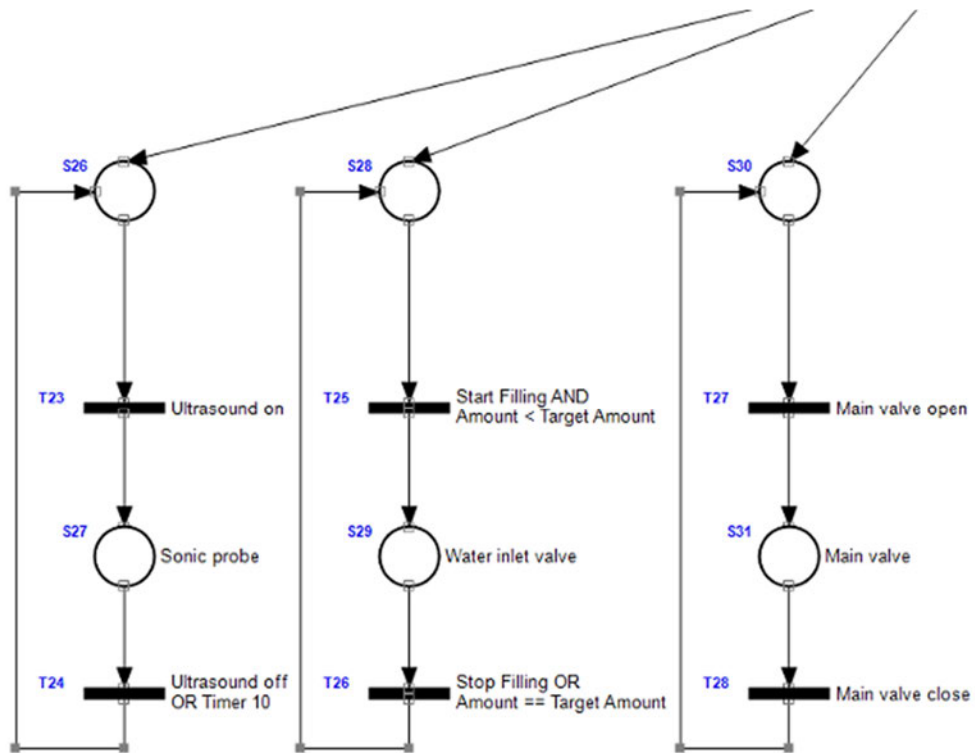


Abbildung 24: Handbetrieb 2/2 - SIPN 1.2

Im Fall der Ultraschallbehandlung über den Handbetrieb (Stelle S27 siehe Abbildung 24) ist es zusätzlich möglich, die Dauer für diese über den Timer 10 festzulegen. Für die Wasserbefüllung des Tanks, Stelle S29, kann die Wassermenge über einen Sollwert vorgegeben und gestartet werden. Das Ventil zur Wasserzufuhr wird dann bis zum Erreichen der Wassermenge geöffnet und schließt automatisch.

5.3.3 Automatikbetrieb

Der Automatikbetrieb hat die Aufgabe den in Kapitel 2.2 gezeigten Prozess möglichst genau nachzubilden, um einen automatisierten Ablauf zu ermöglichen. Der vollständige Automatikbetrieb ist anhand der Abbildung 25 zu sehen, der in vier Abschnitte unterteilt wird.

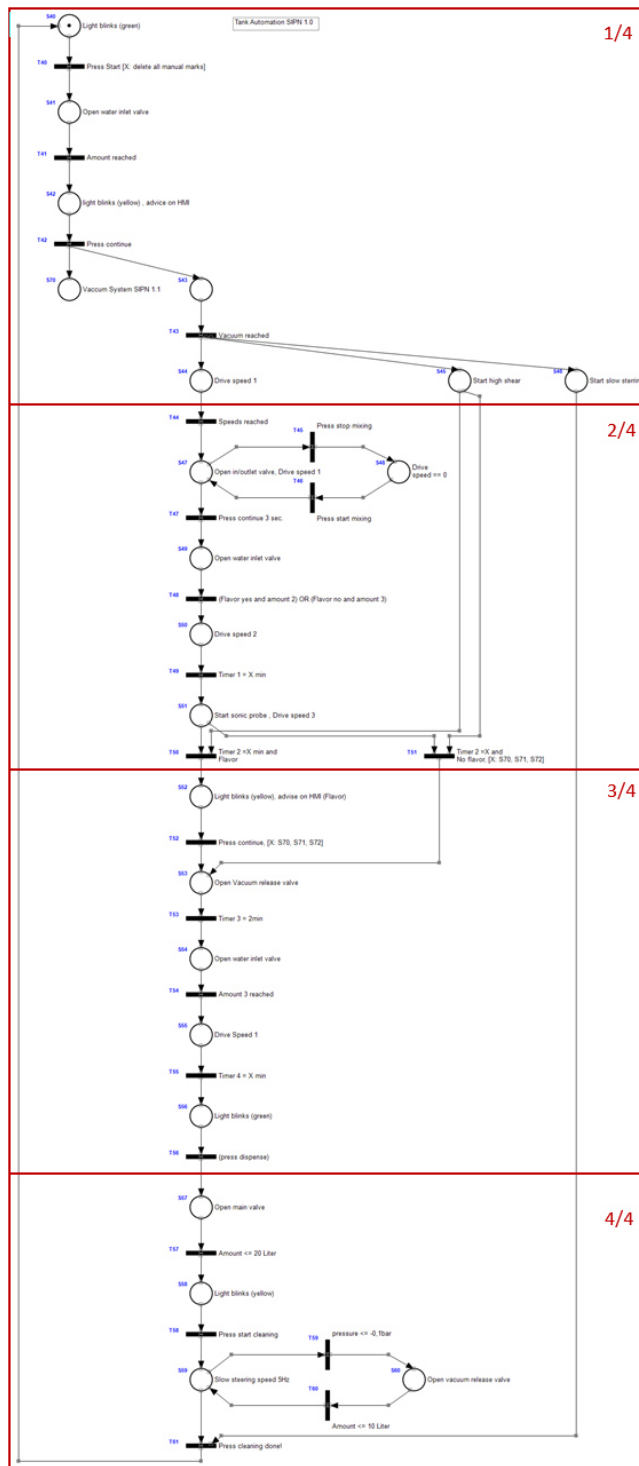


Abbildung 25: Automatikbetrieb - SIPN 1.0

Sobald sich die Anlage im Automatikbetrieb befindet (Stelle S40 siehe Abbildung 26) und mit einer Marke besetzt ist, blinkt die Anlage Grün und signalisiert die Startbereitschaft. Zum Starten soll der Startknopf mindestens 3 Sekunden gedrückt werden, um einen ungewollten Start zu verhindern. Nach dem der Prozess gestartet wurde, öffnet sich das Zulaufventil der Wasserleitung und füllt den Behälter mit Wasser, bis die im Programm hinterlegte Wassermenge erreicht wurde. Ist der Tank vollständig gefüllt, blinkt die Signalampel gelb und fordert den Bediener auf jetzt flüssige Zutaten hinzuzugeben, sofern diese erforderlich sind. Durch einen Tastendruck auf „Continue“ erfolgt der Aufbau des Vakuums, indem eine Marke an die Stelle S70 des Teilsystems zur Vakuumerzeugung übergeben wird (siehe Abbildung 27). Bei einem Abfallen des Vakuums wird die Vakuumpumpe regelmäßig wieder eingeschaltet, um dieses aufrechtzuerhalten. Ist das Vakuum zum ersten Mal erreicht, werden beide Antriebsmotoren parallel auf die voreingestellte Frequenz gefahren. Eine weitere Marke wandert gleichzeitig auf die Stelle S44 und wartet, bis beide Motoren ihre Endgeschwindigkeit erreicht haben.

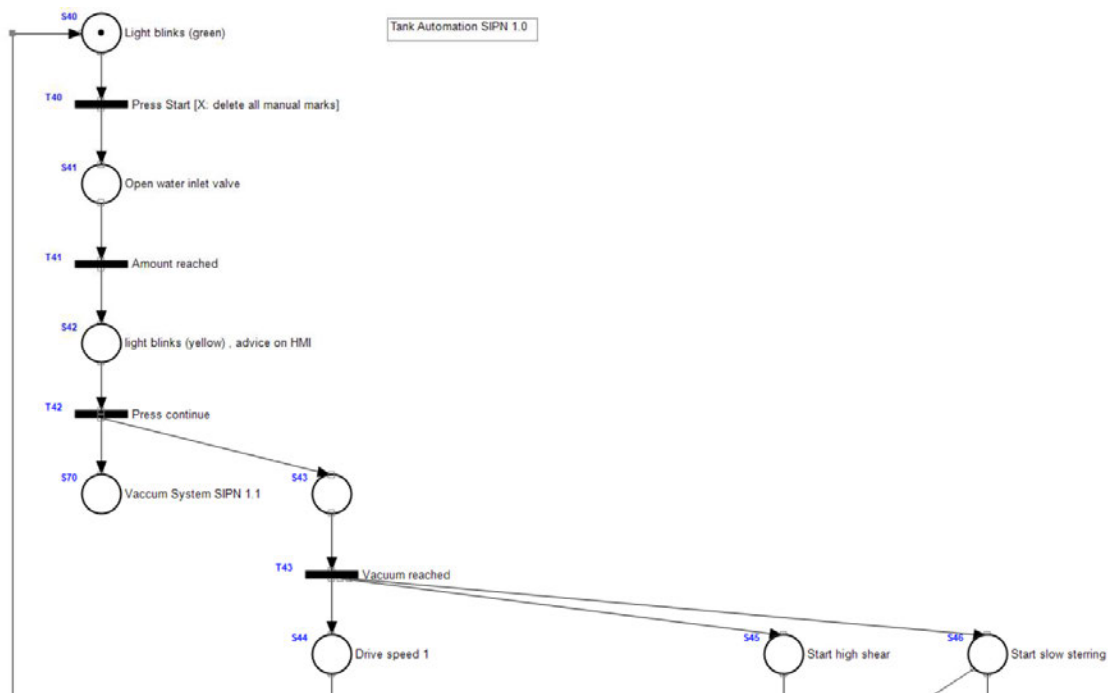


Abbildung 26: Automatikbetrieb 1/4 - SIPN 1.0

Vacuum Control SIPN 1.1:

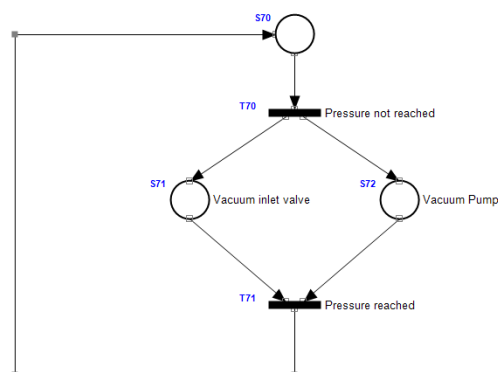


Abbildung 27: Vakuum Erzeugung - SIPN 1.1

Ist dies der Fall, geht die Marke weiter zur Stelle S47 (siehe Abbildung 28) und der Bediener wird aufgefordert das Hauptventil zu öffnen, um das Produktpulver einzusaugen. In diesem Schritt ist es möglich, die Antriebe anzuhalten, da bei einigen Produkten eine optische Kontrolle notwendig ist. Sofern alle Zutaten hinzugefügt wurden und beide Antriebe laufen, kann über eine erneute 3-sekündige Betätigung der Schaltfläche „Continue“ mit dem Prozess fortgefahren werden. Der Tank wird jetzt in Abhängigkeit der eingegebenen Zutatenmenge der Aromen weiter mit Wasser befüllt. Kommen später keine weiteren Zutaten hinzu, so wird der Tank vollständig auf das voreingestellte Volumen aufgefüllt. Andernfalls wird das Volumen der Zutaten von der Füllmenge abgezogen und auf diesen Wert aufgefüllt. Ist das Füllvolumen erreicht, wird das Produkt mit der zweiten Geschwindigkeit für die Zeit von Timer 1 homogenisiert. Nach Ablauf der Zeit von Timer 1 startet die Ultraschallbehandlung des Produktes und die weitere Homogenisierung mit der Geschwindigkeit 3 für die Zeit von Timer 2.

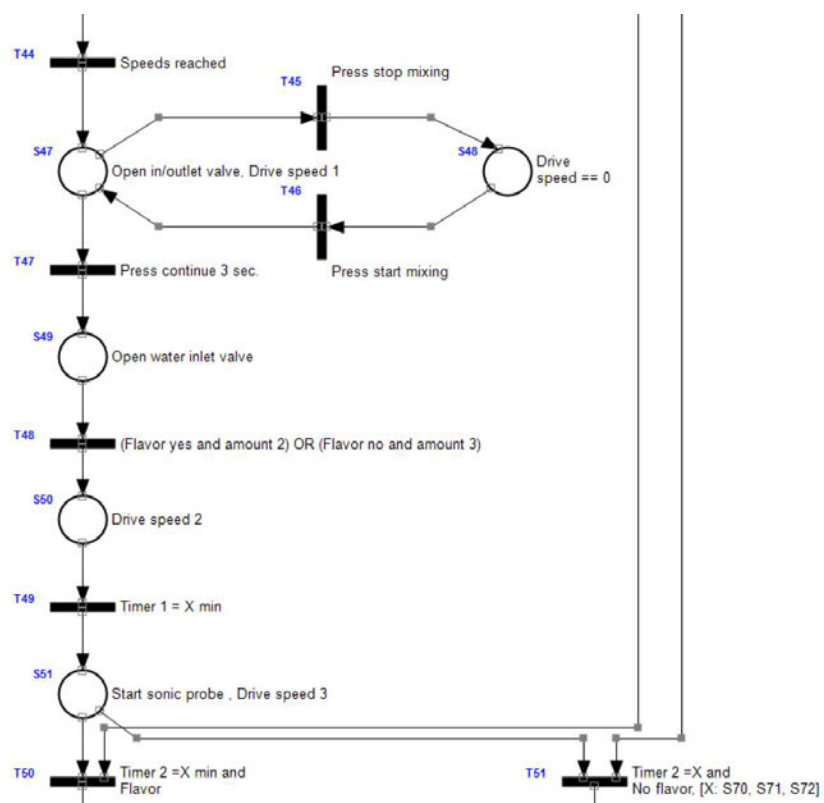


Abbildung 28: Automatikbetrieb 2/4 - SIPN 1.0

Ist die Zeit von Timer 2 abgelaufen, werden sowohl der Hochscherantrieb als auch die Ultraschallmodulation abgeschaltet. Werden im weiteren Prozess keine Aromastoffe hinzugefügt, wird die Marke über die Transition T51 direkt an die Stelle S53 (siehe Abbildung 29) übergeben und die Vakuumpumpe abgeschaltet. Kommen jedoch weitere Aromen hinzu, erfolgt das Schalten der Transition T50 zur Stelle S52, in der der Bediener aufgefordert wird, die Aromastoffe jetzt hinzuzufügen, das zusätzlich durch das Blinken der gelben Signalleuchte signalisiert wird. Nach einem erneuten Bedienen der Schaltfläche „continue“ wandert die Marke ebenfalls in die Stelle S53 und schaltet die Vakuumpumpe aus. Im gleichen Moment wird das Vakuum-Ausgleichsventil geöffnet und der Timer 3 für zwei Minuten gestartet, damit das Vakuum vollständig abgebaut werden kann. Darauffolgend wird der Produktionstank, sofern notwendig, auf das voreingestellte Endvolumen aufgefüllt. Ist das Volumen erreicht werden die Aromen und das zusätzliche Wasser, für die Zeit von Timer 4 in das Produkt eingerührt und die Marke nach Ablauf des Timers an die Stelle S56 übergeben. Hier signalisiert die grüne Signalleuchte, dass das Produkt abfüllbereit ist. Die Transition T56 und die Stelle S57 (siehe Abbildung 30) sind hierbei für die spätere Automatisierung des Hauptventils verwendet und können dann zum Öffnen des Ventils genutzt werden.

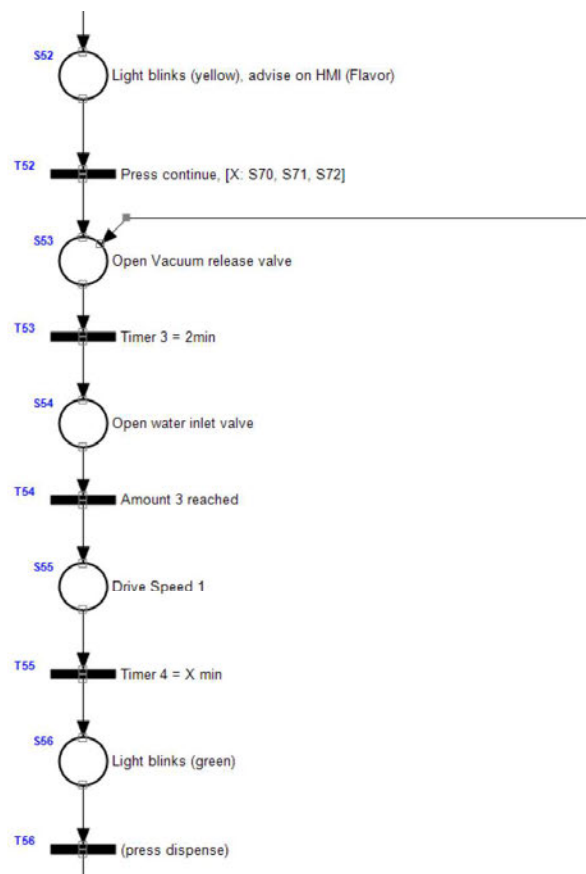


Abbildung 29: Automatikbetrieb 3/4 - SIPN 1.0

Fällt die Füllmenge des Tanks durch die Abfüllung nun unter einen vordefinierten Grenzwert, wird dem Bediener über die gelbe Signalleuchte signalisiert, dass der Tank nahezu leer ist. Ab diesem Zustand S58 kann die externe CIP-Reinigungsanlage von Hand gestartet werden. Diese pumpt Reinigungsmittel mit hohem Druck über die CIP-Rotationsdüsen in den Tank. Durch die Betätigung der Schaltfläche „Start CIP“ geht das Programm in einen Reinigungskreislauf. Alle Ventile sind in diesem Zeitraum geschlossen und das Rührwerk dreht mit einer langsamen Geschwindigkeit von 5 Hz. Sobald ein Unterdruck im Tank entsteht, wird das Vakuum Ausgleichsventil geöffnet, damit die Rücklaufpumpe der CIP-Anlage das Reinigungsmittel problemlos aus dem Tank herauspumpen kann. Wird das Reinigungsende über die Schaltfläche „done“ bestätigt, wird die Anlage wieder in den Ausgangszustand S40 versetzt und kann erneut gestartet werden.

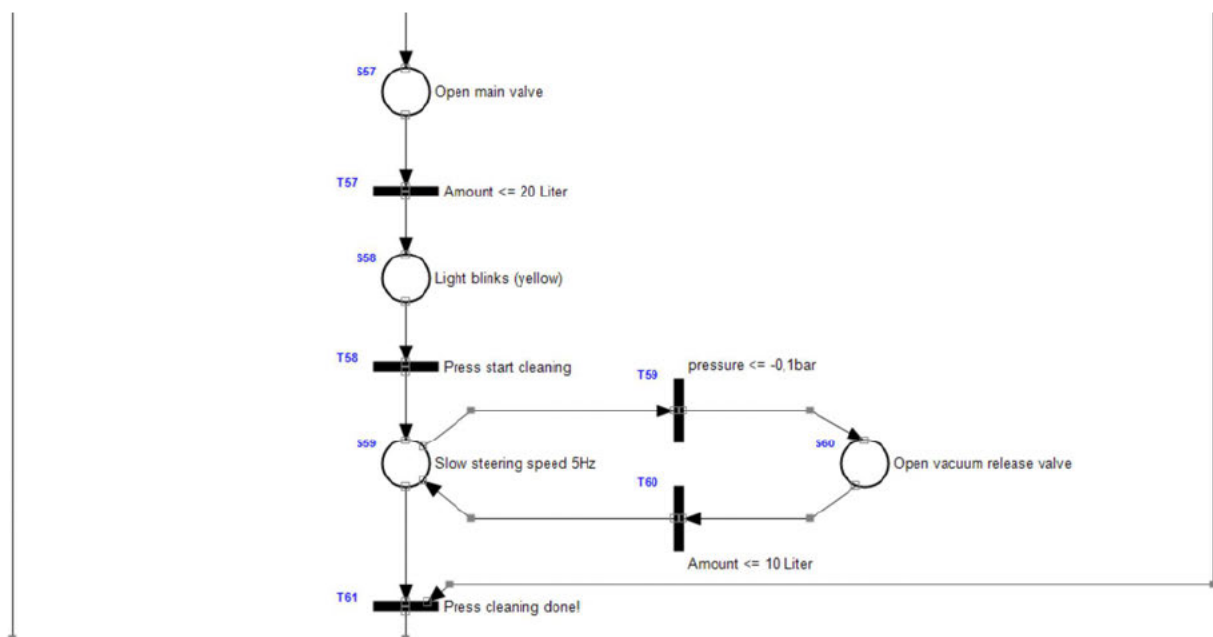


Abbildung 30: Automatikbetrieb 4/4 - SIPN 1.0

Die anschließende Simulation der einzelnen Petrinetze ergeben die Eigenschaften, die anhand der Tabelle 10 dargestellt sind.

Petrinetz	Eigenschaften
Betriebskopf	Deadlockfrei, keine „tote Transition“, starke Lebendigkeit
Handbetrieb	Deadlockfrei, keine „tote Transition“, schwache Lebendigkeit
Automatikbetrieb	Deadlockfrei, keine „tote Transition“, starke Lebendigkeit
Vakuumsystem	Deadlockfrei, keine „tote Transition“, starke Lebendigkeit
Gesamtsystem	Deadlockfrei, keine „tote Transition“, starke Lebendigkeit

Tabelle 10: Petrinetz Eigenschaften

Anhand der Tabelle ist zu erkennen, dass lediglich der Handbetrieb in der Einzelbetrachtung eine schwache Lebendigkeit aufweist, da die Stelle S10 nur einmalig aktiv ist. Wird das Gesamtsystem betrachtet, so ergibt sich eine starke Lebendigkeit, weil jede Stelle aufgrund der Löschransitionen und einer geeigneten Schaltfolge immer wieder erreicht werden kann. In keinem der Netze kommt es während der Simulation zu einem Deadlock oder einer „toten“ Transition.

5.5 Entwicklung der Visualisierung

Um die Anlage bedienen zu können, soll auf dem HMI eine Benutzeroberfläche gestaltet werden, die möglichst einfach und selbsterklärend ist. Vor dem Erstellen der eigentlichen Bilder soll zunächst festgelegt werden, welche Bilder notwendig sind und welche Informationen beziehungsweise Aktionen enthalten sein sollen. Für einen übersichtlichen Betrieb sollen der Automatikbetrieb und der Handbetrieb in unterschiedlichen Bildern dargestellt werden. Im Automatikbetrieb sollen die verschiedenen Rezepte anwählbar und änderbar sein. Hierzu ist es sinnvoll, eine Schaltfläche zu kreieren, über die der Zugang zu einem weiteren Bild zur Rezeptauswahl erfolgen kann. Zur Nachverfolgung des Prozesses wird ein Bild erstellt, das die aktuellen und vergangenen Kurvenverläufe der verschiedenen Prozessparameter in Form eines Liniendiagramms zeigt. Um die Waage zu kalibrieren, sollen weitere Parameter an die Steuerung gesendet werden. Daher wird hierzu ein eigenes Bild erstellt, über das sich die Waage bei Bedarf kalibrieren lässt.

Die Tabellen 11, 12, 13, 14 und 15 zeigen die jeweils nötigen Informationen und Aktionen der einzelnen Bilder, welche später in der Entwicklung umgesetzt werden sollen. Das Anwählen der Einzelbilder erfolgt hierbei über die Hardwaretasten des HMI KP900 K1-K5.

Automatikbetrieb	
Informationen:	Aktionen:
1. Aktuelles Produkt	1. Auswahl der Rezeptur
2. Prozessfortschrittsanzeige	2. Starten des Prozesses
3. Ist-Wert Hochscherkraft Antriebsfrequenz	3. Stoppen des Prozesses
4. Ist-Wert Rührwerk Antriebsfrequenz	4. Weiterführen des Prozesses nach einem Zwischenschritt
5. Ist-Wert Füllmenge	5. Starten und Stoppen des Rührwerks in Schritt S47
6. Ist-Wert Temperatur	6. Starten des Reinigungsbetriebes
7. Ist-Wert Gewicht	7. Bestätigen des Reinigungsendes
8. Tankbeleuchtung Ein-/Ausgeschaltet	8. Ein-/Ausschalten der Tankbeleuchtung

Tabelle 11: Visualisierungsanforderungen - Automatikbetrieb

Der Automatikbetrieb soll eine Übersicht über die Prozessparameter, den Prozessfortschritt sowie das aktuell gewählte Rezept geben. Dabei soll gewährleistet sein, dass alle notwendigen Eingaben ermöglicht werden, um den Prozessablauf aus Kapitel 4.4.3 „SIPN 1.0“ durchzuführen.

Beim Handbetrieb hingegen sollen alle Aktoren wie in Kapitel 4.4.2 „SIPN 2.0“ einzeln bedienbar sein. Hierzu ist es nötig, dem System die gewünschten Sollwerte vorzugeben.

Anhand der Tabelle 12 sind die im Handbetrieb notwendigen Informationen und Aktionen dargestellt, die bei der Entwicklung der Visualisierungsoberfläche umgesetzt werden sollen. Die gelb markierten Punkte beschreiben die Ventile welche vorerst nicht automatisiert aber bereits in der Visualisierung aufgenommen werden. Diese bleiben jedoch bis zur späteren Anbindung als Platzhalter und sind vorerst nicht bedienbar.

Handbetrieb			
Informationen:		Aktionen:	
1.	Soll-/Ist-Wert Hochscherkraft Antriebsfrequenz	1.	Sollwert Eingabe Hochscherkraft Antriebsfrequenz
2.	Soll-/Ist-Wert Rührwerk Antriebsfrequenz	2.	Sollwert Eingabe Rührwerk Antriebsfrequenz
3.	Soll-/Ist-Wert Füllmenge	3.	Sollwert Eingabe Füllmenge
4.	Soll-/Ist-Wert Temperatur	4.	Sollwert Eingabe Temperatur
5.	Soll-/Ist-Wert Ultraschalldauer	5.	Sollwert Eingabe Ultraschalldauer
6.	Hochscherkraft Ein-/Ausgeschaltet	6.	Hochscherkraft Antrieb Ein-/Ausschalten
7.	Rührwerk Ein-/Ausgeschaltet	7.	Rührwerk Antrieb Ein-/Ausschalten
8.	Heizung Ein-/Ausgeschaltet	8.	Heizung Ein-/Ausschalten
9.	Vakuum Ein-/Ausgeschaltet	9.	Vakuum Ein-/Ausschalten
10.	Vakuum aufgebaut	10.	Ultraschall Ein-/Ausschalten
11.	Ultraschall Ein-/Ausgeschaltet	11.	Tankbeleuchtung Ein-/Ausschalten
12.	Tankbeleuchtung Ein-/Ausgeschaltet	12.	Wasser Befüllung starten/stoppen
13.	Vakuumausgleichsventil offen/geschlossen	13.	Vakuumausgleichsventil öffnen/schließen
14.	Druckluftventil offen/geschlossen	14.	Druckluftventil öffnen/schließen
15.	Hauptventil offen/geschlossen	15.	Hauptventil öffnen/schließen
16.	Heizventil 1 offen/geschlossen	16.	Heizventil 1 öffnen/schließen
17.	Heizventil 2 offen/geschlossen	17.	Heizventil 2 öffnen/schließen

Tabelle 12: Visualisierungsanforderungen - Handbetrieb

Das Bild zur Rezeptauswahl soll das Erstellen und Speichern neuer Rezepte sowie das Laden und Ändern bestehender Rezepte ermöglichen. Für jedes Rezept sind ebenso die verschiedenen Parameter aus Tabelle 13 für den Automatikbetrieb anzuzeigen und anzupassen.

Rezepte			
Informationen:		Aktionen:	
1.	Ausgewähltes Rezept	1.	Erstellen und speichern neuer Rezepte
2.	Sollwert Hochscherkraft Antriebsfrequenz (1,2,3)	2.	Laden und ändern bestehender Rezepte
3.	Sollwert Rührwerk Antriebsfrequenz (1,2,3)	3.	Sollwert Eingabe Hochscherkraft Antriebsfrequenz
4.	Sollwert Füllmenge	4.	Sollwert Eingabe Rührwerk Antriebsfrequenz
5.	Sollwert Temperatur	5.	Sollwert Eingabe Füllmenge
6.	Sollwert Homogenisierungsdauer S50	6.	Sollwert Eingabe Temperatur
7.	Sollwert Ultraschalldauer S51	7.	Sollwert Eingabe Homogenisierungsdauer S50
8.	Sollwert Einrührdauer S55	8.	Sollwert Eingabe Ultraschalldauer S51
9.	Sollwert Aromastoffe (flüssig)	9.	Sollwert Eingabe Aromastoffe (flüssig)
10.	Sollwert Aromastoffe (fest)	10.	Sollwert Eingabe Aromastoffe (fest)

Tabelle 13: Visualisierungsanforderungen - Rezepte

Die Darstellung aller Prozessparameter erfolgt in einem weiteren Bild in Form eines Liniendiagramms mit den Informationen und Aktionen aus Tabelle 14. Dieses Bild soll einen kurzfristigen Überblick über den Verlauf des aktuellen Prozesses geben.

Kurven			
Informationen:		Aktionen:	
1.	Ist-Wert Hochscherkraft Antriebsfrequenz	1.	Ändern der Zeiträume
2.	Ist-Wert Rührwerk Antriebsfrequenz	2.	Ein- und Auszoomen
3.	Ist-Wert Füllmenge		
4.	Ist-Wert Temperatur		
5.	Ist-Wert Gewicht		
6.	Uhrzeit und Datum		

Tabelle 14: Visualisierungsanforderungen - Kurven

Das zuletzt anwählbare Bild zeigt eine Übersicht der Waage. Dieses soll es ermöglichen, diese bei Bedarf über die Funktionen aus Tabelle 15 zu kalibrieren.

Waagen Kalibrierung			
Informationen:		Aktionen:	
1.	Aktuelles Gewicht	1.	Tarierung der Waage
		2.	Kalibrierung der Waage

Tabelle 15: Visualisierungsanforderungen - Waagen Kalibrierung

5.6 Entwicklung der Störungshandhabung

Im Fall einer Störung während des Betriebes soll der Bediener hierüber informiert werden und das System entsprechend reagieren.

Anhand der Tabelle 16 sind mögliche Störmeldungen und deren Ursachen, die im Prozess auftreten können, gelistet. Unabhängig davon ob sich die Anlage im Automatik- oder Handbetrieb befindet, werden im Fehlerfall alle Aktoren gestoppt, um weitere Fehlfunktionen zu verhindern. Dem Bediener wird entsprechend der anliegenden Störung eine Meldung auf dem HMI angezeigt und die Störung über die rote Signalleuchte signalisiert. Nach Behebung und Quittierung der Störung kann der Prozess von Hand beendet oder ein neuer Prozess im Automatikmodus gestartet werden.

Störung	Mögliche Ursache
Vakuumaufbau Störung	Vakuumpumpe läuft nicht, Vakuum Einlassventil öffnet nicht, Vakuum Ausgleichsventil schließt nicht, Handventile geöffnet
Vakuumabbau Störung	Vakuumausgleichsventil öffnet nicht
Kommunikation Hochscherkraft Antrieb	Spannungsversorgung FU, FU in Störung, RS485 Datenleitung defekt
Kommunikation Rührwerk Antrieb	Spannungsversorgung FU, FU in Störung, RS485 Datenleitung defekt
Füllstand Störung	Wasser Einlassventil öffnet nicht, Wasserzulauf geschlossen, Haupt Ein-/Auslassventil geöffnet
Heizung Störung	Heizung läuft nicht, Temperatursensor Messwertfehler
Waage Messwertfehler	Wägeeinheit funktioniert nicht richtig oder Verdrahtung fehlerhaft
Temperatur Messwertfehler	Temperatursensor funktioniert nicht oder Verdrahtung fehlerhaft
Füllstand Messwertfehler	Füllstandssensor funktioniert nicht richtig oder Verdrahtung fehlerhaft

Tabelle 16: Störungen

5.7 Entwicklung der Datenarchivierung

Zur nachträglichen Auswertung der Prozessverläufe im Automatikbetrieb sollen die Prozessparameter für mindestens 14 Tage gespeichert werden. Die Aufzeichnung der Variablen soll mit dem Beginn eines Prozesses starten und wird mit dem Start der Reinigung beendet.

Für diesen Prozess sollen die fünf folgenden Parameter mit einem Zeitstempel archiviert werden:

- Hochscherkraft Antriebsfrequenz,
- Rührwerk Antriebsfrequenz,
- Füllstand,
- Gewicht,
- Temperatur.

Da der Prozess keine schnellartigen Änderungen der Parameter beinhaltet genügt es diese in einem Intervall von fünf Sekunden zu archivieren. Für die Archivierung der Daten gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Einfachste ist ein sogenanntes Umlaufarchiv, bei dem alte Datensätze überschrieben werden, sobald das Archiv vollständig mit Daten gefüllt ist. Die Berechnung der hieraus resultierenden Archivierungsdauer berechnet sich laut [15] nach Formel 4.

$$\left(\frac{\text{Anzahl Datensätze}}{\text{Anzahl Archivvariablen}} \right) \times \text{Archivierungszyklus} = \text{Zeit in Sekunden} \quad (4)$$

Durch die Verwendung des HMI KP900 mit 50 Archiven mit je 20000 Datensätzen ergibt sich eine maximale Archivierungsdauer von ungefähr 5,5 Stunden.

Es ist hingegen jederzeit möglich, eine Kopie der Archive auf ein externes Speichermedium zu übertragen. Laut dem Kunden benötigt ein kompletter Prozessdurchlauf im Durchschnitt 3 Stunden. Daher ist eine Archivierungsdauer von 5,5 Stunden ausreichend, wenn die Archive nach jedem Prozessdurchlauf auf dem externen Speichermedium abgelegt werden. Die Dauer der Archivierung ist somit nur noch von der Größe des Speichermediums abhängig und kann bei Bedarf jederzeit verändert werden. [15]

6. Realisierung und Test

Der abschließende Teil der Arbeit beschreibt die Realisierung der vorangegangenen Planungsarbeiten. Hier wird sowohl der konkrete Schaltschrankbau, die finale Programmierung der Steuerung als auch die Anbindung des Systems an die Prozessanlage mit anschließendem Funktionstest erläutert.

6.1 Schaltschrankbau

Zur Steuerung der Prozessanlage ist es notwendig, den Schaltschrankaufbau und die Verdrahtung wie im Kapitel 4.3 zu realisieren. Hierzu wird zunächst die Grundplatte mit den entsprechenden Kabelkanälen und Hutschienen bestückt, um die Komponenten darauf zu befestigen. Anschließend beginnt die Montage der Komponenten nach der Abbildung 17 aus Kapitel 5.2. Der Einbau der Frequenzumrichter wird vorbereitet, jedoch erst bei der Anbindung an die Prozessanlage realisiert, da diese vorerst noch verwendet werden. Nach dem Aufbau der Grundplatte erfolgt die Verdrahtung nach dem zuvor erstellten Schaltplan aus Anhang B. Anhand der Abbildung 31 ist der fertige Aufbau der Grundplatte zu sehen.

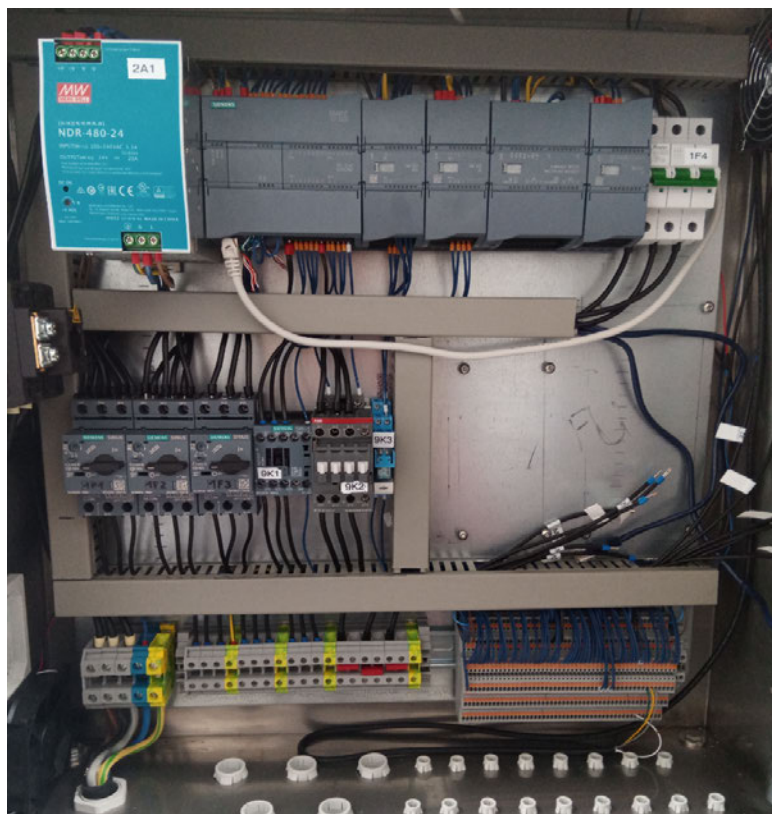


Abbildung 31: Verdrahteter Schaltschrankinnenaufbau

Der Schaltschrank selbst wird für den Einbau der Lüfter sowie der Bedien- und Anzeigeelemente mit den nötigen Aussparungen versehen. Ebenso werden die nötigen Kabelverschraubungen (siehe Abbildung 32) am unteren Schaltschrankteil inklusiver Reserven angebracht. Über diese können alle Kabel wasserspritzgeschützt in den Schaltschrank verlegt werden.



Abbildung 32: Schaltschrankaufbau Unterseite

Um eine angenehme Bedienung des Touchpanels zu ermöglichen, wird der Schaltschrank mit Vierkantrohr aus Edelstahl verlängert. Über diese Edelstahlprofile wird der Schaltschrank im Nachhinein mit dem Podest der Prozessanlagen verschraubt. Die Fertigstellung des Schaltschranks ist anhand der Abbildung 33 zu sehen.



Abbildung 33: Schaltschrankaufbau Oberseite

Alle von außen am Schaltschrank aufgebrauchten Bauteile haben eine IP-Schutzart von mindestens IP54 oder höher und sind somit allseitig wasserspritzgeschützt. [13]

6.2 Programmieren der Steuerung

Um den Automatik-/Handbetrieb der Anlage zu gewährleisten, wird die Logik entsprechend der zuvor erstellten Petrinetze programmiert. Hierzu ist es zunächst notwendig, die jeweils benötigten Sensordaten einzulesen und deren Rohdaten in ein geeignetes Format zu übertragen. Für diese Aufgaben werden daher mehrere Funktionsbausteine erzeugt. Die Programmierung der Petrinetze erfolgt in der Programmiersprache ST (Strukturierter Text). Alle weiteren Funktionsbausteine werden in KOP (Kontaktplan) programmiert. Hierbei werden die einzelnen Netzwerke der übersichtshalber stets klein gehalten und entsprechend kommentiert. Durch den Aufruf der jeweiligen Funktionsbausteine innerhalb des Organisationsbausteins „OB1“ werden die Funktionen zyklisch von der SPS ausgeführt.

6.2.1 Funktionsbaustein „Input_mapping“

Im Funktionsbaustein „Input_mapping“ erfolgt die Deklaration aller Eingangsvariablen (siehe Abbildung 34) für die Sensoren sowie der Eingaben auf dem HMI. Diese können anschließend beim Aufruf im Organisationsbaustein (siehe Abbildung 35), an einen Hardwareingang gekoppelt werden.

1	Input						
2	I_weight	Real	0.0	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	I_temperature	Int	0	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	I_manual_frequency_...	Int	0	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	I_manual_frequency_...	Int	0	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	I_flow_rate_pulse	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	I_emergency_button	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	I_pressure_sensor_sp2	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	I_pressure_sensor_sp1	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	I_continue_button	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	I_dispense_button	Bool	false	Nicht rema...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 34: Deklaration der Eingänge

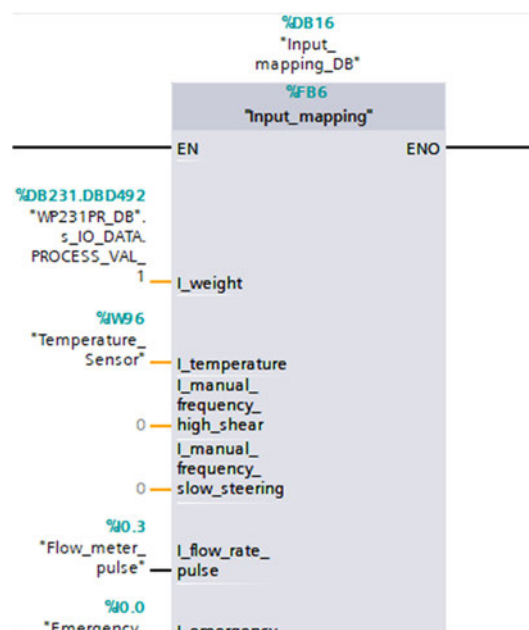
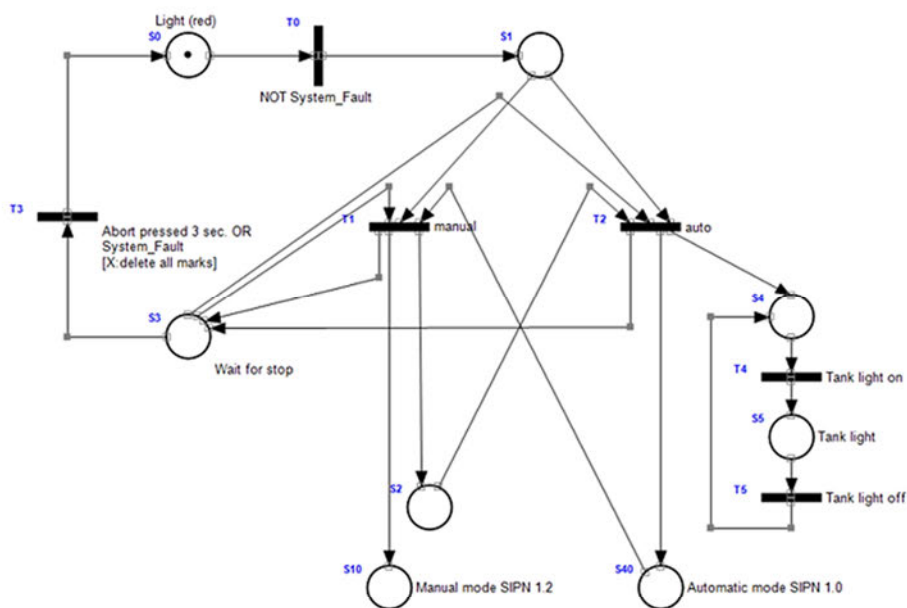


Abbildung 35: Zuweisung der Eingänge

6.2.2 Funktionsbaustein „Operating_head“

Nach der Deklaration der Eingangsvariablen wird der Betriebskopf des Petrinetz SIPN 0.0 aus Kapitel 5.3.1 programmiert. Die Benennung der Transitionen und Stellen erfolgt hierbei analog zum Petrinetz (siehe Abbildung 36). Den jeweiligen Stellen werden jedoch noch keine Ausgänge zugewiesen. Dies erfolgt später in einem zusätzlichen Funktionsbaustein „Output_mapping“. Um einen geregelten Start zu erhalten, wird die Anfangsstelle S0 zunächst auf „1“ gesetzt, sofern keine der anderen Stellen aktiv ist. Die Markierung der Stellen S10 und S40 werden direkt an die Datenbausteine des Hand- und Automatikbetriebs übergeben.



```

0001 //Operating head SIPN 0.0
0002
0003 IF NOT #S1 AND NOT #S2 AND NOT #S3 AND NOT #S5 AND NOT #S10 AND NOT "Auto_mode_DB".S40 THEN
0004   #S0 := 1;
0005 ELSE
0006   #S0 := 0;
0007 END_IF;
0008
0009 //T0
0010 IF #S0 AND NOT #S1 AND NOT "Failure_Handling_DB".System_Fault THEN
0011   #S0 := 0;
0012   #S1 := 1;
0013 END_IF;
0014
0015 //T1
0016 IF (#S1 AND NOT #S3) OR ("Auto_mode_DB".S40 AND #S3) AND NOT #S2 AND NOT "Manual_mode_DB".S10 AND "Input_map-
ping_DB".I_manual_auto_switch THEN
0017   #S1 := 0;
0018   "Auto_mode_DB".S40 := 0;
0019   #S4 := 0;
0020   #S5 := 0;
0021   #S6 := 0;
0022   "Manual_mode_DB".S10 := 1;
0023   #S2 := 1;
0024   #S3 := 1;

```

Abbildung 36: Betriebskopf Programmcode

6.2.3 Funktionsbaustein „Auto_mode“

Auch der Automatikbetrieb wird anhand des Petrinetzes programmiert (siehe Abbildung 37). Die hierzu benötigten Timer werden jeweils vor den entsprechenden Transitionen deklariert und anschließend in die Schaltbedingung integriert. Alle weiteren Variablen zur Erfüllung der Schaltbedingungen werden aus den jeweiligen Datenbausteinen bezogen. Die Berechnung und Abfrage der Variable „„Calculation_DB“.amount1_reached“ wird z.B. innerhalb des später beschriebenen Funktionsbaustein „Calculation“ realisiert.

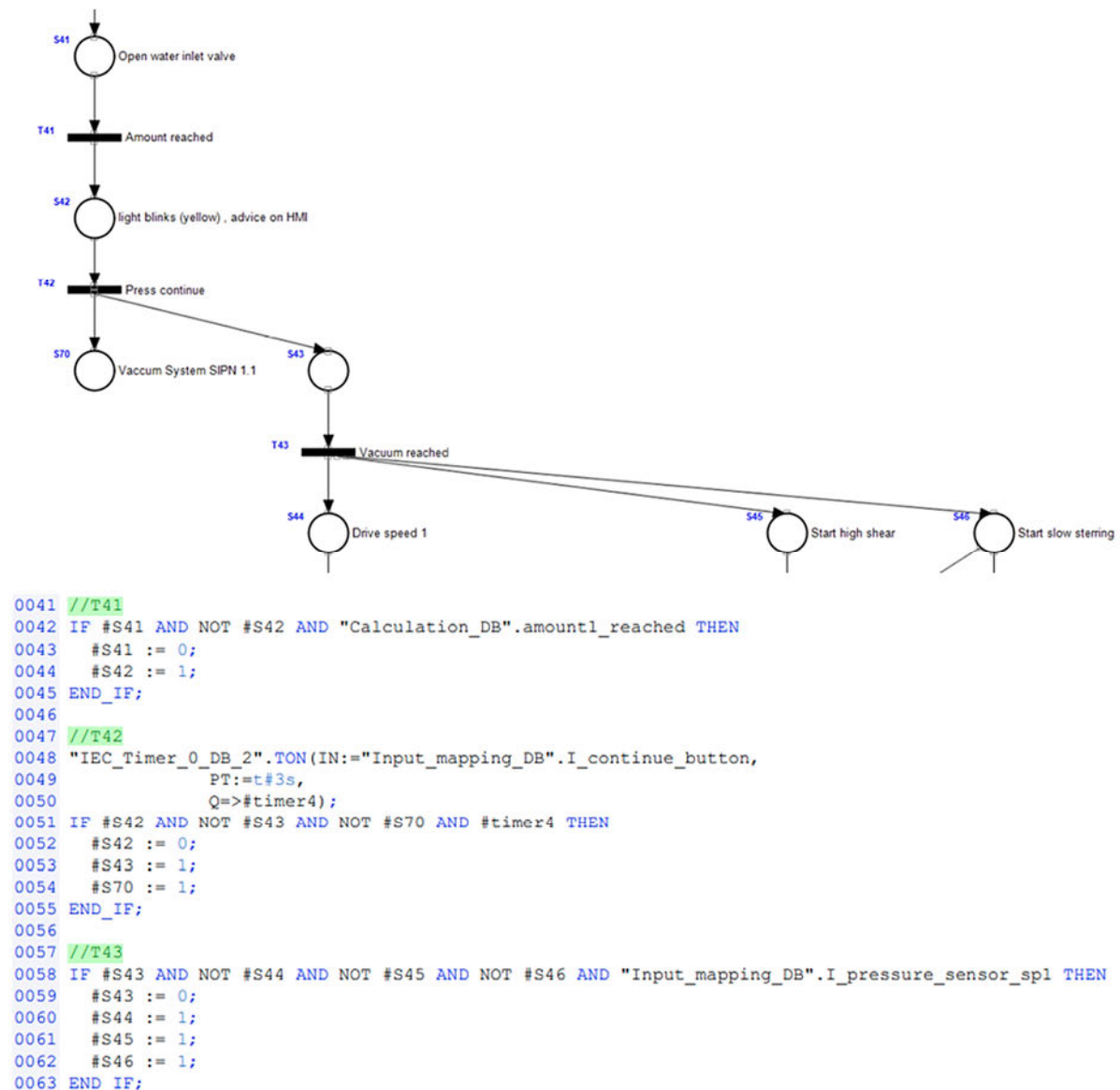
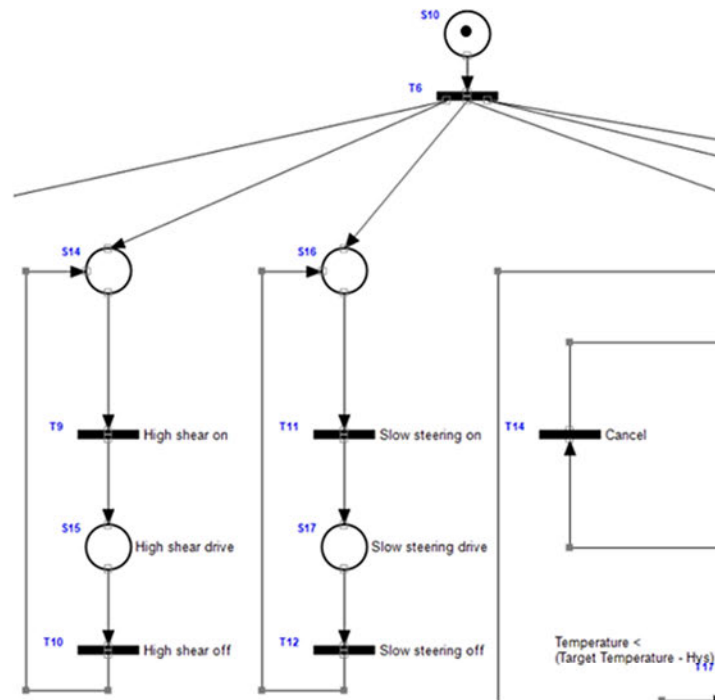


Abbildung 37: Automatikbetrieb Programmcode

6.2.4 Funktionsbaustein „Manual_mode“

Wie bereits beim Betriebskopf und Automatikbetrieb wird der Handbetrieb anhand des Petrinetzes programmiert (siehe Abbildung 38). Sobald die Stelle S10 durch den Betriebskopf markiert wird, werden durch die Transition T6 alle nachfolgenden Stellen auf „1“ gesetzt. Die Transitionen T9 und T10 zeigen die Programmierung zum Ein- und Ausschalten des Hochscherantriebs. T9 und T10 zeigen die Programmierung zum Ein- und Ausschalten des Hochscherantriebs.



```

0001 //Manual-mode SIPN 1.2
0002
0003 //T6
0004 IF #S10 AND NOT #S11 AND NOT #S14 AND NOT #S16 AND NOT #S18 AND NOT #S22 AND NOT #S24 AND NOT #S26 AND NOT #S28 AND NOT
    #S30 AND NOT #S32 AND NOT #S34 AND NOT #S36 THEN
0005   #S10 := 0;
0006   #S11 := 1;
0007   #S14 := 1;
0008   #S16 := 1;
0009   #S18 := 1;
0010   #S22 := 1;
0011   #S24 := 1;
0012   #S26 := 1;
0013   #S28 := 1;
0014   #S30 := 1;
0015   #S32 := 1;
0016   #S34 := 1;
0017   #S36 := 1;
0018 END_IF;
0034 //T9
0035 IF #S14 AND NOT #S15 AND "Input_mapping_DB".I_high_shear_motor_switch THEN
0036   #S14 := 0;
0037   #S15 := 1;
0038 END_IF;
0039
0040 //T10
0041 IF #S15 AND NOT #S14 AND NOT "Input_mapping_DB".I_high_shear_motor_switch THEN
0042   #S15 := 0;
0043   #S14 := 1;
0044 END_IF;

```

Abbildung 38: Handbetrieb Programmcode

6.2.5 Funktionsbaustein „RS485_communication“

Da die Frequenzrichter der Antriebsmotoren über eine RS-485 Busverbindung kommunizieren, erfolgt die Umsetzung in einem zusätzlichen Funktionsbaustein „RS485_Communication“. Die SPS fungiert hierbei als Master und die Frequenzrichter als Slaves. Hierdurch hat diese die Möglichkeit Daten an die Frequenzrichter zu senden oder Daten abzufragen. Über den Programmbaustein „MB_COMM_LOAD“ (siehe Abbildung 39) wird die Verbindung parametriert. Wichtig dafür sind der Port des RS485 Modul, die Baudrate, die Parität sowie der Datenbaustein „MB_DB“ über den die Befehle ausgeführt werden.

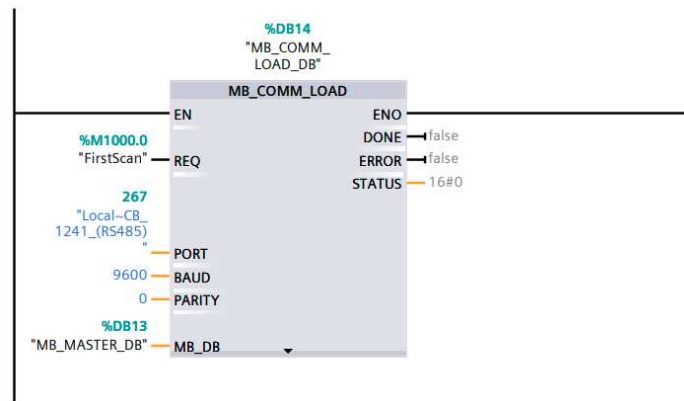


Abbildung 39: RS485 Kommunikationsaufbau

Ist die Verbindung aufgebaut, können die erforderlichen Daten durch den Programmbaustein „MB_MASTER“ gesendet oder abgefragt werden. Das anhand der Abbildung 40 dargestellte Netzwerk, zeigt das Senden der Zielfrequenz an den Frequenzrichter.

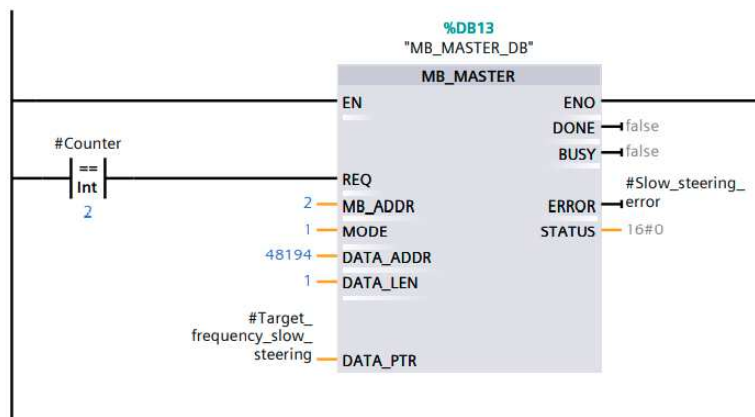


Abbildung 40: Setzen der Zielfrequenz des Rührwerkantriebs

Da jeweils nur ein Datensatz über die Busverbindung gesendet oder empfangen werden kann, wird ein entsprechender Zähler (siehe Abbildung 41) erstellt und der Zählwert mit einer konstanten verglichen. Stimmen Zählwert und die konstante überein wird die Ausführung des Befehls über den Eingang „REQ“ freigegeben.

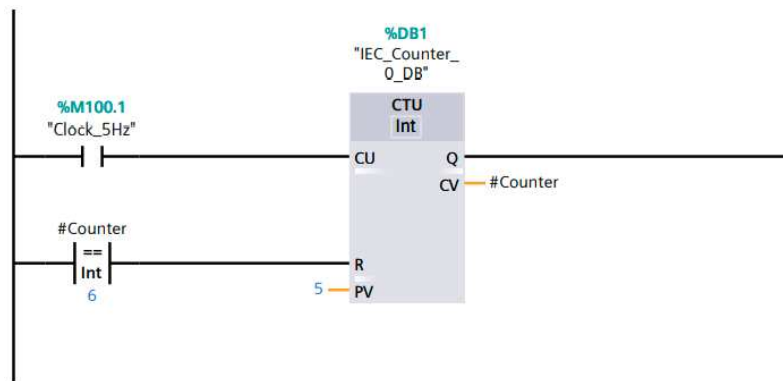


Abbildung 41: Zähler für Zugriffszeitpunkte

Über die Adresse „MB_ADDR“ kann der anzusprechende Teilnehmer angegeben werden. In diesem Fall hat der Hochscherantrieb die Adresse 1 und der Rührwerkkantrieb die Adresse 2. Der Eingang „MODE“ beschreibt, ob Daten gelesen „0“ oder geschrieben „1“ werden sollen. In welches oder aus welchem Register der Frequenzumrichter Daten geschrieben bzw. gelesen werden, beschreibt der Eingang „DATA_ADDR“. Hierbei soll entsprechend dem Datenblatt [16] aus Tabelle 17, das jeweilige Register eingetragen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die SPS das Lesen und Schreiben von Daten in einem bestimmten Zahlenbereich vorsieht, die auf die jeweilige Registernummer addiert werden. Die Anfangsadresse zum Schreiben von Daten liegt laut [17] bei 40001.

Command write only	2000H	bit 1~0	00B: No function 01B: Stop 10B: Run 11B: JOG + RUN
		bit 3~2	Reserved
		bit 5~4	00B: No function 01B: FWD 10B: REV 11B: Change direction
		bit 7~6	00B: 1 st accel. / decel. 01B: 2 nd accel. / decel. 10B: 3 rd accel. / decel. 11B: 4 th accel. / decel.
		bit 11~8	000B: Master speed 0001B: 1 st Stage speed frequency 0010B: 2 nd Stage speed frequency 0011B: 3 rd Stage speed frequency 0100B: 4 th Stage speed frequency 0101B: 5 th Stage speed frequency 0110B: 6 th Stage speed frequency 0111B: 7 th Stage speed frequency 1000B: 8 th Stage speed frequency 1001B: 9 th Stage speed frequency 1010B: 10 th Stage speed frequency 1011B: 11 th Stage speed frequency 1100B: 12 th Stage speed frequency 1101B: 13 th Stage speed frequency 1110B: 14 th Stage speed frequency 1111B: 15 th Stage speed frequency
		bit 12	1: Enable bit 06-11 function
		bit 14~13	00B: No function 01B: Operated by digital keypad 10B: Operated by Pr. 00-21 setting 11B: Change operation source
		bit 15	Reserved
		2001H	Frequency command(XXX.XX Hz)

Tabelle 17: Adressen der Frequenzumrichter

Das Register zum Schreiben der Zielfrequenz des Frequenzumrichters ist 2001 in hexadezimaler Darstellung [16]. Umgerechnet in die dezimale Darstellung ergibt sich 8193, die auf die Anfangsadresse aufaddiert werden. Die zu beschreibende Adresse ist somit 48194. Zuletzt kann der entsprechende Wert oder die Variable durch „DATA_PTR“ festgelegt werden. Die zu schreibende Frequenz wird dabei mit 10^2 multipliziert, da eine Eingabe von beispielsweise „50“ einer Frequenz von 0,5Hz entspricht. Zusätzlich zur Frequenz, soll der Frequenzumrichter eine entsprechende Startfreigabe erhalten. Das Senden der Freigabe erfolgt dabei analog zum vorherigen Beispiel. Es ändern sich nur die zu beschreibende Adresse und dessen Daten.

Anhand der Abbildung 42 ist die Datenzuweisung der Variable „Approval_slow_steering“ zu sehen, die anschließend an die Adresse 2000 aus Tabelle 17 gesendet werden. Um den Frequenzumrichter im „Run“ oder „Stop“ zu betreiben, sollen somit lediglich die ersten zwei Bits getauscht werden. Bei einer Freigabe wird der Frequenzumrichter in den Zustand „Run“ (0012) versetzt. Ist programmtechnisch keine Freigabe vorhanden, verbleibt der Frequenzumrichter im Zustand „Stop“ (0011).

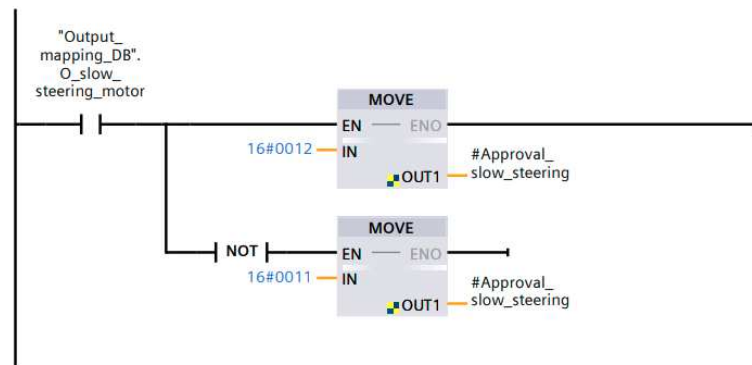


Abbildung 42: Freigabe der Antriebsmotoren

6.2.6 Funktionsbaustein „Calculation“

Im Funktionsbaustein „Calculation“ werden alle notwendigen Berechnungen durchgeführt, die zur Programmsteuerung oder zur Visualisierung notwendig sind. Zum einen werden die Sensordaten in ein lesbares Format umgewandelt und zum anderen nötige Parameter berechnet.

Der Durchflussmesser gibt pro L eine konstante Anzahl an Impulsen ab, die nach Anbindung des Gesamtsystems anhand des Radar Sensors kalibriert wird. Wie anhand der Abbildung 43 dargestellt, wird zunächst die Durchflussmenge pro Impuls berechnet. Die Impulse werden dann über den Hochgeschwindigkeitszähler am Eingang „HSC“ eingelesen und gezählt. Über die Anzahl der Impulse „HSC_Flow_count“ und die Wassermenge pro Puls „Litre_per_pulse“ wird anschließend die Gesamtmenge „current_amount“ berechnet.

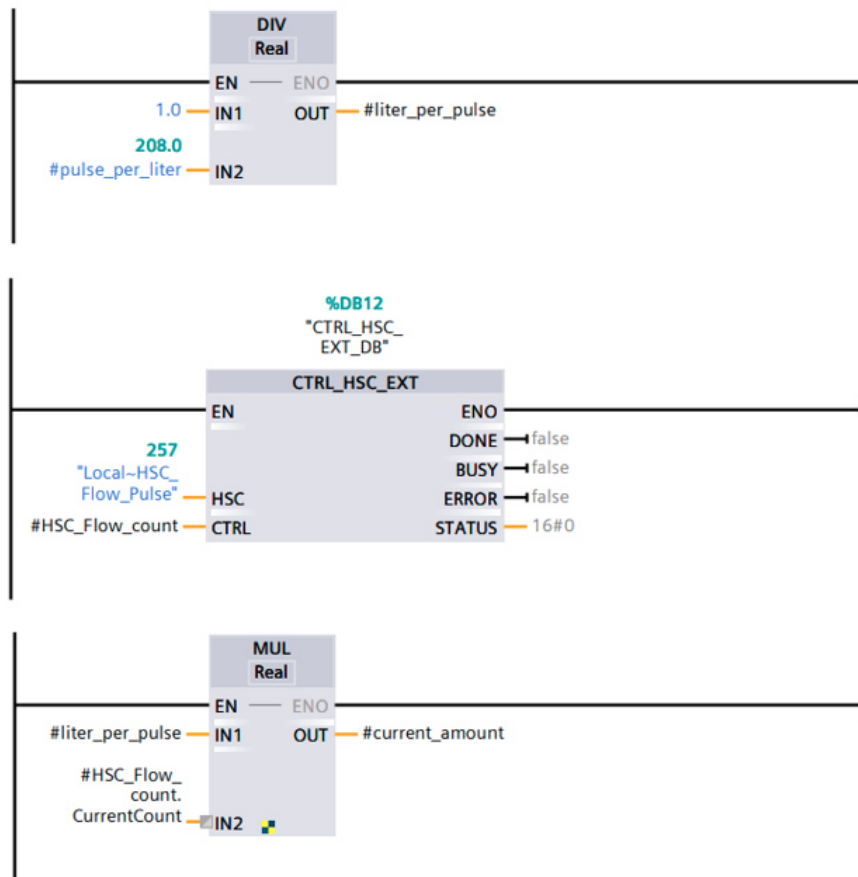


Abbildung 43: Berechnung der Durchflussmenge

Die Temperatur wird als integer eingelesen. Die letzte Ziffer des integer Wertes steht dabei für die Nachkommastelle. Daher wird der Wert eingangs in eine Gleitkommazahl konvertiert und im Anschluss durch 10 dividiert (siehe Abbildung 44).

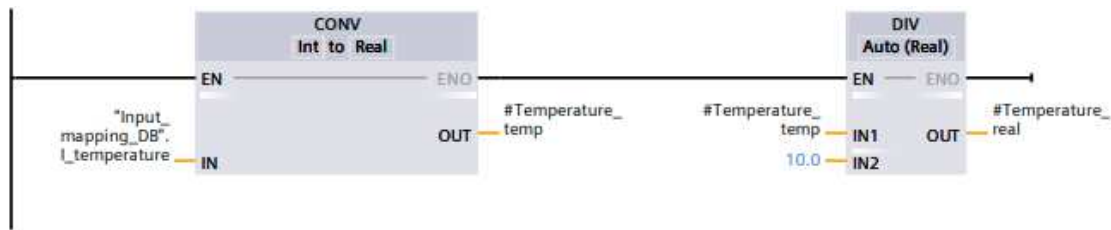


Abbildung 44: Temperatur Messwert Umrechnung

Die Füllmenge innerhalb des Produktionstanks wird über einen Radarsensor mit einem Ausgangsstrom von 4 bis 20 mA für den Bereich 0 – 250 L gemessen. Der Eingang des Analogmoduls arbeitet mit 0 – 20 mA, wodurch diese, wie anhand der Abbildung 45 dargestellt, umgerechnet werden. Die 0 – 20 mA werden dabei auf einen Wertebereich von [0,27648] abgebildet [17]. Durch Formel 5 ergibt sich der Wert 5530 bei einem Signal von 4mA.

$$\frac{27648 \cdot 4 \text{ mA}}{20 \text{ mA}} \approx 5530 \quad (5)$$

Da dies der Startwert des Sensors bei einer Füllmenge von 0 Litern ist, wird dieser im zweiten Schritt, nach der Konvertierung in eine Gleitkommazahl, vom aktuellen Sensormesswert „Radar_Amount_temp_1“ abgezogen. Der verbleibende Wertebereich ist dann [5530,27648]. Nach Formel 6 ergibt sich daraus ein Wert von 88,47 pro Liter.

$$\frac{27648 - 5530}{250 \text{ l}} \approx 88,47 / \text{l} \quad (6)$$

Durch die Division des Wertes „Radar_Amount_temp_2“ durch 88,47, lässt sich dann die vom Sensor gemessene Füllmenge „Radar_Amount_real“ berechnen.

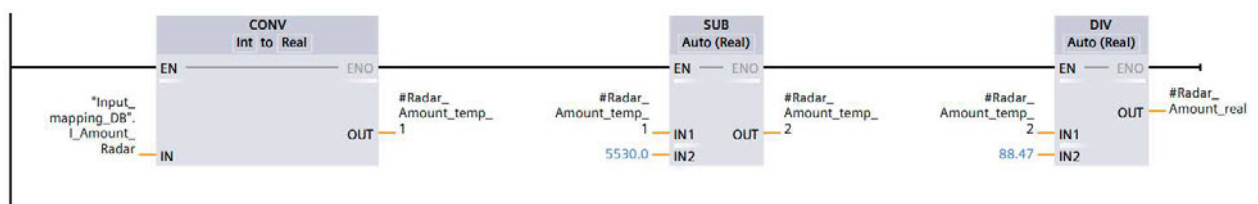


Abbildung 45: Füllstand Analogwert Umrechnung

Alle weiteren Berechnungen werden analog in jeweils eigenen Netzwerken realisiert.

6.2.7 Datenbaustein „Parameter“

Die im Datenbaustein „Parameter“ hinterlegten Variablen (siehe Abbildung 46) sind die Parameter, die in den verschiedenen Rezepten gespeichert werden. Hier werden die für den Automatikbetrieb benötigten Informationen, wie beispielsweise Antriebsfrequenzen, Füllmenge oder Zeiten hinterlegt. Sobald ein zuvor erstelltes Rezept in die CPU geladen wird, stehen diese dem Programm zur Verfügung.

Parameter							
	Name	Datentyp	Startwert	Remanenz	Erreichbar a..	Schrei...	Sichtbar i...
1	▼ Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	High_shear_speed_3_Ultrasound	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	High_shear_speed_2_Homogenising	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	High_shear_speed_1_Pre_mixing	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Slow_steering_speed_3_Ultrasound	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Slow_steering_speed_2_Homogenising	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Slow_steering_speed_1_Pre_mixing	Int	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Total_amount_in_Litre	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Temperature	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Flavor_liquid_in_litre	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Flavor_powder_in_kg	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Homogenising_time_in_min	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Ultrasound_mixing_time_in_min	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Flavor_mixing_time_in_min	DInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 46: Deklaration der Parameter

Für die Rezeptur „Plantacorp“ aus Abbildung 47 werden alle Variablen des „Parameter“ Datenbausteins hinzugefügt und mit diesen verknüpft. Hierdurch ist es möglich, zahlreiche weitere Datensätze mit den entsprechenden Parametern anzulegen und abzuspeichern.

Rezepturen			
...	Name	Anzeigename	Nummer
	Plantacorp	Plantacorp	1
	<Hinzufügen>		
<			
Elemente			
...	Name	Anzeigename	Variable
	High_shear_speed_1...	High_shear_speed_1...	Parameter_High_...
	High_shear_speed_2...	High_shear_speed_2...	Parameter_High_...
	High_shear_speed_3...	High_shear_speed_3...	Parameter_Hi...
	Slow_steering_speed..	Slow_steering_speed..	Parameter_Slow_...
	Slow_steering_speed..	Slow_steering_speed..	Parameter_Slow_...
	Slow_steering_speed..	Slow_steering_speed..	Parameter_Slow_...
	Homogenising_time...	Homogenising_time...	Parameter_Homo...
	Ultrasound_mixing_t...	Ultrasound_mixing_t...	Parameter_Ultras...
	Flavor_mixing_time_...	Flavor_mixing_time_...	Parameter_Flavor...
	Total_amount_in_Litre	Total_amount_in_Litre	Parameter_Total_...
	Flavor_liquid_in_litre	Flavor_liquid_in_litre	Parameter_Flavor...
	Flavor_powder_in_kg	Flavor_powder_in_kg	Parameter_Flavor...

Abbildung 47: Rezepturen

6.2.8 Funktionsbaustein „Failure_handling“

Für die Umsetzung der Störungshandhabung aus Kapitel 5.6 wird ein eigener Funktionsbaustein „Failure_handling“ erstellt, in dem die jeweiligen Störungen definiert und ausgelöst werden. Ebenso erfolgt hier die Schnittstelle für die Meldeanzeige auf dem HMI. Die Störung „Volume_not_changing_failure“ anhand der Abbildung 48 wird beispielsweise ausgelöst, sobald 20 Sekunden nach Wasseranforderung keine Volumenänderung bzw. Durchfluss von einem Liter stattgefunden hat.

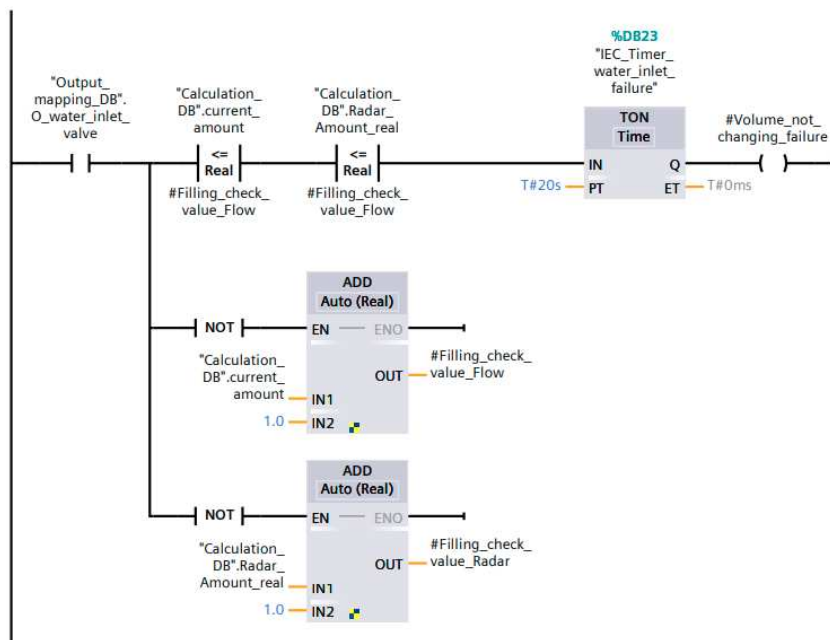


Abbildung 48: Fehlerberechnung „Volume not changing“

Sobald eine Störung auftritt, wird das RS Flip-Flop der Variable „System_Fault“ aus Abbildung 49 gesetzt und bringt die gesamte Anlage in den Ausgangszustand „S0“. Das Setzen der Störung ist hierbei vorrangig gegenüber dem Rücksetzen [17].

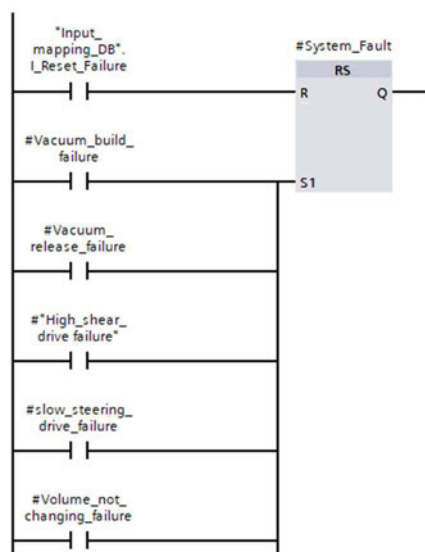


Abbildung 49: Auslösung des Systemfehlers

Gleichzeitig setzt jede Störung beim Auslösen ein Bit, der aus 16-Bit bestehenden Variable „Failure_control“ (siehe Abbildung 50).



Abbildung 50: Auslösen einer HMI-Meldung

Diese sind entsprechend der Abbildung 51 mit den Bitmeldungen des HMIs verbunden und zeigen den jeweiligen Meldetext innerhalb eines Meldefensters, sobald das entsprechende Bit auf „1“ gesetzt wird.

Bitmeldungen							
ID	Name	Meldetext	Meld..	Trigge..	Trigge..	Triggeradresse	
1	Bitmeldung_1	Vacuum build failure	Errors	Fault_...	0	Failure_Handling_DB.Failure_control.x0	
2	Bitmeldung_2	Vacuum release failure	Errors	Fault_...	1	Failure_Handling_DB.Failure_control.x1	
3	Bitmeldung_3	High shear drive communication failure	Errors	Fault_...	2	Failure_Handling_DB.Failure_control.x2	
4	Bitmeldung_4	Slow steering drive communication failure	Errors	Fault_...	3	Failure_Handling_DB.Failure_control.x3	
5	Bitmeldung_5	Volume not changing failure	Errors	Fault_...	4	Failure_Handling_DB.Failure_control.x4	
6	Bitmeldung_6	Volume measurement failure	Errors	Fault_...	5	Failure_Handling_DB.Failure_control.x5	
7	Bitmeldung_7	Heater failure	Errors	Fault_...	6	Failure_Handling_DB.Failure_control.x6	
8	Bitmeldung_8	Loadcell failure	Errors	Fault_...	7	Failure_Handling_DB.Failure_control.x7	
9	Bitmeldung_9	Temperaure measurement failure	Errors	Fault_...	8	Failure_Handling_DB.Failure_control.x8	
10	Bitmeldung_10	Emergency button pressed	Errors	Fault_...	9	Failure_Handling_DB.Failure_control.x9	

Abbildung 51: Generierung der HMI-Meldungen

Durch die Variable „I_Reset_Failure“ wird das RS Flip-Flop der Variable „System_Fault“ zurückgesetzt, sofern alle Störungen behoben sind.

6.2.9 Funktionsbaustein „WP231PR“

Dieser Funktionsbaustein ist ein geschützter Baustein von Siemens, der ausschließlich zur Verwendung der Wägeeinheit „WP231“ geeignet ist. Für den Prozess ist das aktuelle Gewicht sowie die Möglichkeit der Kalibrierung und Tarierung relevant. Über den zugehörigen Datenbaustein lassen sich die geeigneten Variablen aus verschiedenen Datensätzen lesen oder schreiben. Den aktuellen Gewichtswert zeigt die Variable „PROCESS_VAL_1“ im struct „s_IO_DATA“ (siehe Abbildung 52). Diese kann direkt aus dem Datenbaustein gelesen werden.

28	▼ s_IO_DATA	Struct	484.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	▣ COORDINATION	Byte	484.0	16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	▣ APPL_ID_ACTUAL	Byte	485.0	101	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	▣ ERROR_CODE	Uint	486.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	▣ ▸ SCALE_STATUS_1	Struct	488.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	▣ ▸ SCALE_STATUS_2	Struct	490.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	▣ PROCESS_VAL_1	Real	492.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Abbildung 52: Prozessdaten des Wägemoduls

Das Schreiben und Lesen von Daten innerhalb der Datensätze DR03 – DR59 sowie die Ausführung von Funktionen, erfolgt hierbei über spezielle Befehlscodes aus [19]. Das Ausführen der Befehle wird dabei über das struct „s_CMD1“ aus Abbildung 53 gesteuert. Zunächst wird der notwendige Befehlscode in die Variable „i_CMD_CODE“ eingetragen und anschließend, über das Setzen der Variable „bo_CMD_TRIGGER“, ausgeführt.

11	▼ s_CMD1	Struct	462.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	▣ i_CMD_CODE	Int	462.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	▣ bo_CMD_TRIGGER	Bool	464.0	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	▣ bo_CMD_InProgress	Bool	464.1	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	▣ bo_CMD_Finished...	Bool	464.2	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	▣ bo_CMD_Finished...	Bool	464.3	false	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Abbildung 53: Befehlsausführung des Wägemoduls

Anhand der Tabelle 18 sind die für die Umsetzung der Kalibrierung und Tarierung notwendigen Befehlscodes gelistet.

Befehlscode	Beschreibung
1	Servicebetrieb einschalten
2	Servicebetrieb ausschalten
60	Prüfung Justagegewicht 0
61	Prüfung Justagegewicht 1
1011	Tarieren
4003	Schreibe Datensatz 3

Tabelle 18: Befehlscodes des Wägemoduls

Das Tarieren der Waage wird direkt mit dem Senden des Befehlscodes „1011“ ausgeführt. Zum Kalibrieren der Waage soll zunächst der Servicebetrieb eingeschaltet werden. Anschließend werden die Justagegewichte innerhalb des Datensatzes DR03 (siehe Abbildung 54) definiert und über den Befehl „4003“ in das Modul geschrieben.

44	▣ CALIB_WEIGHT_0	Real	578.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Calibration weight 0
45	▣ CALIB_WEIGHT_1	Real	582.0	100.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Calibration weight 1

Abbildung 54: Justagegewichte aus Datensatz 3

Sind die Justagegewichte übertragen, erfolgt die Kalibrierung durch Aufbringen der entsprechenden Justagegewichte und absenden der Befehlscodes „60“ und „61“.

6.2.10 Funktionsbaustein „Output_mapping“

Den zuvor definierten Stellen der Petrinetze wurden bisher noch keine physischen Ausgänge zugeordnet. Dies übernimmt der Funktionsbaustein „Output_mapping“. Zunächst werden den Ausgangsvariablen die entsprechenden Stellen zugewiesen (siehe Abbildung 55) und dann, wie anhand der Abbildung 56 zu sehen, beim Aufruf im „OB1“ an einen physikalischen SPS Ausgang geknüpft.

```

0007 //Output Mapping
0008 #O_signal_green := "Operating_head_DB".S2 OR (("Auto_mode_DB".S40 OR "Operating_head_DB".S10) AND
"Clock_0.5Hz") OR (NOT "Auto_mode_DB".S40 AND NOT "Operating_head_DB".S2 AND "Operating_head_DB".S3);
0009 #O_signal_yellow := (#O_add_flavor OR #O_add_ingredients OR #O_open_main_valve OR #O_premix_start_stop AND
"Clock_0.5Hz") OR "Auto_mode_DB".S58;
0010 #O_signal_red := "Failure_Handling_DB".System_Fault;
0011 #O_water_inlet_valve := "Auto_mode_DB".S41 OR "Auto_mode_DB".S49 OR "Auto_mode_DB".S54 OR "Manual_mode_DB".S29;
0012 #O_vacuum_pump := "Auto_mode_DB".S72 OR "Manual_mode_DB".S12;
0013 #O_vacuum_inlet_valve := "Auto_mode_DB".S71 OR "Manual_mode_DB".S13;
0014 #O_high_shear_motor := "Auto_mode_DB".S45 OR "Manual_mode_DB".S15;

```

Abbildung 55: Programmauszug 1/2 „Output_mapping“

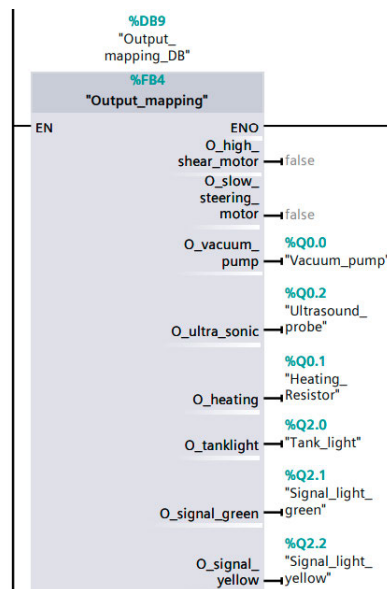


Abbildung 56: Aufruf der Funktion „Output_mapping“ im OB1

Zusätzlich erfolgt die Zuweisung der Antriebsfrequenzen, der Prozessfortschrittsanzeige, der HMI Hinweise sowie der Zählwert Reset des Durchflusssensors für die jeweiligen Petrinetz Stellen (siehe Abbildung 57).

```

0001 //HMI Action Indicators
0002 #O_premix_start_stop := "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S48;
0003 #O_add_flavor := "Auto_mode_DB".S52;
0025 //Progress indicator
0026 #O_progress_filling := "Auto_mode_DB".S41;
0027 #O_progress_premixing := "Auto_mode_DB".S42 OR "Auto_mode_DB".S43 OR "Auto_mode_DB".S44 OR "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S48;
0028 #O_progress_homogenize_processing := "Auto_mode_DB".S49 OR "Auto_mode_DB".S50;
0034 //Frequency control
0035 IF "Manual_mode_DB".S15 THEN
0036 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Input_mapping_DB".I_manual_frequency_high_shear * 100;
0037 END_IF;
0076 //Flowmeter Counter Reset
0077 IF ("Operating_head_DB".S2 AND "Manual_mode_DB".S28 AND "Input_mapping_DB".I_Flow_Reset) OR "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S52 THEN
0078 "Calculation_DB".HSC_Reset := 1;
0079 END_IF;

```

Abbildung 57: Programmauszug 2/2 „Output_mapping“

6.3 Visualisierung des Prozesses

In diesem Schritt erfolgt die Umsetzung der Visualisierung der zuvor geplanten Bilder aus Kapitel 5.5. Hierbei werden die Bilder zunächst gestaltet und im Anschluss mit allen dazugehörigen Variablen verbunden.

6.3.1 Automatikbetrieb

Die Visualisierung des Automatikbetriebes ist anhand der Abbildung 58 dargestellt.

Das Bild ermöglicht eine Übersicht über den aktuellen Prozessfortschritt, aktuelle Parameter sowie die geladenen Rezepte. Im Automatikbetrieb kann über die Schaltfläche „Recipe“ (siehe Abbildung 58; Nr. 1) zunächst in das Bild der Rezeptauswahl gewechselt werden, das in Kapitel 6.3.2 näher erläutert wird. Ist das entsprechende Rezept geladen, wird der Rezeptname im Textfeld (siehe Abbildung 58; Nr. 2) angezeigt. Durch einen 3-sekündigen Tastendruck des Startbuttons „Start process“ oder des Abbruchbuttons „Abort process“ (siehe Abbildung 58; Nr. 7), kann der Prozess gestartet oder gestoppt werden. Während des Prozesses wird der aktuelle Prozessschritt durch die entsprechenden Kreise (siehe Abbildung 58; Nr. 4) dargestellt, welche im aktiven Zustand zu einer grünen Farbe wechseln. Die Textfelder (siehe Abbildung 58; Nr. 5) zeigen die jeweils verbleibenden Zeiten im jeweiligen Zustand. Die Schaltflächen (siehe Abbildung 58; Nr. 6) sind nur dann sichtbar, wenn der entsprechende Prozessschritt erreicht ist. Alle notwendigen Parameter werden durchgängig in den linken Textfeldern angezeigt (siehe Abbildung 58; Nr. 3). Unabhängig vom Prozessschritt kann über den Schalter (siehe Abbildung 58; Nr. 8) das Tanklicht ein- und ausgeschaltet werden. Die Menüleiste (siehe Abbildung 58; Nr. 9) findet sich in jedem Bild wieder und beschreibt die Anwahl der verschiedenen Bilder über die Funktionstasten F1 – F5.

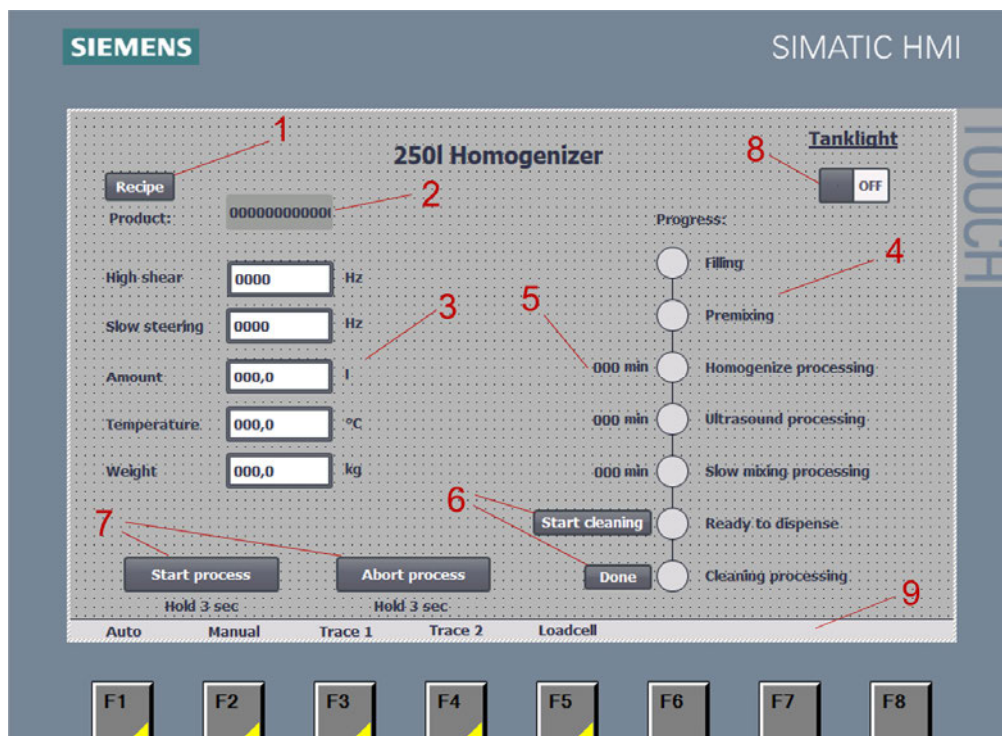


Abbildung 58: Visualisierung des Automatikbetriebes

Befindet sich der Prozess in einem Schritt, bei dem eine Aktion des Maschinenbedieners erforderlich ist, wird dies durch die entsprechenden Meldungen anhand der Abbildung 59 signalisiert.

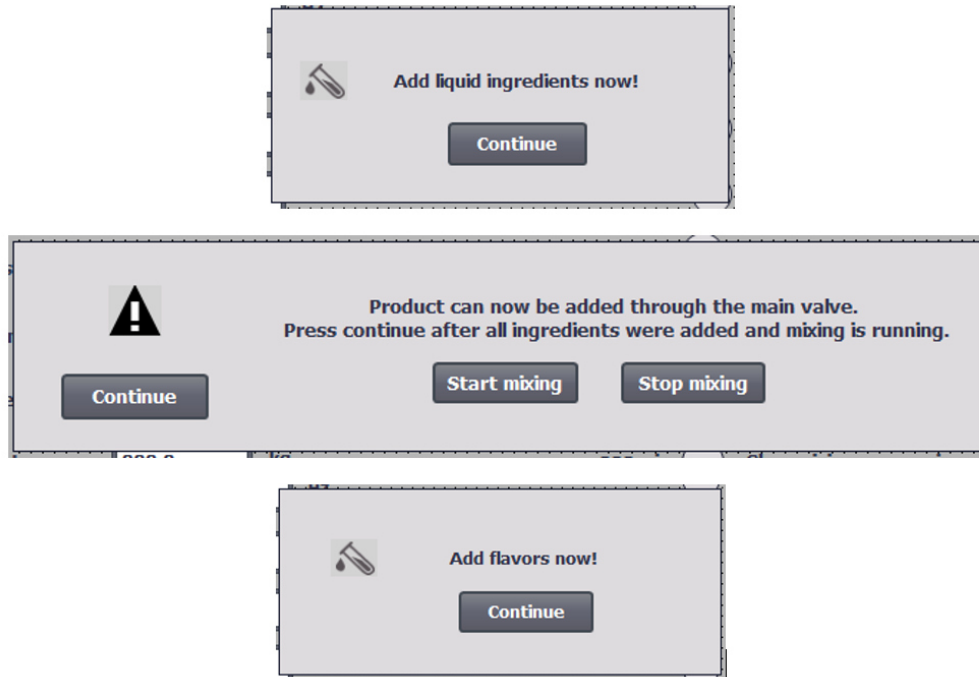


Abbildung 59: HMI-Hinweise

Damit die Visualisierung mit der CPU kommunizieren kann, wird jedes visualisierte Objekt mit der zuvor angelegten Ein- und Ausgangsvariable verbunden. Wie anhand der Abbildung 60 zu sehen, wird beim Drücken der „Start process“-Taste die Eingangsvariable „Input_mapping_DB_I_start_button“ auf „1“ gesetzt und die Archivierung gestartet. Wird die Taste wieder losgelassen, erfolgt gleichzeitig das Rücksetzen des Bits auf „0“.

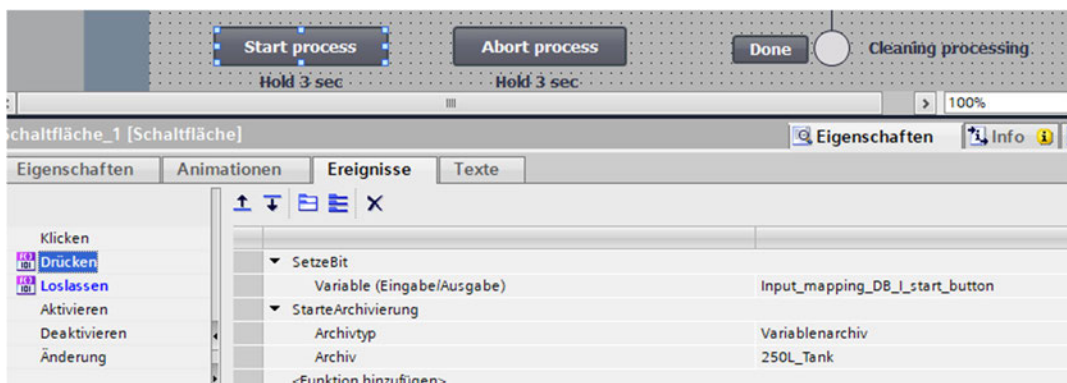


Abbildung 60: Variablenanbindung der Visualisierung

6.3.2 Rezeptauswahl

Zur Auswahl der Rezeptur bietet das TIA-Portal bereits eine Vorlage (siehe Abbildung 61), die alle notwendigen Funktionen beinhaltet. Das Bild ist direkt mit der zuvor angelegten Rezeptur und deren Parametern aus Kapitel 6.2.7 verknüpft. Dies ermöglicht das Erstellen, Ändern, Laden, Speichern sowie die Auswahl von unterschiedlichen Datensätzen.

The screenshot shows the SIMATIC HMI interface for recipe selection. The interface is titled 'SIEMENS SIMATIC HMI' and 'TOUCH'. It features a central form with the following elements:

- Rezepturname:** A text input field with a dropdown arrow and a 'Nr.' field with a dashed line.
- Datensatzname:** A text input field with a dropdown arrow and a 'Nr.' field with a dashed line.
- Table:** A table with two columns: 'Eintragsname' and 'Wert'. The table is currently empty.
- Buttons:** A 'Return' button is centered below the table. To the left are icons for a star, a document, a trash can, and a list. To the right are icons for a download and an upload.
- Statuszeile:** A status bar at the bottom of the form.
- Function Keys:** A row of eight function keys labeled F1 through F8 at the very bottom of the screen.

Abbildung 61: Visualisierung der Rezeptauswahl

6.3.3 Handbetrieb

Im Handbetrieb wird jeder Aktor unabhängig voneinander angesteuert. Der übersichtshalber werden die Aktoren in eigene Kategorien (siehe Abbildung 62; Nr. 1–7) unterteilt und nach Möglichkeit zusammengefasst. Über die verschiedenen Eingabefelder können die entsprechenden Parameter wie Füllmenge, Motor Frequenzen, Temperatur oder Ultraschalldauer hinterlegt werden. Von den Ventilen (siehe Abbildung 62; Nr. 2) ist anfänglich nur das Vakuum Ausgleichs Ventil steuerbar. Alle weiteren Ventile sind, wie in Kapitel 5.5 bereits erwähnt, vorerst grau hinterlegt und nicht bedienbar. Alle weiteren Ventile sind, wie in Kapitel 5.5 bereits erwähnt, vorerst grau hinterlegt und nicht bedienbar.

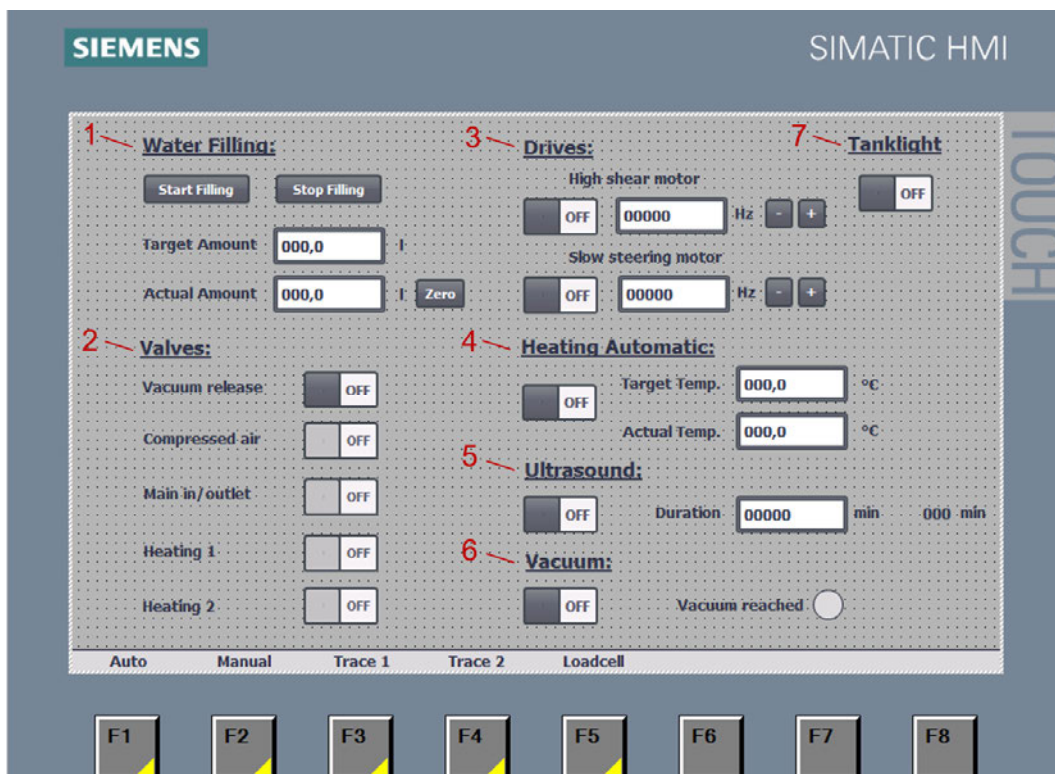


Abbildung 62: Visualisierung des Handbetriebes

Zusätzlich wird für den Fall der Heizungsansteuerung die notwendige Warnung aus Abbildung 63 erstellt, die beim Einschalten der Heizung angezeigt wird.



Abbildung 63: Warnhinweis beim Starten der Heizung

6.3.4 Kurven

Zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Prozessparameter wird die im TIA-Portal vorhandene Vorlage für Kurvenverläufe (siehe Abbildung 64) verwendet. Pro Kurvendiagramm ist es möglich, jeweils vier Parameter darzustellen, weswegen die Kurven auf zwei Bilder aufgeteilt werden. Durch Anbindung der jeweiligen Variablen werden somit die aktuellen zeitlichen Verläufe dargestellt und farblich voneinander getrennt.

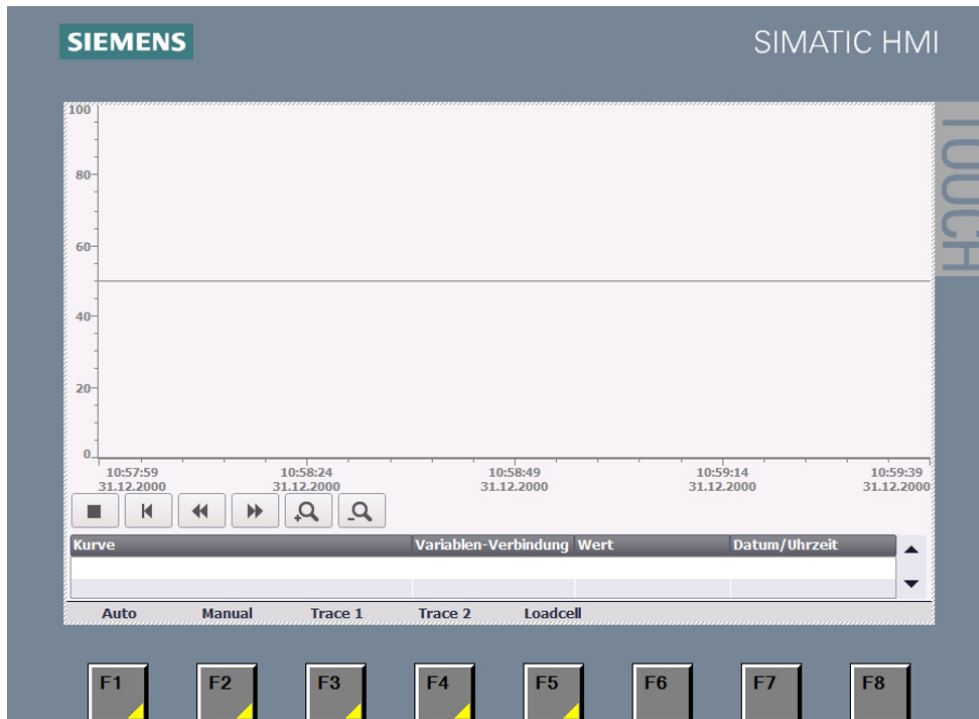


Abbildung 64: Visualisierung der Kurvenverläufe

6.3.5 Waagen Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Waage wird ein Bild entwickelt, das dies durch wenige Eingaben ermöglicht. Das Textfeld (siehe Abbildung 65; Nr. 1) zeigt das aktuelle Gewicht der Waage. Über die Schaltfläche „T“ (siehe Abbildung 65; Nr. 2) erfolgt die Tarierung, indem der Befehl „1011“ an das Wägemodul gesendet wird. Die Schaltflächen Nr. 3–7 aus Abbildung 65 haben die Funktion der Kalibrierung nach dem Ablauf aus Kapitel 6.2.9 mit Justagegewichten. Analog zur Tarierung, wird durch die Betätigung der jeweiligen Schaltfläche, der entsprechende Befehl gesendet. Die gewünschten Justagegewichte können hierbei individuell eingestellt werden.

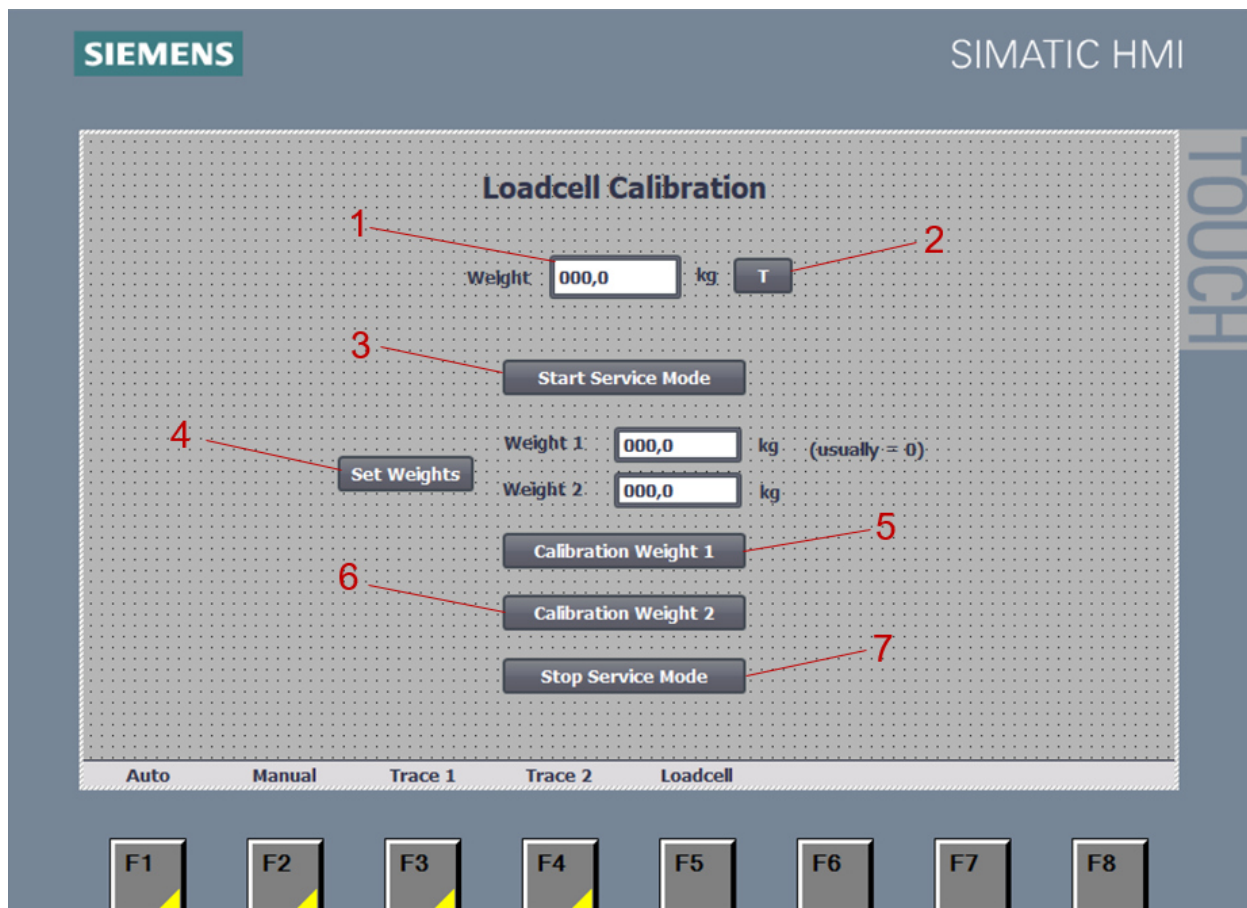


Abbildung 65: Visualisierung der Waagenkalibrierung

6.3.6 Störmeldungen

Die Darstellung der Störmeldungen wird mithilfe der Meldefenstervorlage aus dem TIA-Portal (siehe Abbildung 66) realisiert. Zusätzlich wird diese mit einer weiteren Schaltfläche „Failure Reset“ ausgestattet, um die entsprechenden Meldungen zu quittieren.

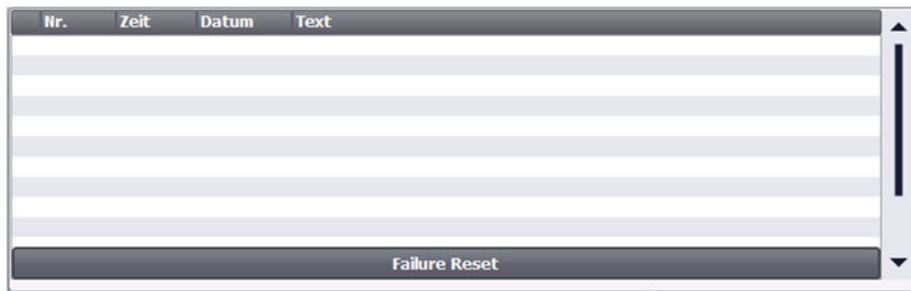


Abbildung 66: HMI-Meldefenster

Das Meldefenster wird im Fehlerfall innerhalb jedes Bildes angezeigt und verschwindet nach erfolgreicher Quittierung.

6.4 Anbindung an die Prozessanlage

Nachdem die Anlage programmiert und visualisiert wurde, wird diese an die Prozessanlage angebunden. Hierzu werden alle Aktoren und Sensoren aus dem alten Schaltschrank abgeklemmt, ausgebaut und nach Schaltplan in das neue System integriert. Anhand der Abbildung 67 wird der finale Anschluss und Aufbau des Schaltschranks dargestellt.

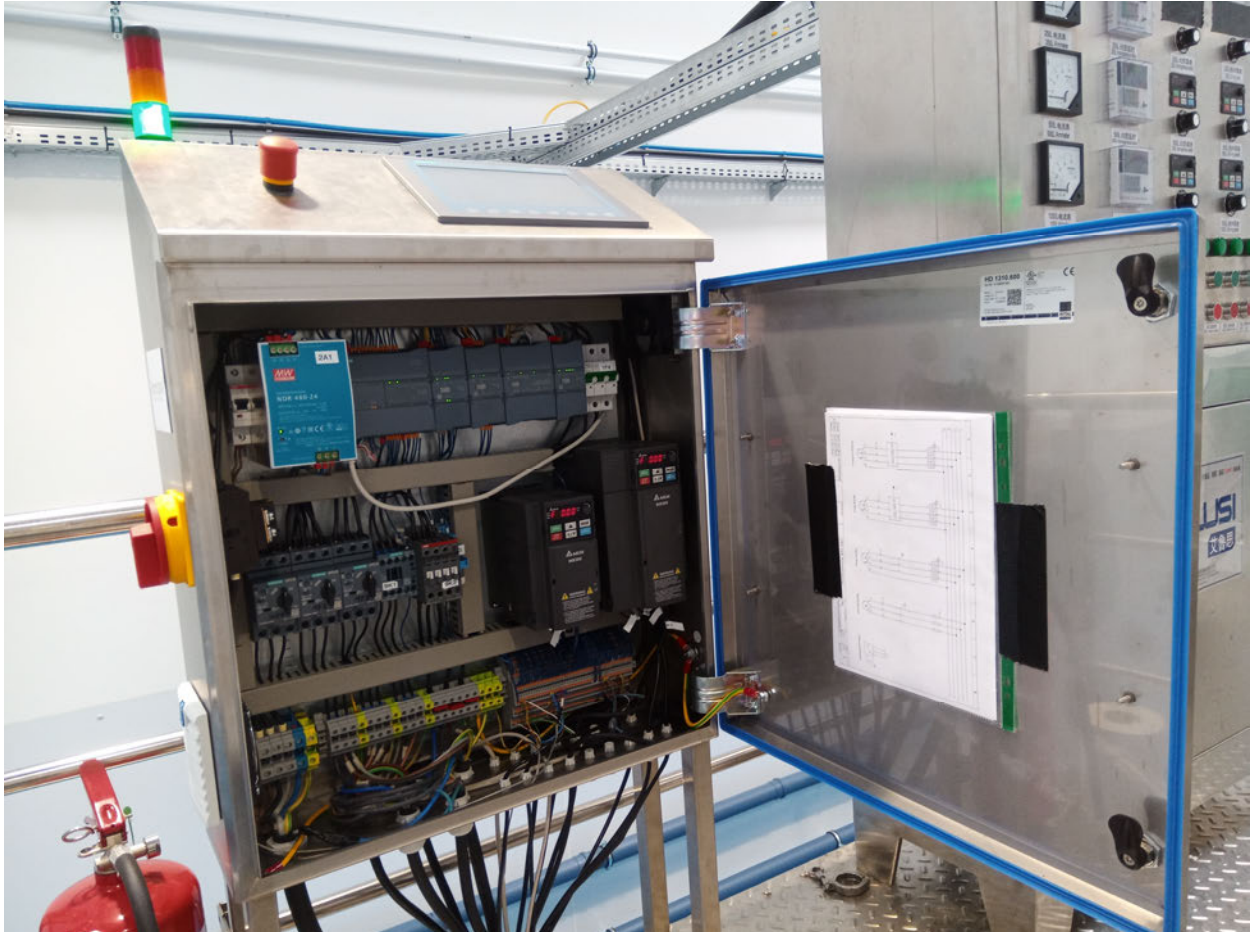


Abbildung 67: Finaler Schaltschrankaufbau

An der Prozessanlage selbst werden die entsprechenden Sensoren und Ventile ausgetauscht. Das Vakuum Einlassventil (siehe Abbildung 68 Nr. 1), das Vakuum Ausgleichsventil (siehe Abbildung 68 Nr. 3) sowie das Wasser Einlassventil (siehe Abbildung 69 Nr. 1) ersetzen nun die vorherigen Handventile und lassen sich über die SPS steuern. Anhand der Abbildung 68 Nr. 2 ist der neue Drucksensor, der die Schaltsignale bei einem bestimmten Unterdruck an die SPS übergibt, zu sehen. Ebenfalls neu ist der beschriebene Radarsensor (siehe Abbildung 68 Nr. 4), der den derzeitigen Füllstand des Produktionstanks misst und an die Steuerung sendet.



Abbildung 68: Oberer Tankaufbau nach Anbindung

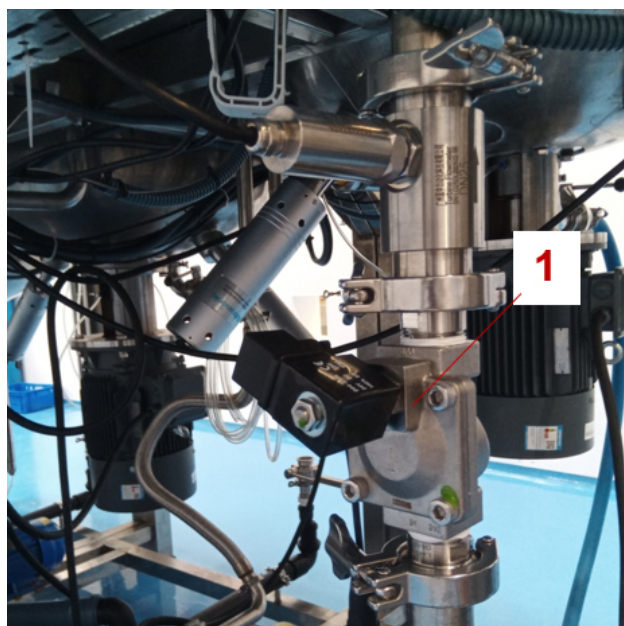


Abbildung 69: Magnetventil unterhalb des Tanks

6.5 Funktionstests

Nach erfolgreicher Anbindung des Systems an die Prozessanlage erfolgt die Überprüfung der Einzelfunktionen. Durch die bereits erstellten Petrinetze lässt sich das Verhalten des Systems leicht überprüfen. Daher wird jeder Schritt der Petrinetze durchlaufen und geprüft ob das geplante Verhalten Eintritt.

6.5.1 Automatikbetrieb

Für den Automatikbetrieb wird testweise das Rezept „Vitamin X“ (siehe Abbildung 70) mit kurzen Prozesszeiten angelegt. Zusätzlich werden Aromen angegeben, um die Füllmengen zu überprüfen.

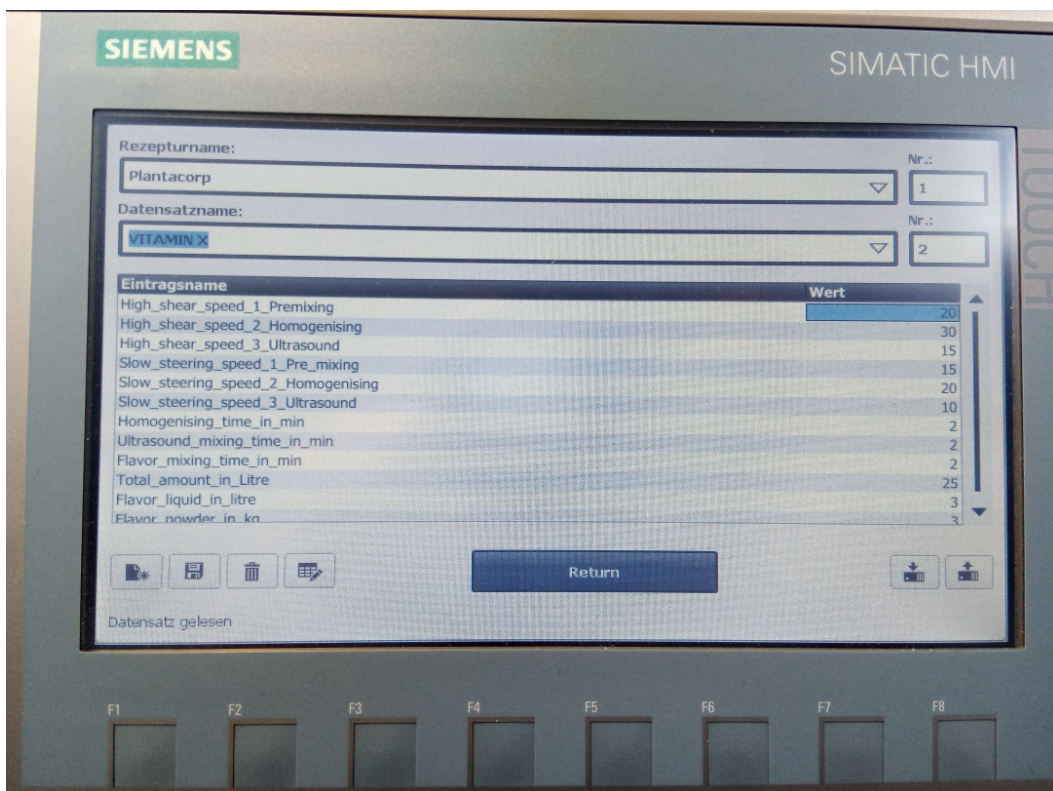


Abbildung 70: Parameter des Rezeptes "Vitamin X"

Während des Durchlaufs speichert das HMI, durch die voreingestellte Archivierung, alle Prozessparameter in Form einer Text-Datei auf einem USB-Stick. Anhand der Abbildung 71 ist ein Auszug aus einer Archivierungsdatei zu sehen.

"VarName"	"TimeString"	"VarValue"
"Calculation_DB_Temperature_real"	"2021-06-22 20:12:44"	25.600000
"WP231PR_DB_s_IO_DATA_PROCESS_VAL_1"	"2021-06-22 20:12:49"	6.800000
"RS485_communication_DB_Trace_frequency_high"	"2021-06-22 20:12:49"	0
"RS485_communication_DB_Trace_frequency_slow"	"2021-06-22 20:12:49"	0
"Calculation_DB_Radar_Amount_real"	"2021-06-22 20:12:49"	2.121896
"Calculation_DB_Temperature_real"	"2021-06-22 20:12:49"	25.600000

Abbildung 71: Auszug der Archivierung

Durch die anschließende Analyse dieser Rohdaten lässt sich der grundsätzliche Prozessverlauf nachvollziehen. Hierzu wird das Diagramm aus Abbildung 72 erstellt und in die unterschiedlichen Phasen eingeteilt.

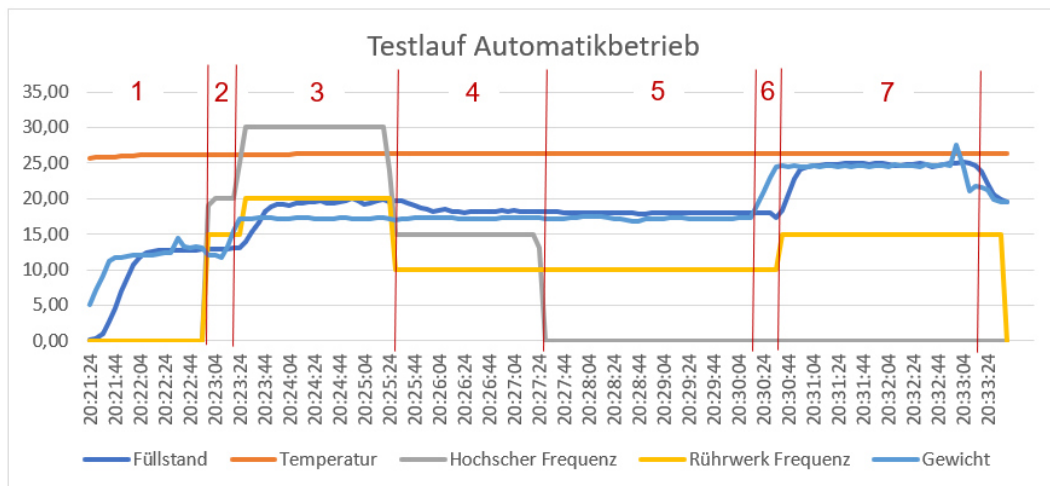


Abbildung 72: Prozessverlauf im Automatikbetrieb

1. Befüllung Volumen „1“ -> Hinzufügen der flüssigen Zutaten -> Aufbringen des Vakuums
2. Starten der Antriebsmotoren (Geschwindigkeit. 1) -> Einsaugen des Produktpulvers
3. Mit Aromen -> Befüllung Volumen „2“ -> Homogenisierung (Geschwindigkeit. 2)
4. Ultraschallbehandlung (Geschwindigkeit. 3)
5. Stoppen des Hochscherantriebs -> Auflösen des Vakuums
6. Befüllung Volumen „3“
7. Langsames Einrühren -> Produktabfüllung

Wie zu erkennen, wurden alle Parameter aus dem zuvor angelegten Rezept „Vitamin X“ übernommen und somit entsprechend des geplanten Ablaufs verfahren. Sowohl die Antriebsgeschwindigkeiten als auch angegebene Menge der Aromen werden bei der Befüllung korrekt berechnet und übertragen. Anhand der Abbildung 73 ist die entsprechende Visualisierung zum Zeitpunkt der Ultraschallbehandlung mit den aktuellen Parametern zu sehen.



Abbildung 73: Visualisierung des Automatikbetriebes auf dem HMI

6.5.2 Handbetrieb

Für den Handbetrieb (siehe Abbildung 74) werden alle Funktionen erst einzeln und im Anschluss gleichzeitig überprüft. Auch hier werden die entsprechenden Aktoren bezüglich des Petrinetzes korrekt angesteuert. Die Wasserzufuhr stoppt nach dem Starten automatisch beim Erreichen des Zielvolumens. Die Eingaben der Motorfrequenzen werden direkt an die Frequenzumrichter gesendet und übernommen. Bei Nutzung der Heizung kommt es zusätzlich zu der generierten Warnmeldung. Wird die Heizung gestartet, zieht das dazugehörige Leistungsschütz an. Das Relais der Ultraschallsonde bleibt nach dem Einschalten für die eingestellte Zeit aktiv und fällt anschließend wieder ab. Der zugehörige Schalter der Visualisierung wird dabei ebenfalls zurückgesetzt. Auch die Vakuumpumpe schaltet sich nach Aufbau des Vakuums selbst ab und startet erneut bei einem zu niedrigen Unterdruck.



Abbildung 74: Visualisierung des Handbetriebs auf dem HMI

Außerdem wird erfolgreich getestet, ob alle zuvor aktiven Aktoren, beim Starten des Automatikbetriebes abgeschaltet werden und erst nach Beendigung des Automatikbetriebes erneut gestartet werden können.

6.5.3 Kurvenverläufe

Zur Überprüfung der Kurven-Bilder wird betrachtet, ob alle Parameter aufgenommen und sinnvoll skaliert werden. Die Abbildungen 75 und 76 zeigen, die Kurvenverläufe aller Parameter der Bilder „Trace1“ und „Trace 2“. Jeder Wert wird hierbei, unabhängig vom Automatik- oder Handbetrieb, korrekt dargestellt und bietet einen Überblick über den aktuellen Verlauf.

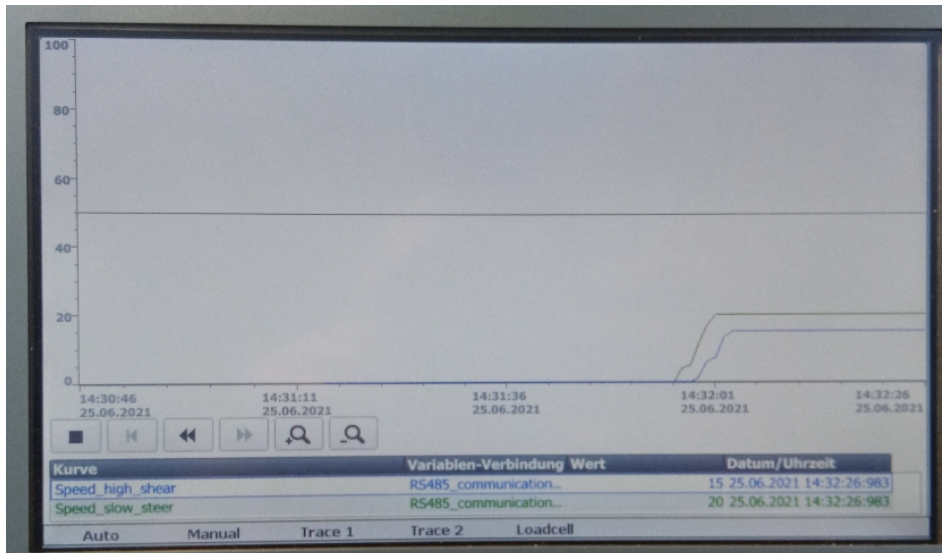


Abbildung 75: Visualisierung der Kurvenverläufe „Trace 1“ auf dem HMI



Abbildung 76: Visualisierung der Kurvenverläufe „Trace 2“ auf dem HMI

Im unteren Teil der Anzeigen sind die zu den Kurven gehörenden Variablen mit ihren entsprechenden Farben dargestellt. Die Verläufe können über die Bedienoberfläche angehalten und durch Rein- und Rauszoomen genauer betrachtet werden.

6.5.4 Waagen Kalibrierung

Auch die Funktion der Waagen Kalibrierung (siehe Abbildung 77) soll überprüft werden. Da zum Testzeitpunkt jedoch keine Eichgewichte zur Verfügung stehen, erfolgt die Kalibrierung des zweiten Justagegewichts mithilfe einer Tankfüllung von 50 L Wasser. Zuerst wird der Produktionstank vollständig geleert, der Service Betrieb eingeschaltet und die zu verwendenden Justagegewichte eingestellt. Anschließend wird die Schaltfläche „Calibration Weight 1“ bei leerem Tank betätigt. Im nächsten Schritt wird der Produktionstank mit 50 L Wasser befüllt und die Schaltfläche „Calibration Weight 2“ betätigt. Nach dem Beenden des Service Betriebes zeigt die Waage 50 kg und bei leerem Tank 0 kg.

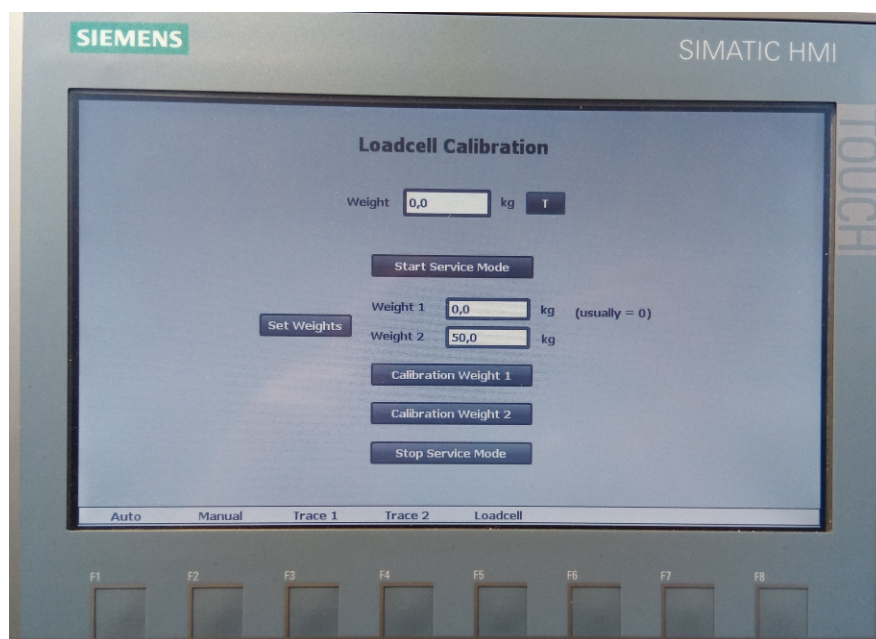


Abbildung 77: Visualisierung der Waagenkalibrierung auf dem HMI

Wie anhand der Abbildung 72 aus Kapitel 6.5.1 dargestellt, ist die Kalibrierung erfolgreich, da die Füllmenge sowie das Gewicht während des Vorgangs nahezu identisch sind. Die hier teilweise unterschiedlichen Messwerte ergeben sich durch die entstehende Wasserdynamik während der Rührvorgänge und die hiermit verbundene trägere Messung des Radarsensors.

6.5.5 Störmeldungen

Damit sichergestellt ist, dass die verschiedenen programmierten Störungen auch auslösen und den Betrieb stoppen, wird jede Störung jeweils während des Automatik- und Handbetriebes erzwungen. Durch das Abdrehen der Wasserversorgung während des Füllvorgangs wird unter anderem die Fehlermeldung „Volume not changing“ ausgelöst (siehe Abbildung 78).



Abbildung 78: Visualisierung einer Störmeldung auf dem HMI

Alle Aktoren werden dabei sofort gestoppt und die rote Signallampe leuchtet. Nach Quittierung der Störmeldung bleiben alle Aktoren ausgeschaltet und die Anlage befindet sich erneut im Initialzustand. Alle Störungen können im Test erfolgreich mit dem gleichen Verhalten reproduziert werden.

7. Zusammenfassung und Fazit

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer visualisierten Programmsteuerung für eine Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen. Um dieses Ziel erfolgreich umzusetzen, wurde das Projekt in mehrere Phasen unterteilt. Durch die Untersuchung des aktuellen Forschungsstandes konnten im Voraus viele wichtige Kenntnisse über das Themengebiet erlangt werden. Anschließend wurde der aktuelle Zustand der Prozessanlage analysiert und erläutert. Dadurch wurde ein Grundverständnis über deren Aufbau und Funktionsweise erlangt. Die nachfolgende Anforderungsanalyse hatte den Zweck, alle notwendigen Anforderungen an das Gesamtsystem zu erfassen und für die weitere Konzeption und Entwicklung bereitzustellen. Zur Findung des optimalen Konzeptes, welches den Anforderungen gerecht wird, wurden zunächst, die für die Automatisierung notwendigen Änderungen an der Prozessanlage dargelegt und im Anschluss die Methode des „morphologischen Kastens“ genutzt. Diesbezüglich war die Einteilung in die einzelnen Teilfunktionen notwendig. Aus den zusammengetragenen Teillösungen konnten anschließend drei verschiedene Lösungsmöglichkeiten extrahiert werden. Im Vergleich der Lösungsmöglichkeiten mit den Anforderungen fiel die Entscheidung auf die ausgeglichene Lösungsvariante L3, die aus einer SPS 1214C mit Zusatzkomponenten, einem Touchpanel KP900 und einem Edelstahlschaltschrank besteht. In der darauffolgenden Entwicklungsphase war es zuerst notwendig, entsprechende Schalt- und Schutzelemente in Bezug auf die Leistungsaufnahme der Aktoren auszuwählen, sowie den entsprechenden Schaltschrankaufbau zu planen. Folglich wurde der für die Verdrahtung notwendige Schaltplan mit allen zuvor ausgewählten Komponenten erstellt. Nach der Umsetzung des Schaltplans wurden die Programmabläufe des Automatik- und Handbetriebes in Form von Petrinetzen erarbeitet und überprüft. Ebenso erfolgte die Planung der Störungshandhabung, der Archivierung sowie der Bilder für die Visualisierung des Touchpanels. Im Anschluss konnte mit der Realisierung gestartet werden, indem zunächst der Schaltschrank mit allen Komponenten bestückt und anschließend nach Schaltplan verdrahtet wurde. Darauffolgend konnte das Steuerungsprogramm nach den zuvor erstellten Petrinetzen sowie alle weiteren Funktionen wie die Kommunikation mit den Aktoren und Sensoren, die Störungshandhabung, die Visualisierung der Bilder und dessen Bedienung programmiert werden. Nach Abschluss der Programmierung war es dann möglich, das System an die Prozessanlage anzubinden. Die Prozessanlage wurde hierzu mit den entsprechenden Magnetventilen sowie Sensoren ausgestattet und mit allen weiteren Aktoren an das neue System angebunden. Abschließend konnte der Ablauf zur Funktionsanalyse des Automatik- und Handbetriebes anhand der zuvor erstellten Petrinetze, der Archivierungsdateien und der Störmeldungen überprüft werden.

Zur Kontrolle des Vakuums wäre es bei zukünftigen Projekten besser, einen Drucksensor mit analogem Ausgangssignal zu wählen, da die Steuerung hierdurch den genauen Messwert einlesen, verarbeiten und anzeigen kann. Um die Prozessvorbereitung weiter zu vereinfachen, ist es sinnvoll, wenn die Steuerung Zugriff auf die interne Datenbank erhält, um die entsprechenden Rezepte automatisch auszulesen. Desweiteren könnte der Schaltschrank mit einer Ethernetbuchse ausgestattet werden, damit Softwareänderungen geladen werden können, ohne den Schaltschrank zu öffnen.

Dennoch wurden alle notwendigen Anforderungen bei der Entwicklung berücksichtigt und umgesetzt. Durch die Wahl der ausgeglichenen Lösungsvariante konnten ebenso die Kosten deutlich unter 5000€ gehalten werden (siehe Anhang D). Auch der Wunsch zur Wiederverwendbarkeit der Software konnte umgesetzt werden. Das Ziel dieser Arbeit wurde somit erreicht und das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

Literaturverzeichnis

- [1] Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T. & Hompel, T. M. (2017). *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung (Springer Reference Technik)* (2. Aufl. 2017 Aufl.). Springer Vieweg.
- [2] Brecher, C. & Weck, M. (2021). *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 3: Mechatronische Systeme, Steuerungstechnik und Automatisierung (VDI-Buch)* (9. Aufl. 2021 Aufl.). Springer Vieweg.
- [3] Alvarez-Lorenzo, C. & Concheiro, A. (2013). *Smart Materials for Drug Delivery: Volume 1 (Rsc Smart Materials)* (1. Aufl.). Royal Society of Chemistry.
- [4] Nothelle, R. & Hamann, H. J. (1996). Liposomen - Strukturen und Herstellung. *Chemie Ingenieur Technik - CIT*, 68(12), 1537–1545. <https://doi.org/10.1002/cite.330681204>
- [5] Plantacorp. (2021). *BIOAVAILABILITY OF LIPOSOMAL VITAMIN C*.
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK
Ewj2k6PZ887xAhXI2qQKHXRCA_cQFjACegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.press
portal.de%2Fdownload%2Fdocument%2F734461-studie-bioverfu-gbarkeit-
vitaminc.pdf&usg=AOvVaw3U55EUxRtOal5bGOk4-ifl](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj2k6PZ887xAhXI2qQKHXRCA_cQFjACegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.pressportal.de%2Fdownload%2Fdocument%2F734461-studie-bioverfu-gbarkeit-vitaminc.pdf&usg=AOvVaw3U55EUxRtOal5bGOk4-ifl)
- [6] Holm, T., Schröck, S., Fay, A., Jäger, T. & Löwen, U. (2013). *Engineering von „Mechatronik und Software“ in automatisierten Anlagen: Anforderungen und Stand der Technik*.
[https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/17376/261.pdf?sequence=1&isAllo
wed=y](https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/17376/261.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [7] Zeller, M., Hofig, K. & Schwinn, J. P. (2017). ArChes — Automatic generation of component fault trees from continuous function charts. *2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. Published.
<https://doi.org/10.1109/indin.2017.8104836>

- [8] Ross, M. (2019). *Automatisierungstechnik* [Vorlesungsfolien]. AUT Slides.
https://www.hs-koblenz.de/fileadmin/media/profiles/ingenieurwesen_elektrotechnik_und_informatik/ross/AUT/Material/AUT-slides.pdf
- [9] Meiners, U. (2019) *Automatisierungstechnik 1 Skript*.
- [10] Seitz, M. (2015). *Speicherprogrammierbare Steuerungen für die Fabrik- und Prozessautomation: Strukturierte und objektorientierte SPS-Programmierung, Motion Control, Sicherheit, vertikale Integration* (4., neu bearbeitete Aufl.). Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- [11] Wefel, S. & Rost, M. (2016). *Sensorik für Informatiker: Erfassung und rechnergestützte Verarbeitung nichtelektrischer Messgrößen (De Gruyter Studium)* (1. Aufl.). De Gruyter Oldenbourg.
- [12] Siemens. (2021e). *6ES7214-1BG40-0XB0 (CPU 1214C) Datenblatt*.
<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7214-1BG40-0XB0>
- [13] Häberle, H. O., Häberle, G., Jöckel, H. W., Krall, R., Schiemann, B., Schmitt, S. & Tkotz, K. (2015). *Tabellenbuch Elektrotechnik: Tabellen - Formeln - Normenanwendungen* (26. Aufl.). Europa-Lehrmittel.
- [14] Rittal. (2016). *Technisches Systemhandbuch Luftkühlung*.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwib99vq-s7xAhX5gPOHHdH5D_wQFjABegQIBBAD&url=https%3A%2F%2Fwww.rittal.com%2Fimf%2Fnone%2F3_6104%2FRittal_3105360_Technisches_Systemhandbuch_3_6104&usg=AOvVaw3BEv8ygsydMeRbO0uUVGal

- [15] Siemens. (2019). *Archivierung von Prozesswerten und Meldungen mit WinCC (TIA Portal)*.
[https://support.industry.siemens.com/cs/document/109746939/archivierung-von-prozesswerten-und-meldungen-mit-wincc-\(tia-portal\)?dti=0&lc=de-DE](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109746939/archivierung-von-prozesswerten-und-meldungen-mit-wincc-(tia-portal)?dti=0&lc=de-DE)
- [16] Delta. (2019). *Delta Standard Compact DriveMS300 Series User Manual*. https://delta-automation.at/wp-content/uploads/2020/01/DELTA_IA-MDS_VFD-MS300_UM_EN_20191230.pdf
- [17] Siemens. (2015). *SIMATIC S7-1200 Easy Book*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/39710145/simatic-s7-1200-easy-book?dti=0&lc=de-DE>
- [18] Siemens. (2017). *SIMATIC S7-1200 Automatisierungssystem*.
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/593/109741593/att_895680/v1/s71200-system_manual_de-DE_de-DE.pdf
- [19] *Wägesysteme Wägeelektronik SIWAREX WP231 Gerätehandbuch*. (2014).
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/90229056/att_70859/v1/A5E31238907A-02_SIWAREX_WP231_GHB_de_de-DE.pdf
- [20] ABB. (2019). *AF38-40-00-13 ABB Datenblatt*.
<https://new.abb.com/products/1SBL297201R1300/af38-40-00-13>
- [21] EATON. (2021). *P3-63 Eaton Datenblatt*. https://datasheet.eaton.com/Eaton-010398-P3-63-EA-SVB-N-de_DE.pdf?locale=de_DE&model=010398
- [22] finder. (2021). *Finder Relais 48 Series Datenblatt*.
<https://cdn.findernet.com/app/uploads/2020/09/18133908/S48EN.pdf>
- [23] MEAN WELL. (2021). *NDR-480 Datenblatt*. <https://www.meanwell-web.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/NDR-480/NDR-480-spec.pdf>

[24] Siemens. (2021a). *3RV2011-1GA10 (SIRIUS 3RV2) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/3RV2011-1GA10>

[25] Siemens. (2021b). *3RV2011-1KA10 (SIRIUS 3RV2) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/3RV2011-1KA10>

[26] Siemens. (2021c). *3RV2021-4DA10 (SIRIUS 3RV2) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Product/3RV2021-4DA10>

[27] Siemens. (2021d). *6AV2124-1JC01-0AX0 (KP900) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6AV2124-1JC01-0AX0>

[28] Siemens. (2021f). *6ES7222-1BF32-0XB0 (SM 1222) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7222-1BF32-0XB0>

[29] Siemens. (2021g). *6ES7231-4HD32-0XB0 (SM1231) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HD32-0XB0>

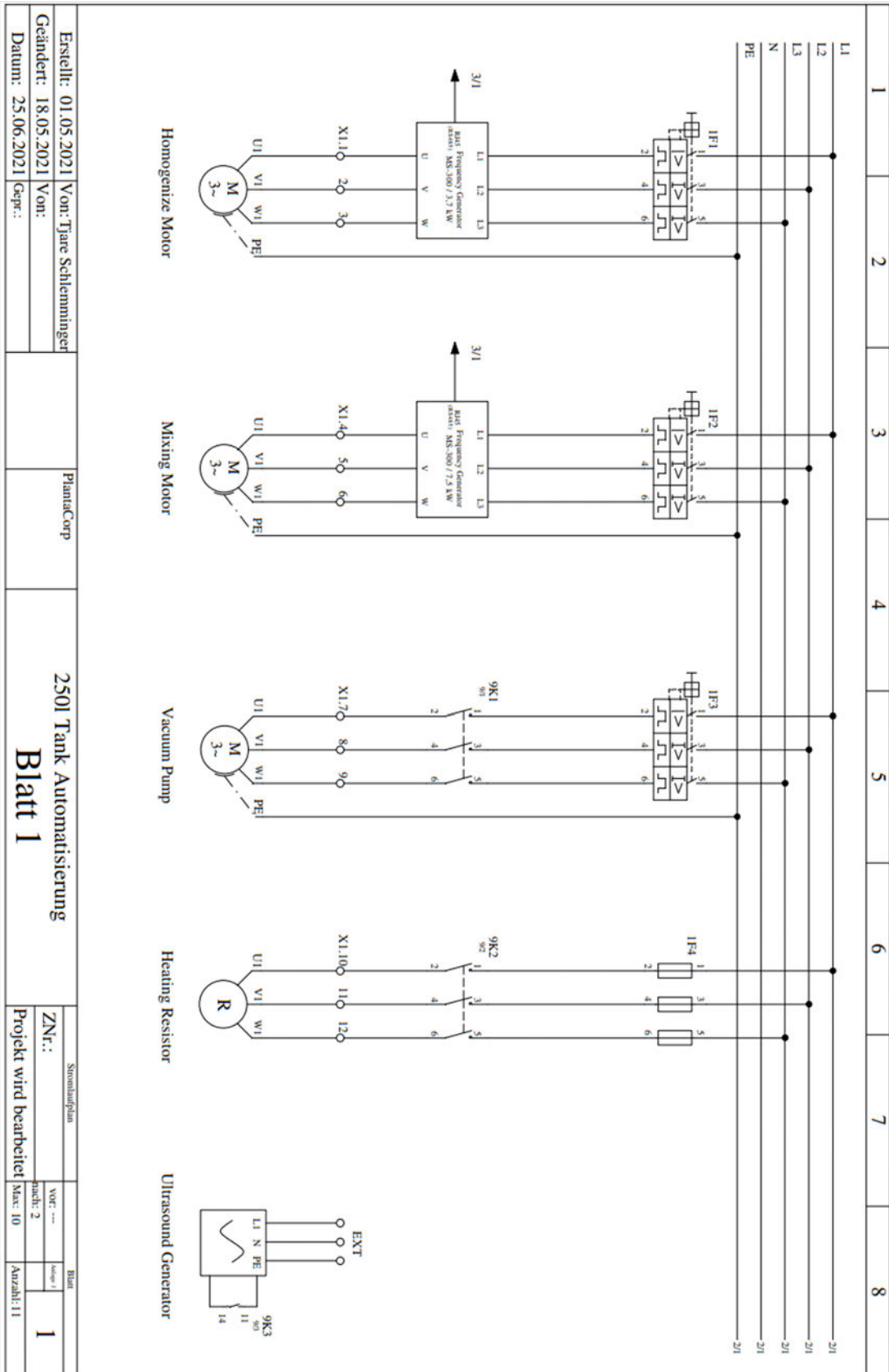
[30] Siemens. (2021h). *6ES7231-5PD32-0XB0 (SM1231RTD) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7231-5PD32-0XB0>

[31] Siemens. (2021i). *6ES7241-1CH30-1XB0 (CB1241) Datenblatt.*

<https://mall.industry.siemens.com/mall/de/WW/Catalog/Product/6ES7241-1CH30-1XB0>

Anhang A - Schaltplan



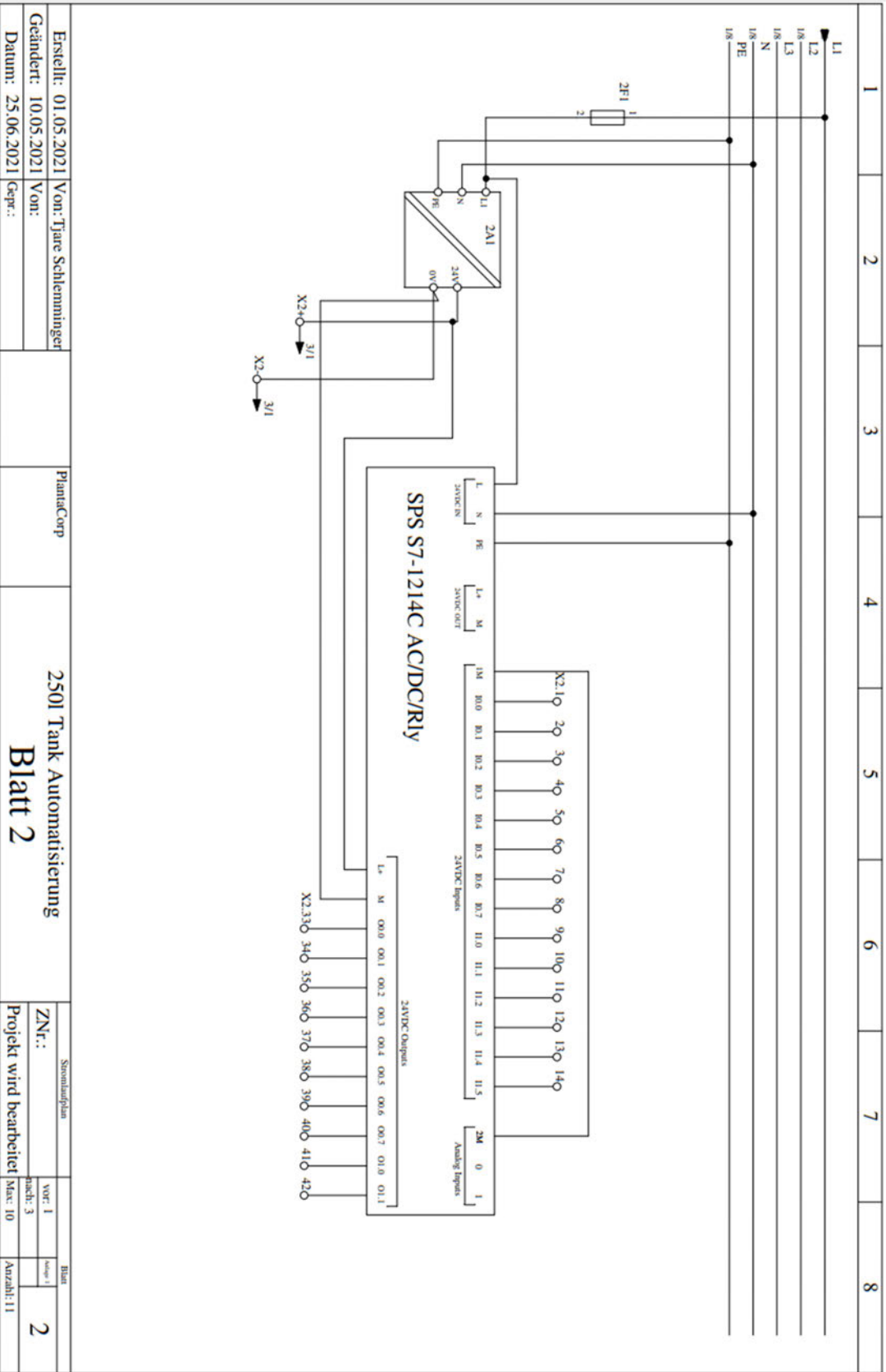
Erstellt: 01.05.2021 Von: Tjare Schlemming
 Geändert: 18.05.2021 Von:
 Datum: 25.06.2021 Gepr.:

Plantacorp

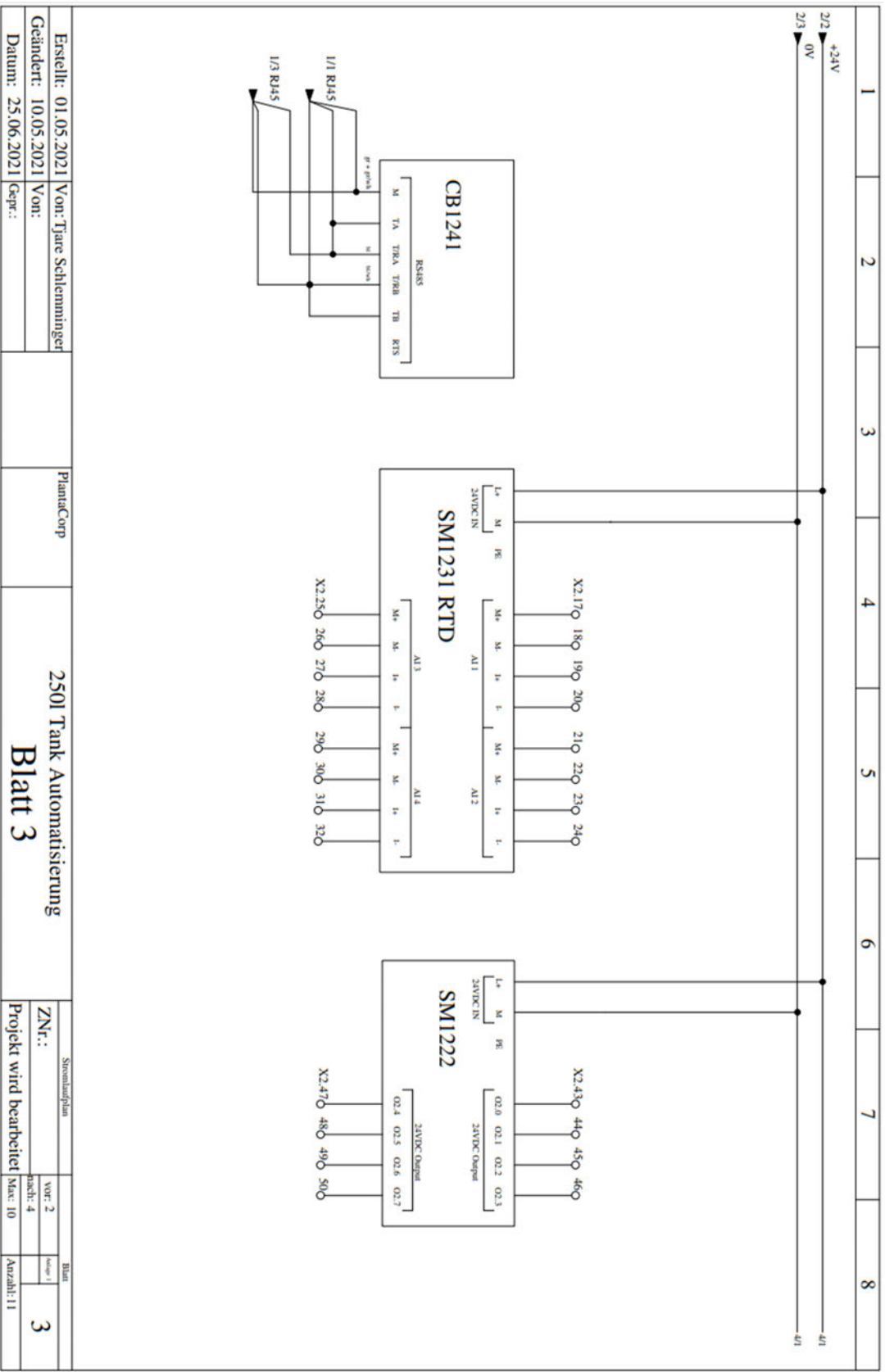
250l Tank Automatisierung
Blatt 1

Stromlaufplan
 ZN: Projekt wird bearbeitet

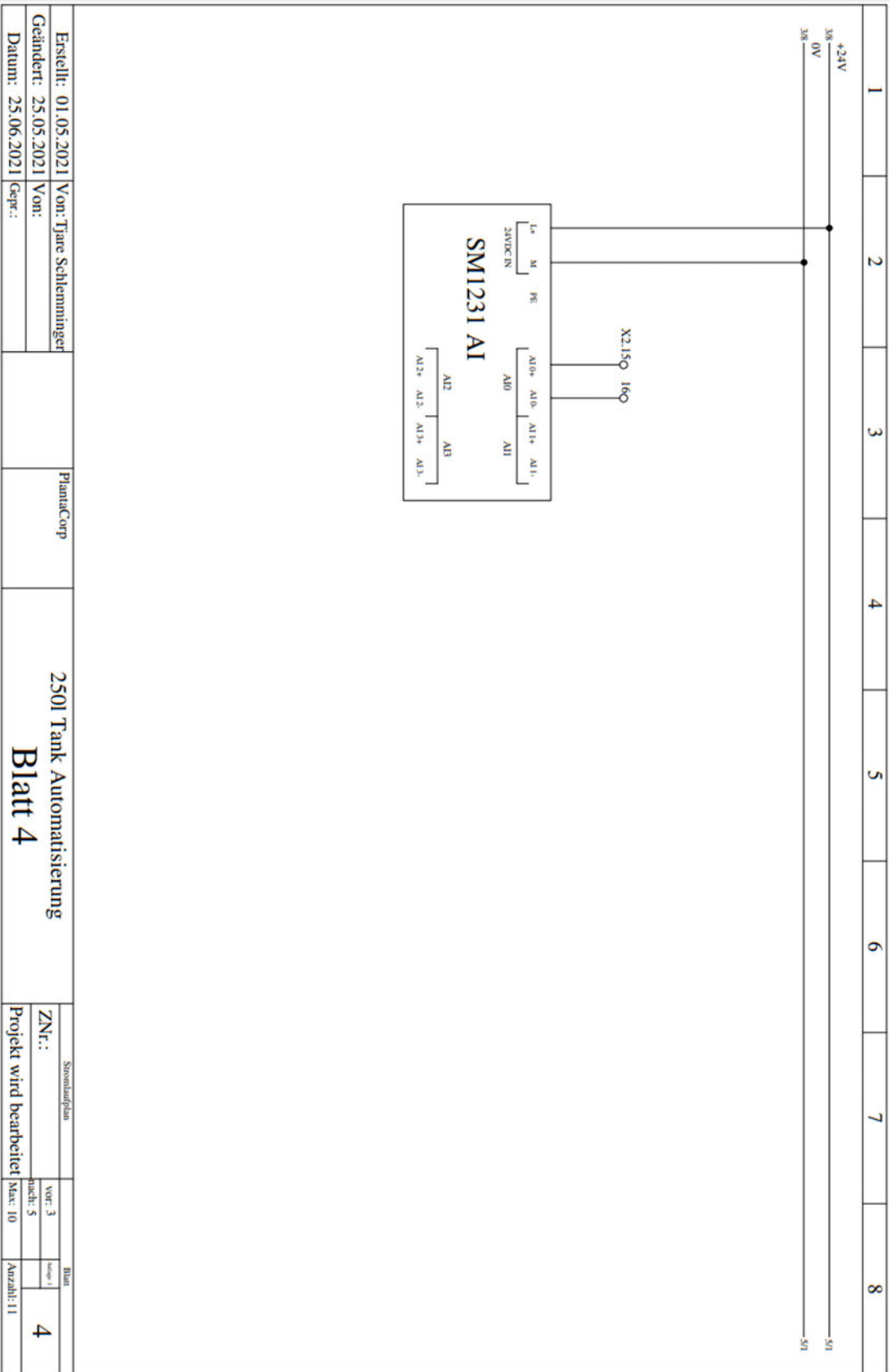
Blatt
 VOR: 1
 Nach: 2
 Max: 10
 Anzahl: 11



Erstellt: 01.05.2021	Von: Tjare Schlemminger	PlanatCorp	2501 Tank Automatisierung		Stromlaufplan	
Gedñndert: 10.05.2021	Von:		Blatt 2		ZNr.:	
Datum: 25.06.2021	Gepr.:				Projekt wird bearbeitet	
					Blatt	
					Vgr: 1	
					Nach: 3	
					Max: 10	
					Anzahl: 11	
					2	



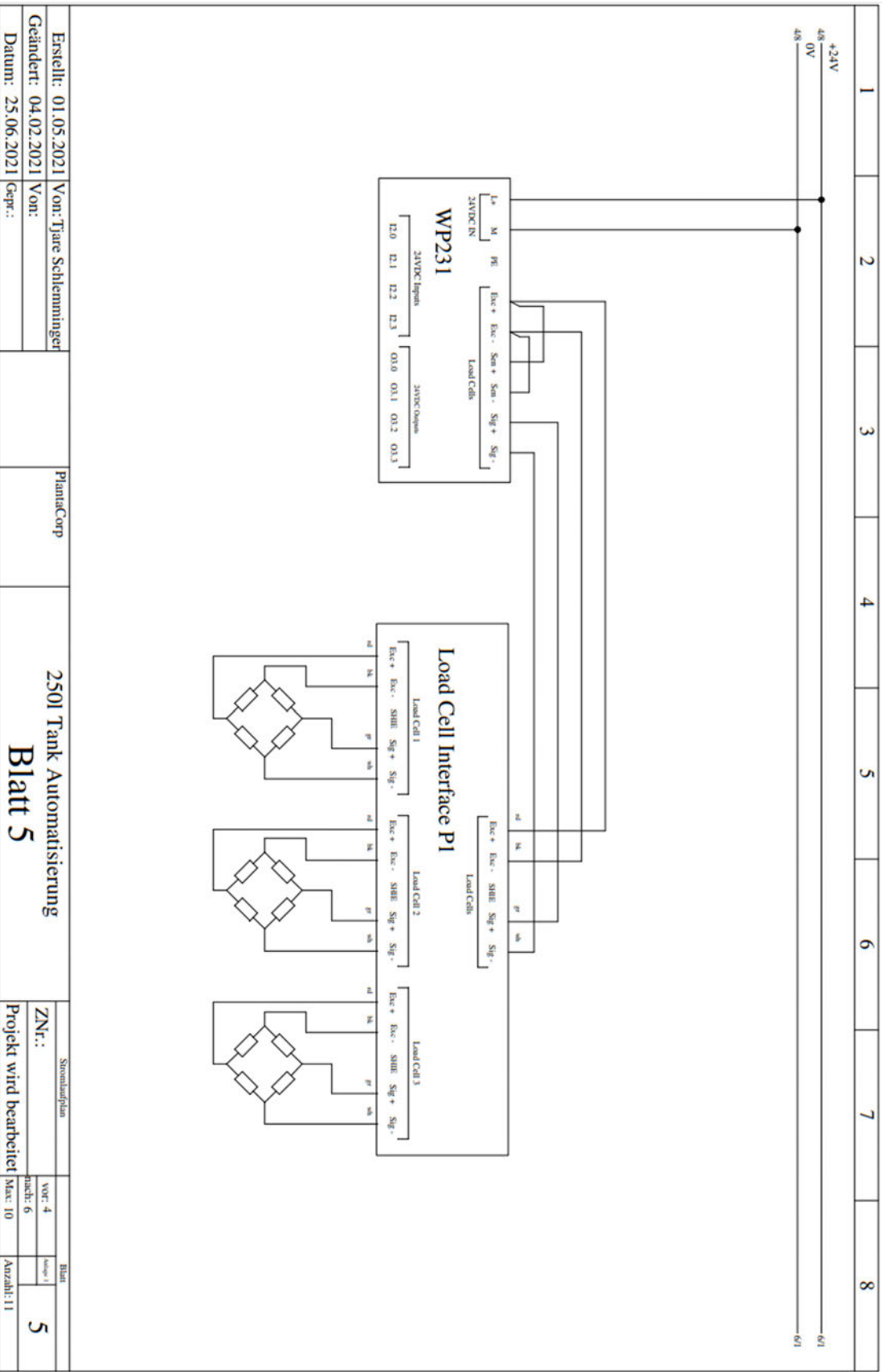
Erstellt: 01.05.2021	Von: Tjare Schlemminger	PlantacCorp	2501 Tank Automatisierung		ZNR: []		Blatt	
Gehändert: 10.05.2021	Von: []		Blatt 3		Projekt wird bearbeitet		Vor: 2	1
Datum: 25.06.2021	Gepr.: []						Nach: 4	3
							Mit: 10	Anzahl: 11



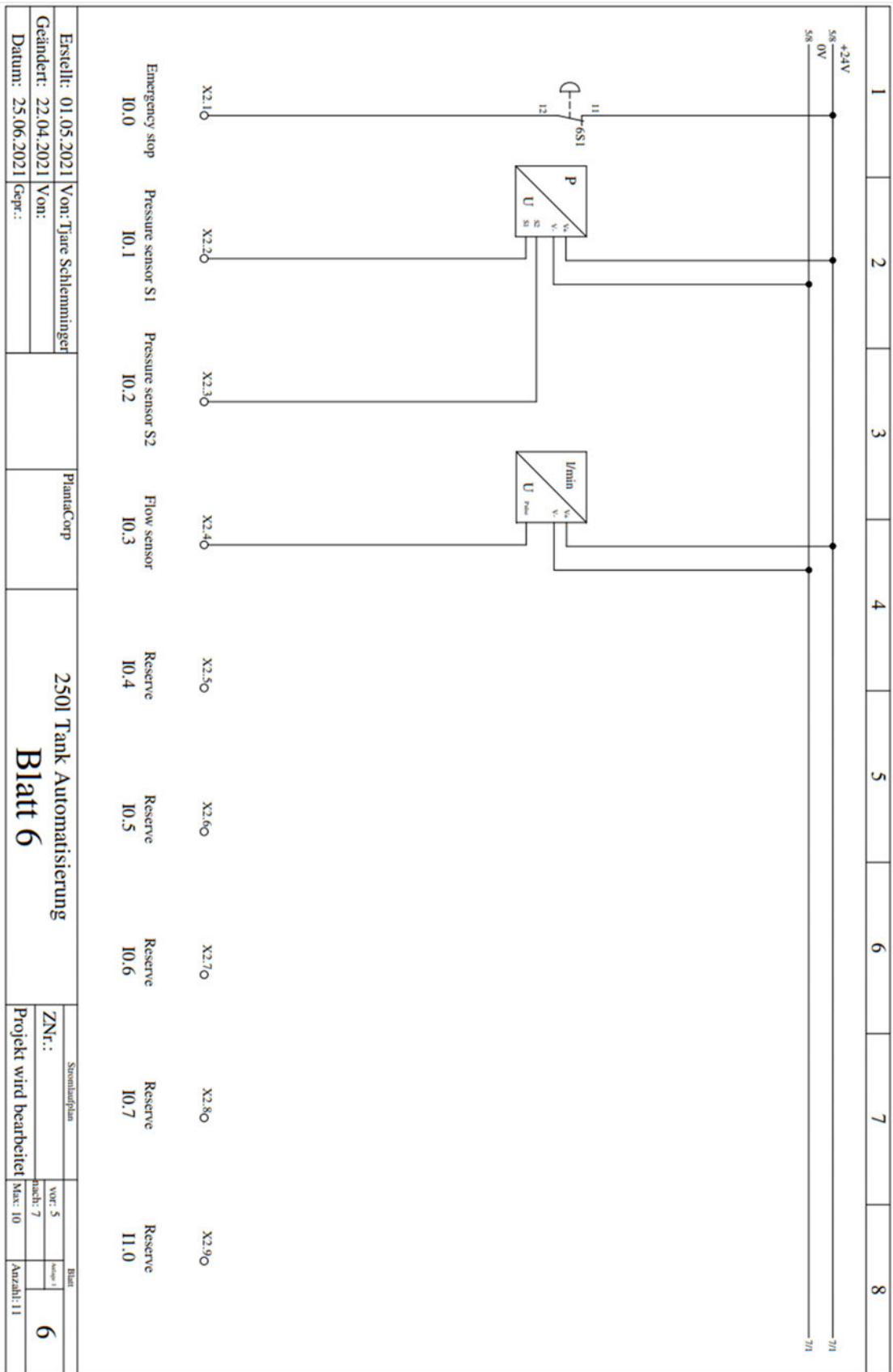
Erstellt: 01.05.2021	Von: Tare Schlemmingert		
Gändert: 25.05.2021	Von:		
Datum: 25.06.2021	Gepr.:		

	PlianaCorp	250l Tank Automatisierung	
Blatt 4			

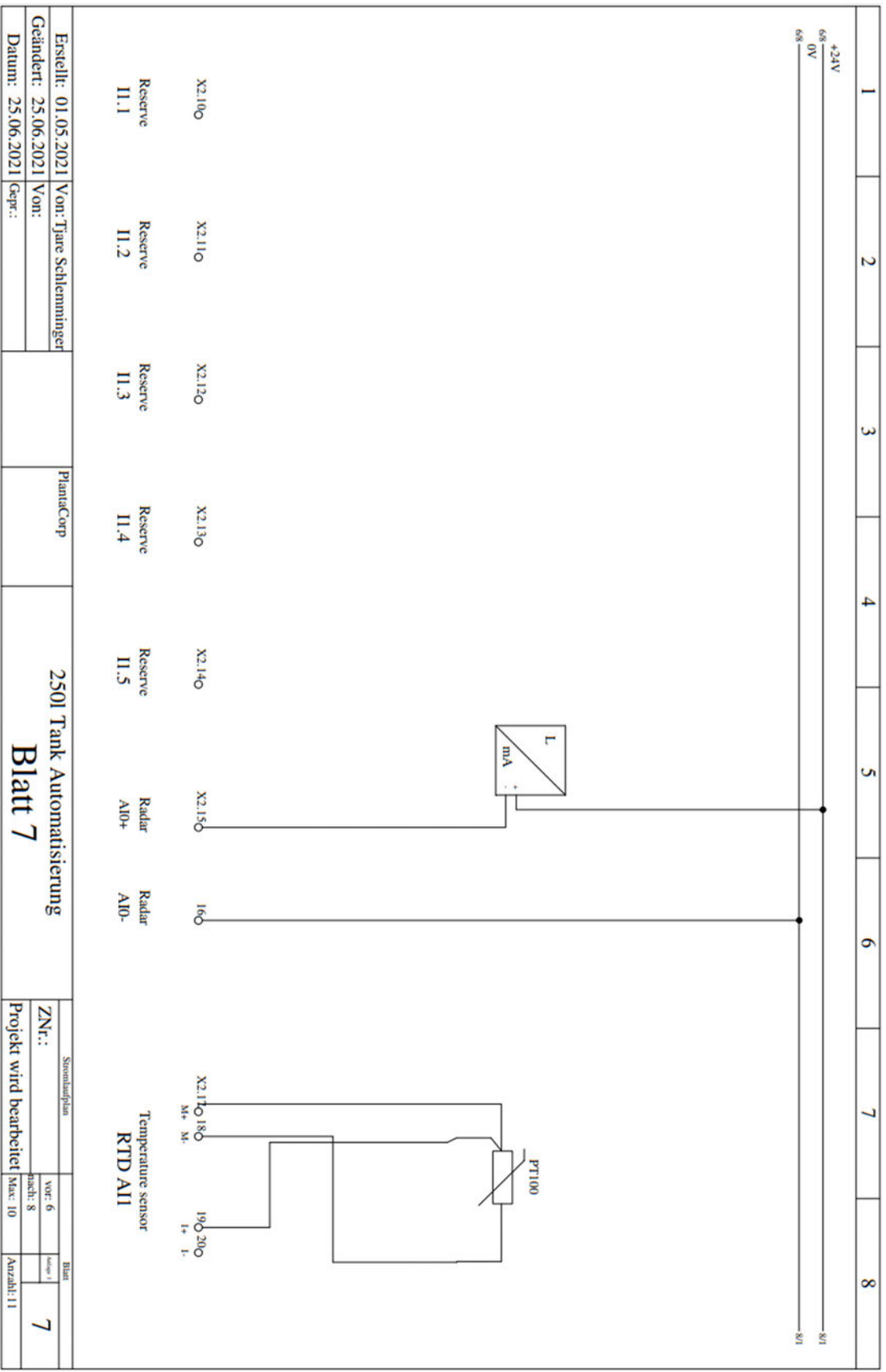
	Schnittplan
ZNr.:	Vor: 3
	Nach: 5
Projekt wird bearbeitet	Max: 10
	Blatt
	Anzahl: 11
	4



Erstellt: 01.05.2021	Von: Tjare Schlemminger	PlantCorp	2501 Tank Automatisierung
Gedñndert: 04.02.2021	Von:	Blatt 5	
Datum: 25.06.2021	Gepr.:	Projekt wird bearbeitet	ZNR.: VOR: 4 nach: 6 Max: 10
			Blatt Anzahl: 11 5



Erstellt: 01.05.2021	Von: Tyare Schlemminger	PlantCorp	250l Tank Automatisation			Standardplan	
Gändert: 22.04.2021	Von:					ZNr.:	VOR: 5
Datum: 25.06.2021	Gepr.:		Blatt 6			mach: 7	6
						Projekt wird bearbeitet	Max: 10



Erstellt: 01.05.2021	Von: Tjare Schlemminger	PlantacCorp	250l Tank Automatisierung	Blatt 7	Stromlaufplan		Blatt	
Gändert: 25.06.2021	Von:				ZNr.:	Vor: 6	Blach: 8	7
Datum: 25.06.2021	Gepr.:		Projekt wird bearbeitet		Max: 10	Anzahl: 11		

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

+24V

7/8 OV

7/8

9/1

X2.210 220 230 240 M+ M- I+ I- X2.250 260 270 280 M+ M- I+ I- X2.290 300 310 320 M+ M- I+ I-

Reserve
RTD A12

Reserve
RTD A13

Reserve
RTD A14

Erstellt: 01.05.2021 Von: Tjare Schlemming

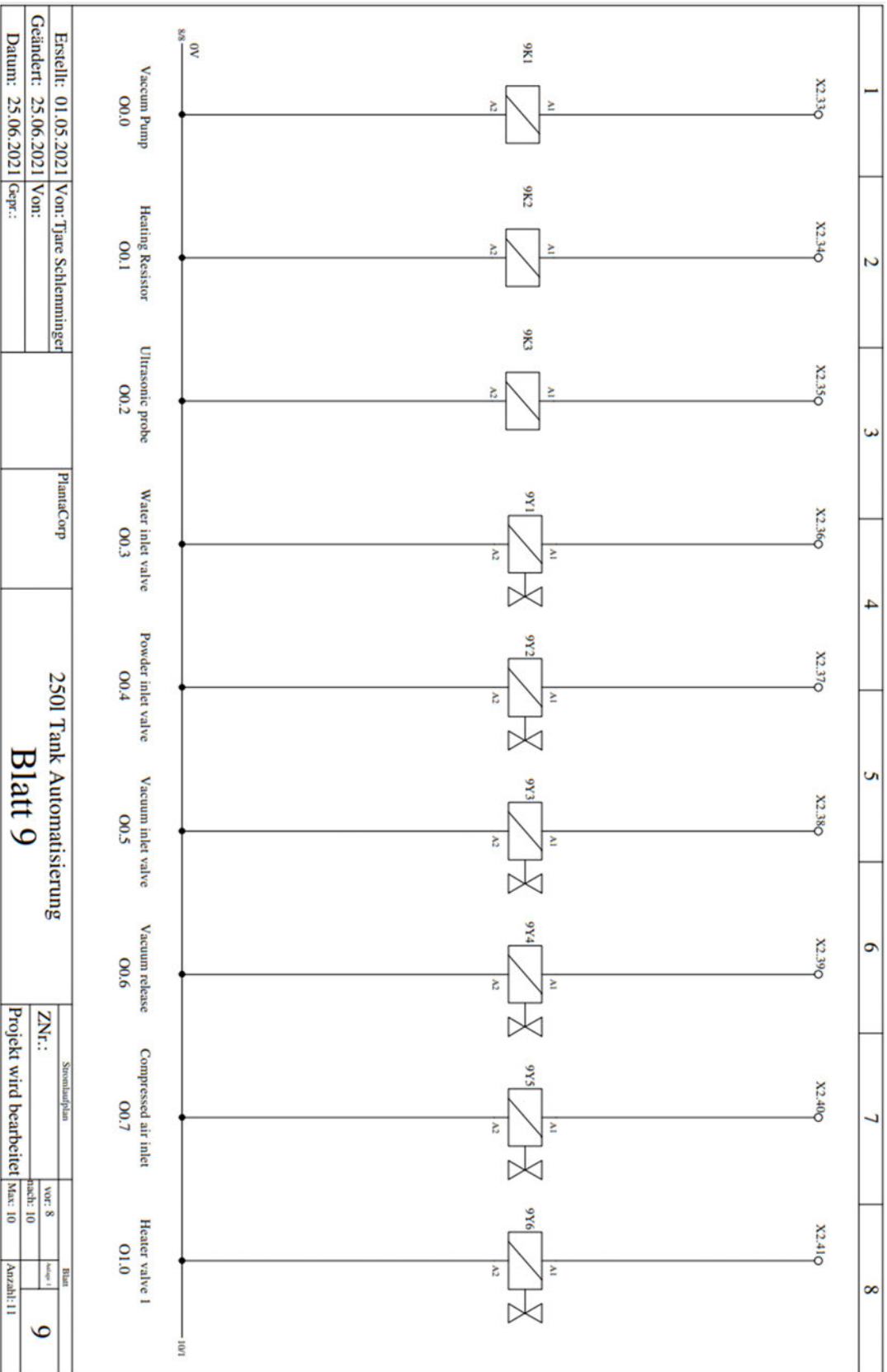
Gändert: 25.06.2021 Von:

Datum: 25.06.2021 Gepr.:

PlantCorp

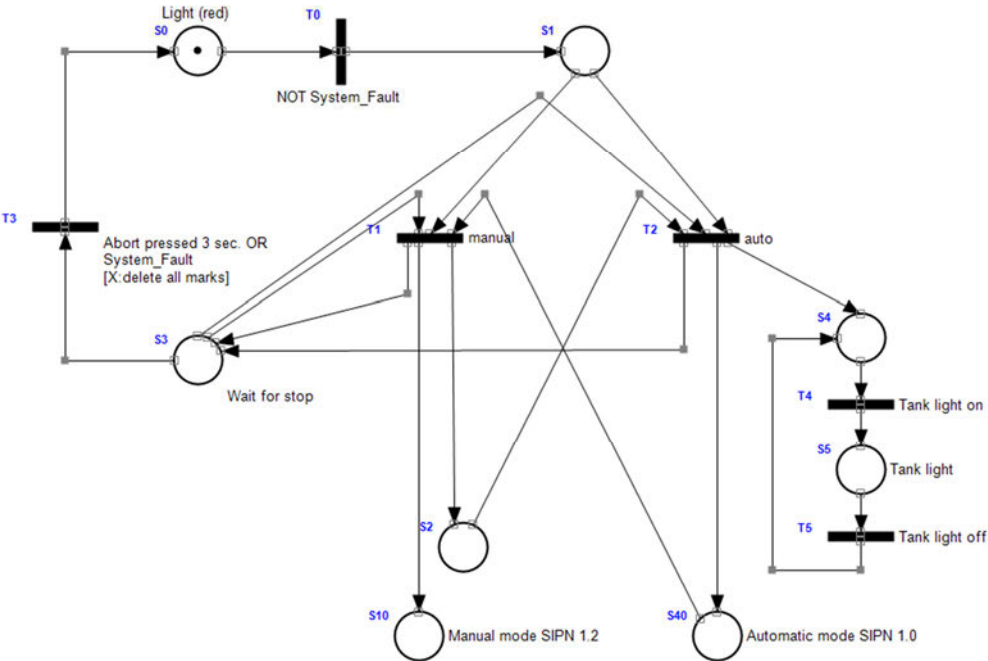
250l Tank Automatisierung
Blatt 8

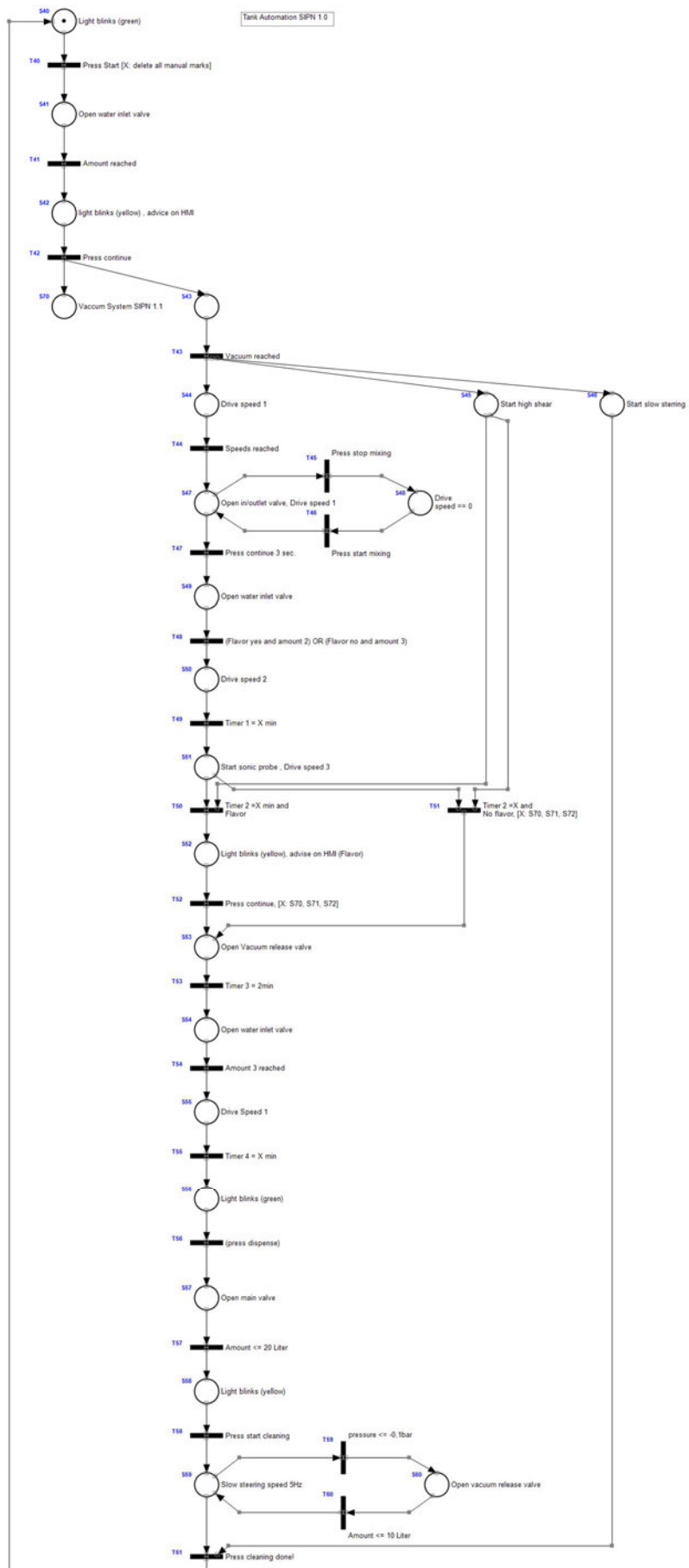
Stromlaufplan		Blatt	
ZNr.:	Vor: 7	nach: 9	Max: 11
Projekt wird bearbeitet	Max: 10	Anzahl: 11	
			8



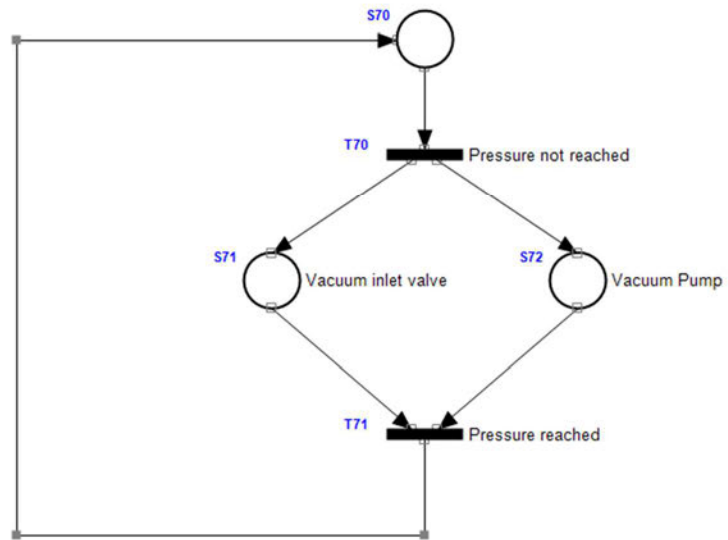
Anhang B - Petrinetze

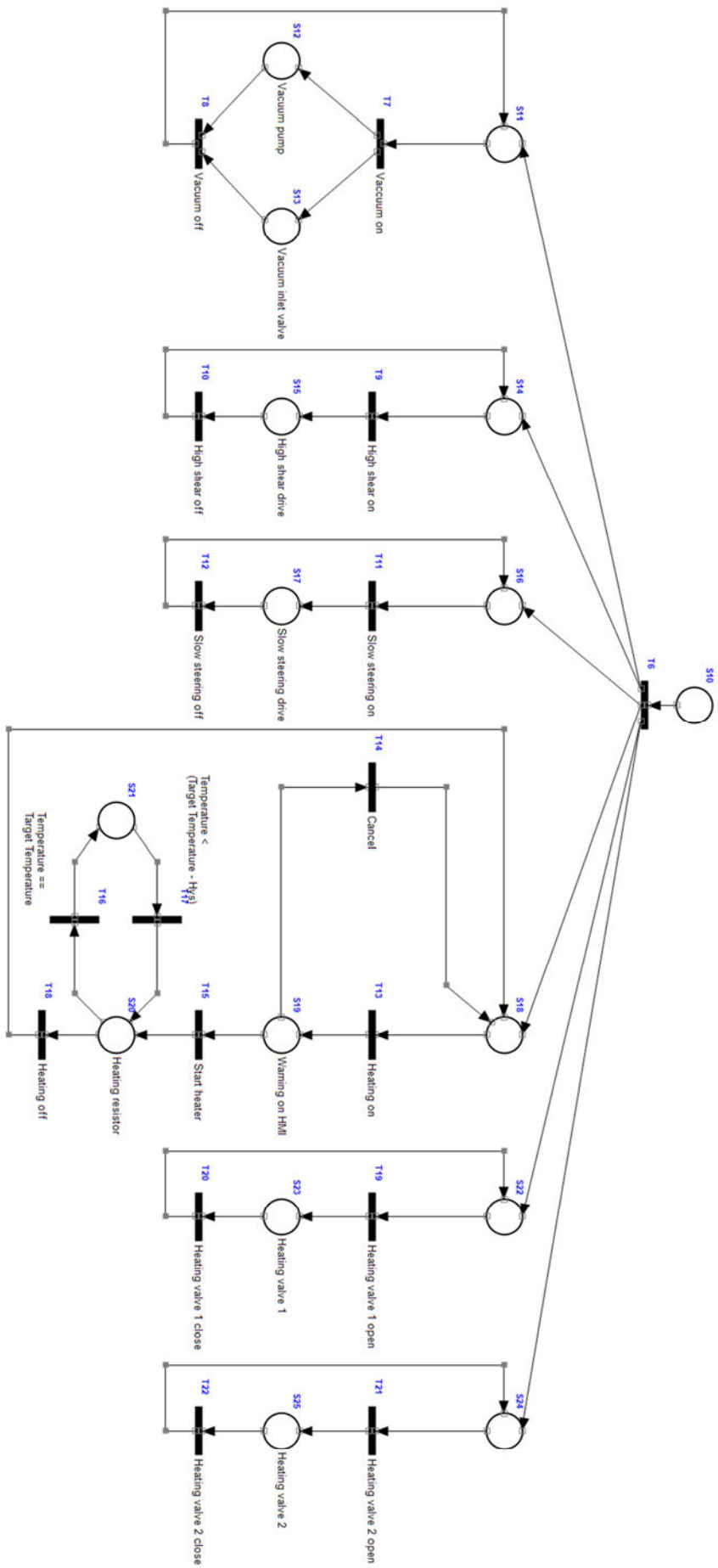
Operating head SIPN: 0.0

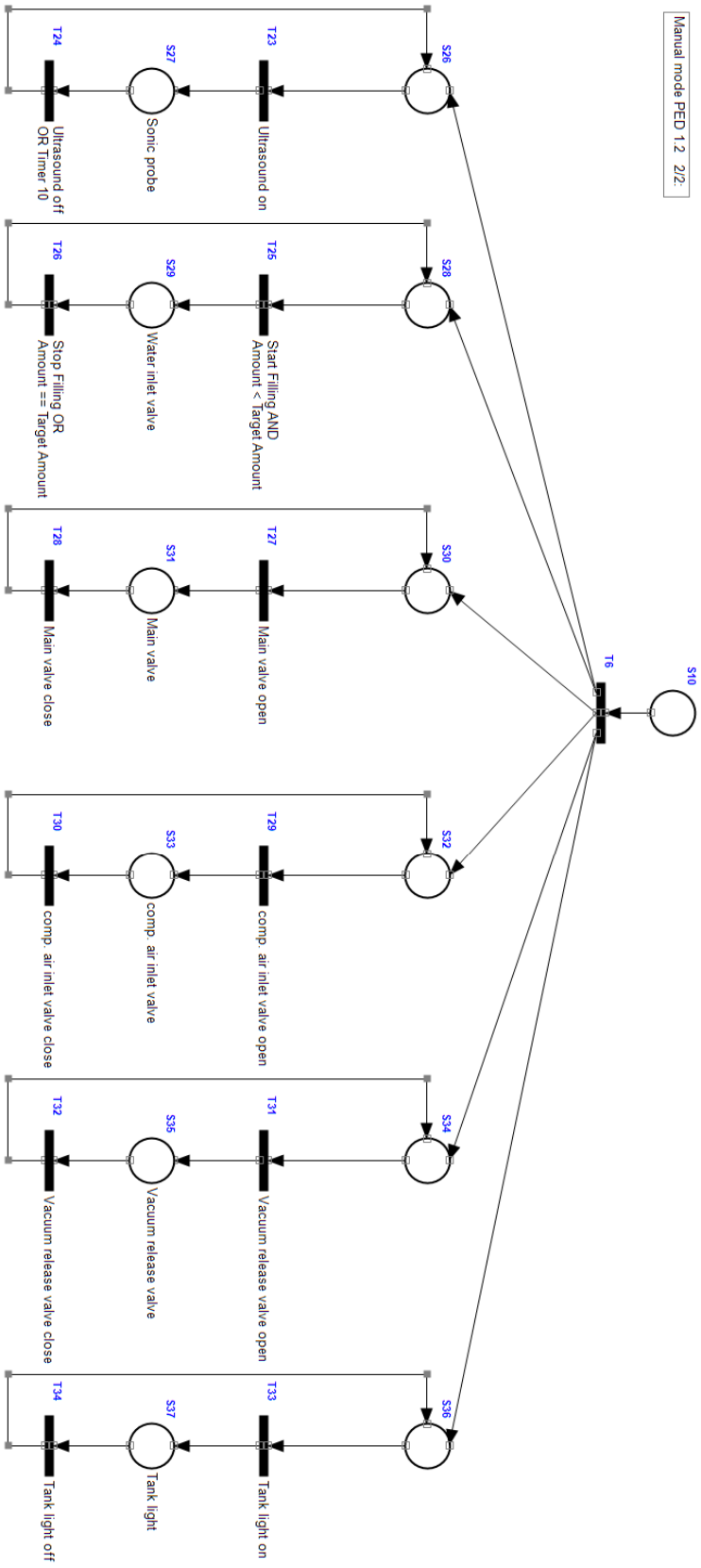


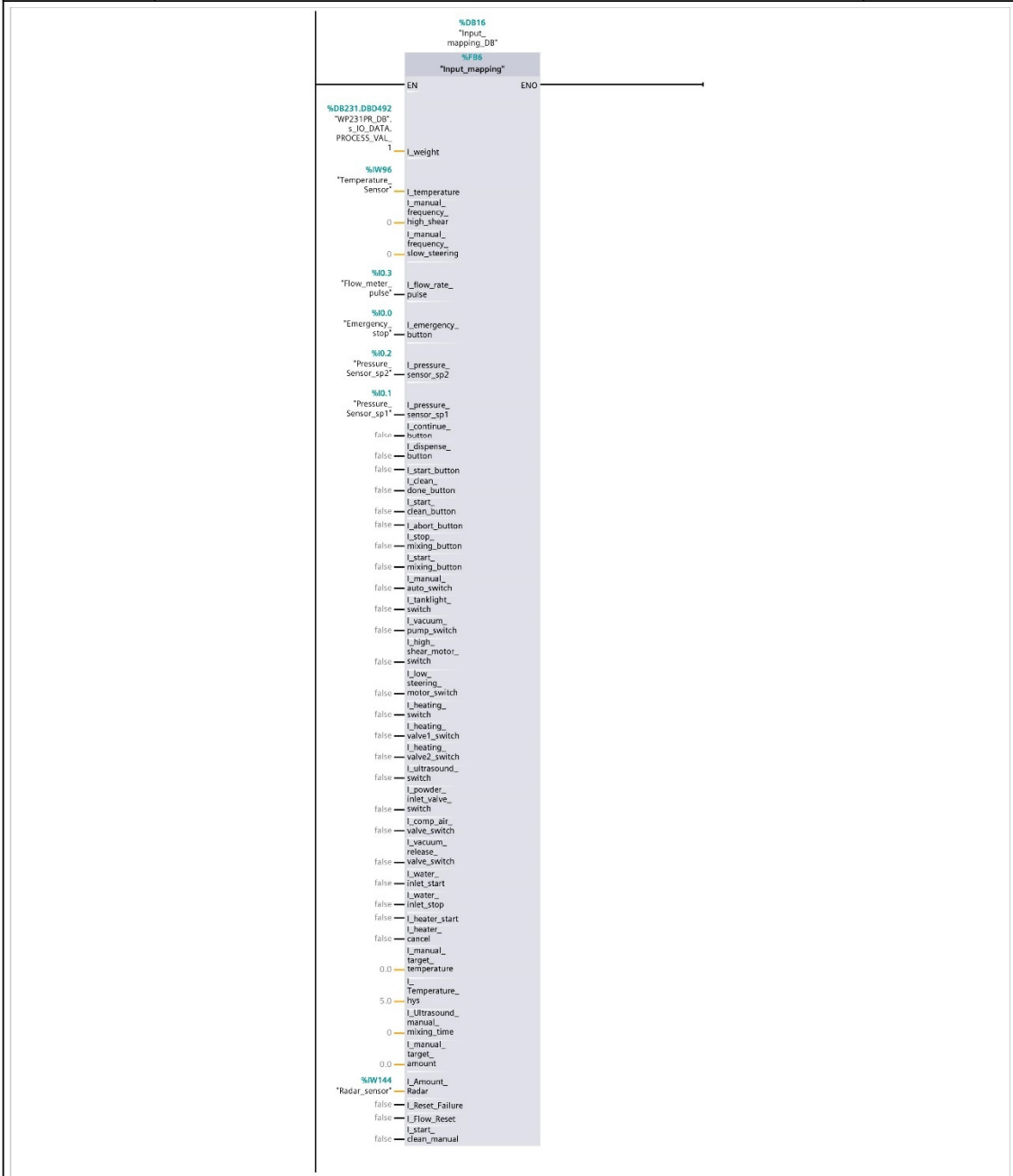


Vacuum Control SIPN 1.1:

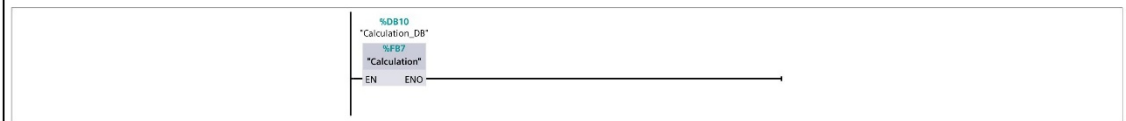






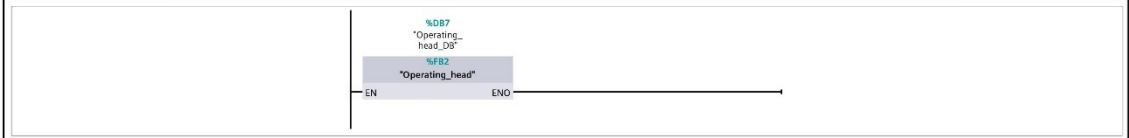


Netzwerk 2:

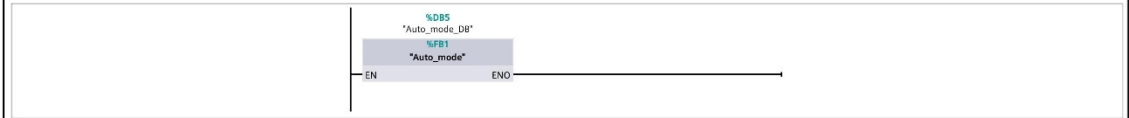


Netzwerk 3:

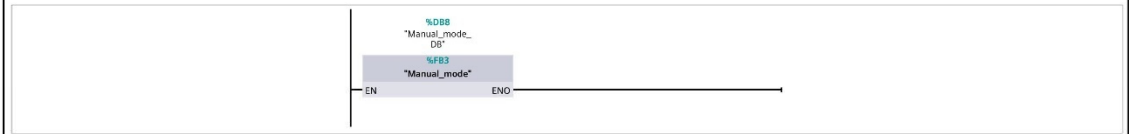




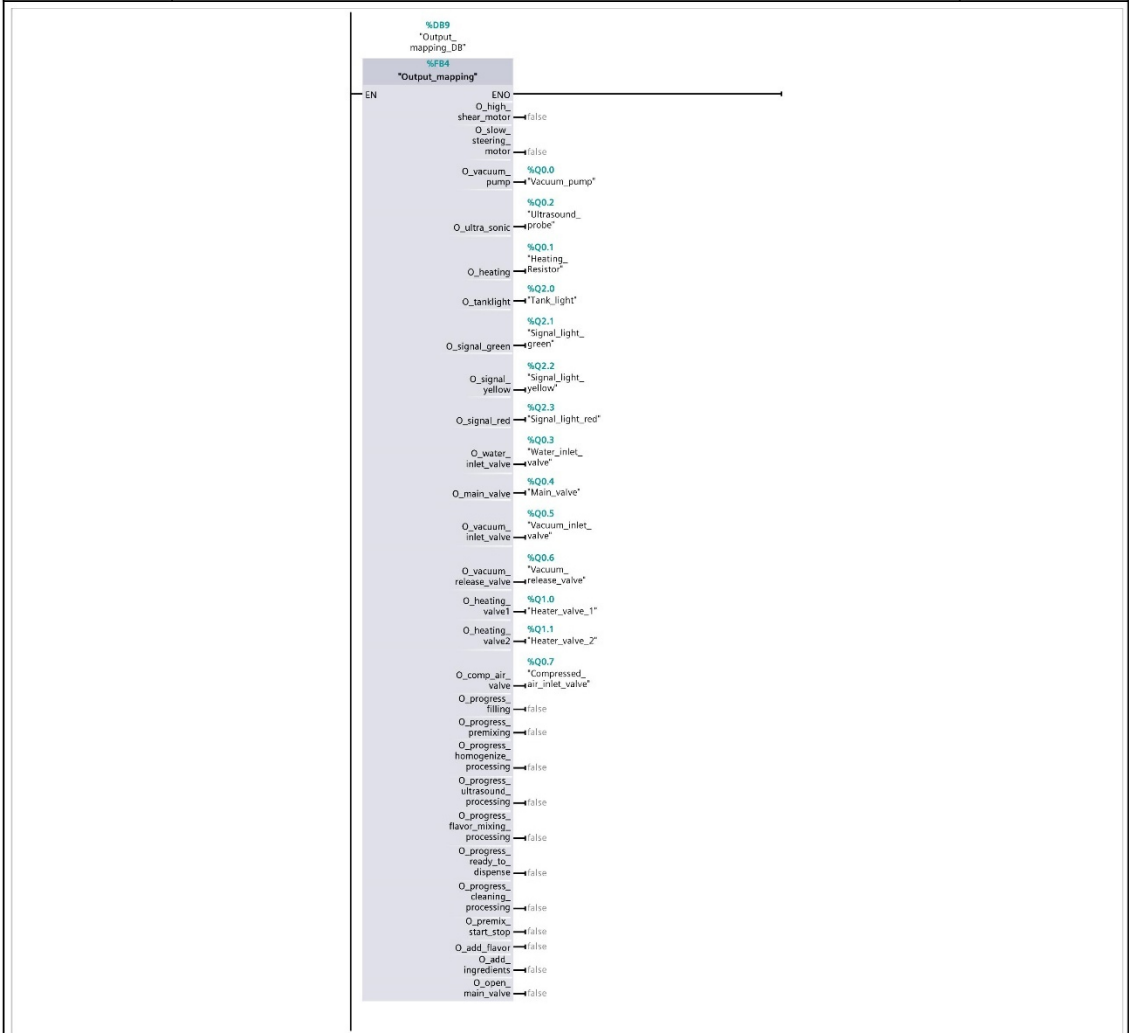
Netzwerk 4:



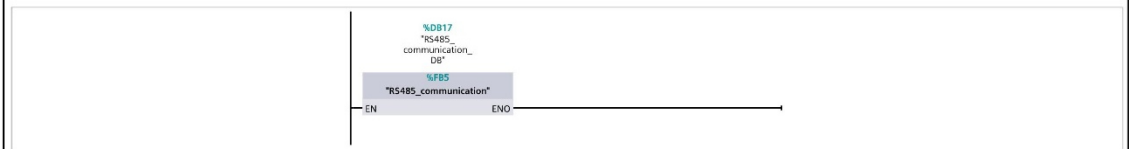
Netzwerk 5:



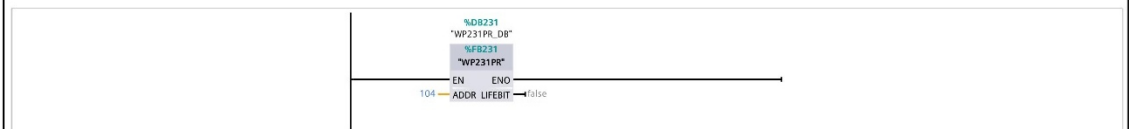
Netzwerk 6:



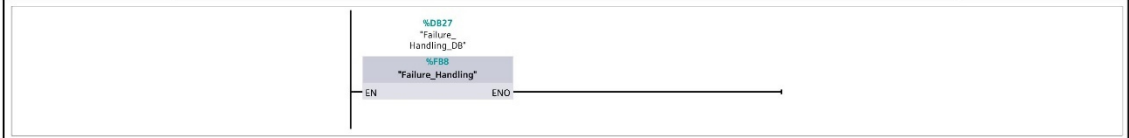
Netzwerk 7:



Netzwerk 8:



Netzwerk 9:



Input_mapping [FB6]

Input_mapping Eigenschaften

Allgemein							
Name	Input_mapping	Nummer	6	Typ	FB	Sprache	KOP
Nummerierung	Automatisch						

Information								
Titel				Kommentar				Familie
Version	0.1	Autor	Anwenderdefinierte ID					

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
▼ Input			
I_weight	Real	0.0	Nicht remanent
I_temperature	Int	0	Nicht remanent
I_manual_frequency_high_shear	Int	0	Nicht remanent
I_manual_frequency_slow_steering	Int	0	Nicht remanent
I_flow_rate_pulse	Bool	false	Nicht remanent
I_emergency_button	Bool	false	Nicht remanent
I_pressure_sensor_sp2	Bool	false	Nicht remanent
I_pressure_sensor_sp1	Bool	false	Nicht remanent
I_continue_button	Bool	false	Nicht remanent
I_dispense_button	Bool	false	Nicht remanent
I_start_button	Bool	false	Nicht remanent
I_clean_done_button	Bool	false	Nicht remanent
I_start_clean_button	Bool	false	Nicht remanent
I_abort_button	Bool	false	Nicht remanent
I_stop_mixing_button	Bool	false	Nicht remanent
I_start_mixing_button	Bool	false	Nicht remanent
I_manual_auto_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_tanklight_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_vacuum_pump_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_high_shear_motor_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_low_steering_motor_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_heating_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_heating_valve1_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_heating_valve2_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_ultrasound_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_powder_inlet_valve_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_comp_air_valve_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_vacuum_release_valve_switch	Bool	false	Nicht remanent
I_water_inlet_start	Bool	false	Nicht remanent
I_water_inlet_stop	Bool	false	Nicht remanent
I_heater_start	Bool	false	Nicht remanent
I_heater_cancel	Bool	false	Nicht remanent
I_manual_target_temperature	Real	0.0	Nicht remanent
I_Temperature_hys	Real	5.0	Nicht remanent
I_Ultrasound_manual_mixing_time	DInt	0	Nicht remanent
I_manual_target_amount	Real	0.0	Nicht remanent
I_Amount_Radar	Int	0	Nicht remanent
I_Reset_Failure	Bool	false	Nicht remanent
I_Flow_Reset	Bool	false	Nicht remanent
Output			
InOut			
Static			
Temp			
Constant			

Auto_mode [FB1]

Auto_mode Eigenschaften

Allgemein

Name	Auto_mode	Nummer	1	Typ	FB	Sprache	SCL
Nummerierung	Automatisch						

Information

Titel		Autor		Kommentar		Familie	
Version	0.1	Anwenderdefinierte ID					

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
S40	Bool	false	Nicht remanent
S41	Bool	false	Nicht remanent
S42	Bool	false	Nicht remanent
S43	Bool	false	Nicht remanent
S44	Bool	false	Nicht remanent
S45	Bool	false	Nicht remanent
S46	Bool	false	Nicht remanent
S47	Bool	false	Nicht remanent
S48	Bool	false	Nicht remanent
S49	Bool	false	Nicht remanent
S50	Bool	false	Nicht remanent
S51	Bool	false	Nicht remanent
S52	Bool	false	Nicht remanent
S53	Bool	false	Nicht remanent
S54	Bool	false	Nicht remanent
S55	Bool	false	Nicht remanent
S56	Bool	false	Nicht remanent
S57	Bool	false	Nicht remanent
S58	Bool	false	Nicht remanent
S59	Bool	false	Nicht remanent
S60	Bool	false	Nicht remanent
S61	Bool	false	Nicht remanent
S62	Bool	false	Nicht remanent
S63	Bool	false	Nicht remanent
S64	Bool	false	Nicht remanent
S65	Bool	false	Nicht remanent
S66	Bool	false	Nicht remanent
S67	Bool	false	Nicht remanent
S70	Bool	false	Nicht remanent
S71	Bool	false	Nicht remanent
S72	Bool	false	Nicht remanent
timer1	Bool	false	Nicht remanent
timer2	Bool	false	Nicht remanent
timer3	Bool	false	Nicht remanent
timer4	Bool	false	Nicht remanent
timer5	Bool	false	Nicht remanent
timer6	Bool	false	Nicht remanent
timer7	Bool	false	Nicht remanent
Temp			
Constant			

```

0001 // Automatic process SIPN 1.0
0002
0003
0004 //T40
0005 "IEC_Timer_0_DB".TON(IN := "Input_mapping_DB".I_start_button,
0006     PT := t#3s,
0007     Q => #timer6);
0008
0009 IF #S40 AND NOT #S41 AND #timer6 THEN
0010     #S40 := 0;
0011     #S41 := 1;
0012
0013 //delete all manual marks
0014 "Manual_mode_DB".S11 := 0;
0015 "Manual_mode_DB".S12 := 0;
0016 "Manual_mode_DB".S13 := 0;
0017 "Manual_mode_DB".S14 := 0;
0018 "Manual_mode_DB".S15 := 0;
0019 "Manual_mode_DB".S16 := 0;
0020 "Manual_mode_DB".S17 := 0;
0021 "Manual_mode_DB".S18 := 0;
0022 "Manual_mode_DB".S19 := 0;
0023 "Manual_mode_DB".S20 := 0;
0024 "Manual_mode_DB".S21 := 0;
0025 "Manual_mode_DB".S22 := 0;

```

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0026 "Manual_mode_DB".S23 := 0; 0027 "Manual_mode_DB".S24 := 0; 0028 "Manual_mode_DB".S25 := 0; 0029 "Manual_mode_DB".S26 := 0; 0030 "Manual_mode_DB".S27 := 0; 0031 "Manual_mode_DB".S28 := 0; 0032 "Manual_mode_DB".S29 := 0; 0033 "Manual_mode_DB".S30 := 0; 0034 "Manual_mode_DB".S31 := 0; 0035 "Manual_mode_DB".S32 := 0; 0036 "Manual_mode_DB".S33 := 0; 0037 "Manual_mode_DB".S34 := 0; 0038 "Manual_mode_DB".S35 := 0; 0039 END_IF; 0040 0041 //T41 0042 IF #S41 AND NOT #S42 AND "Calculation_DB".amount1_reached THEN 0043 #S41 := 0; 0044 #S42 := 1; 0045 END_IF; 0046 0047 //T42 0048 "IEC_Timer_0_DB_2".TON(IN:="Input_mapping_DB".I_continue_button, 0049 PT:=t#3s, 0050 Q=>#timer4); 0051 IF #S42 AND NOT #S43 AND NOT #S70 AND #timer4 THEN 0052 #S42 := 0; 0053 #S43 := 1; 0054 #S70 := 1; 0055 END_IF; 0056 0057 //T43 0058 IF #S43 AND NOT #S44 AND NOT #S45 AND NOT #S46 AND "Input_mapping_DB".I_pressure_sensor_spl THEN 0059 #S43 := 0; 0060 #S44 := 1; 0061 #S45 := 1; 0062 #S46 := 1; 0063 END_IF; 0064 0065 //T44 0066 IF #S44 AND NOT #S47 AND "RS485_communication_DB".Speed_reached_high_shear AND "RS485_communica- 0067 tion_DB".Speed_reached_slow_steering THEN 0068 #S44 := 0; 0069 #S47 := 1; 0070 END_IF; 0071 0072 //T45 0073 IF #S47 AND NOT #S48 AND "Input_mapping_DB".I_stop_mixing_button THEN 0074 #S47 := 0; 0075 #S48 := 1; 0076 END_IF; 0077 0078 //T46 0079 IF #S48 AND NOT #S47 AND "Input_mapping_DB".I_start_mixing_button THEN 0080 #S47 := 1; 0081 #S48 := 0; 0082 END_IF; 0083 0084 //T47 0085 IF #S47 AND NOT #S49 AND #timer4 THEN 0086 #S47 := 0; 0087 #S49 := 1; 0088 END_IF; 0089 0090 //T48 0091 IF #S49 AND NOT #S50 AND (("Calculation_DB".Flavor_check AND "Calculation_DB".amount2_reached) OR (NOT "Calcula- 0092 tion_DB".Flavor_check AND "Calculation_DB".amount3_reached)) THEN 0093 #S49 := 0; 0094 #S50 := 1; 0095 END_IF; 0096 0097 //T49 0098 "IEC_Timer_Auto_Homogenising".TON(IN:=#S50, 0099 PT:= "Calculation_DB".Homogenising_time_conv, 0100 Q=>#timer5); 0101 IF #S50 AND NOT #S51 AND #timer5 THEN 0102 #S50 := 0; 0103 #S51 := 1; 0104 END_IF; 0105 0106 //T50 0107 "IEC_Timer_Auto_Ultrasound".TON(IN:=#S51, 0108 PT:="Calculation_DB".Ultrasound_mixing_time_conv, 0109 Q=>#timer2); 0110 IF #S51 AND #S45 AND NOT #S52 AND #timer2 AND "Calculation_DB".Flavor_check THEN 0111 #S51 := 0; </pre>		

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0112 #S45 := 0; 0113 #S52 := 1; 0114 END_IF; 0115 0116 //T51 0117 IF #S51 AND #S45 AND NOT #S53 AND #timer2 AND NOT "Calculation_DB".Flavor_check THEN 0118 #S51 := 0; 0119 #S45 := 0; 0120 #S70 := 0; 0121 #S71 := 0; 0122 #S72 := 0; 0123 #S53 := 1; 0124 END_IF; 0125 0126 //T52 0127 IF #S52 AND NOT #S53 AND #timer4 THEN 0128 #S52 := 0; 0129 #S70 := 0; 0130 #S71 := 0; 0131 #S72 := 0; 0132 #S53 := 1; 0133 END_IF; 0134 0135 //T53 0136 "IEC_Timer_0_DB_1".TON(IN := #S53, 0137 PT := t#120s, 0138 Q => #timer7); 0139 IF #S53 AND NOT #S54 AND #timer7 AND NOT "Input_mapping_DB".I_pressure_sensor_sp2 THEN 0140 #S53 := 0; 0141 #S54 := 1; 0142 END_IF; 0143 0144 //T54 0145 IF #S54 AND NOT #S55 AND "Calculation_DB".amount3_reached THEN 0146 #S54 := 0; 0147 #S55 := 1; 0148 END_IF; 0149 0150 //T55 0151 "IEC_Timer_Auto_Flavor_mixing".TON(IN:=#S55, 0152 PT:="Calculation_DB".Flavor_mixing_time_conv, 0153 Q=>#timer3); 0154 0155 IF #S55 AND NOT #S52 AND #timer3 THEN 0156 #S55 := 0; 0157 #S56 := 1; 0158 END_IF; 0159 0160 //T56 0161 IF #S56 AND NOT #S57 THEN 0162 #S56 := 0; 0163 #S57 := 1; 0164 END_IF; 0165 0166 //T57 0167 IF #S57 AND NOT #S58 AND "Calculation_DB".Radar_Amount_real <= 20.0 THEN 0168 #S57 := 0; 0169 #S58 := 1; 0170 END_IF; 0171 0172 //T58 0173 IF #S58 AND NOT #S59 AND "Input_mapping_DB".I_start_clean_button THEN 0174 #S58 := 0; 0175 #S59 := 1; 0176 END_IF; 0177 0178 //T59 0179 IF #S59 AND NOT #S60 AND "Input_mapping_DB".I_pressure_sensor_sp2 THEN 0180 #S59 := 0; 0181 #S60 := 1; 0182 END_IF; 0183 0184 //T60 0185 IF #S60 AND NOT #S59 AND "Calculation_DB".Radar_Amount_real <= 5.0 THEN 0186 #S60 := 0; 0187 #S59 := 1; 0188 END_IF; 0189 //T61 0190 IF #S59 AND NOT #S40 AND #S46 AND "Input_mapping_DB".I_clean_done_button THEN 0191 #S46 := 0; 0192 #S59 := 0; 0193 #S40 := 1; 0194 END_IF; 0195 0196 //Vacuum System PED 1.1 0197 //T60 0198 IF #S70 AND NOT #S71 AND NOT #S72 AND NOT "Input_mapping_DB".I_pressure_sensor_sp1 THEN 0199 #S70 := 0; </pre>		

Totally Integrated Automation Portal		
<pre>0200 #S71 := 1; 0201 #S72 := 1; 0202 END_IF; 0203 0204 IF #S71 AND #S72 AND "Input_mapping_DB".I_pressure_sensor_sp1 THEN 0205 #S71 := 0; 0206 #S72 := 0; 0207 #S70 := 1; 0208 END_IF; 0209 0210 0211 0212 0213 0214 0215 0216 0217 0218</pre>		

Manual_mode [FB3]

Manual_mode Eigenschaften

Allgemein							
Name	Manual_mode	Nummer	3	Typ	FB	Sprache	SCL
Nummerierung	Automatisch						

Information

Information							
Titel	Version	Autor	Anwenderdefinierte ID	Kommentar	Familie		
	0.1						

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
S10	Bool	false	Nicht remanent
S11	Bool	false	Nicht remanent
S12	Bool	false	Nicht remanent
S13	Bool	false	Nicht remanent
S14	Bool	false	Nicht remanent
S15	Bool	false	Nicht remanent
S16	Bool	false	Nicht remanent
S17	Bool	false	Nicht remanent
S18	Bool	false	Nicht remanent
S19	Bool	false	Nicht remanent
S20	Bool	false	Nicht remanent
S21	Bool	false	Nicht remanent
S22	Bool	false	Nicht remanent
S23	Bool	false	Nicht remanent
S24	Bool	false	Nicht remanent
S25	Bool	false	Nicht remanent
S26	Bool	false	Nicht remanent
S27	Bool	false	Nicht remanent
S28	Bool	false	Nicht remanent
S29	Bool	false	Nicht remanent
S30	Bool	false	Nicht remanent
S31	Bool	false	Nicht remanent
S32	Bool	false	Nicht remanent
S33	Bool	false	Nicht remanent
S34	Bool	false	Nicht remanent
S35	Bool	false	Nicht remanent
S36	Bool	false	Nicht remanent
S37	Bool	false	Nicht remanent
timer10	Bool	false	Nicht remanent
Temp			
Constant			

```

0001 //Manual-mode SIPN 1.2
0002
0003 //T6
0004 IF #S10 AND NOT #S11 AND NOT #S14 AND NOT #S16 AND NOT #S18 AND NOT #S22 AND NOT #S24 AND NOT #S26 AND NOT #S28 AND NOT
#S30 AND NOT #S32 AND NOT #S34 AND NOT #S36 THEN
0005   #S10 := 0;
0006   #S11 := 1;
0007   #S14 := 1;
0008   #S16 := 1;
0009   #S18 := 1;
0010   #S22 := 1;
0011   #S24 := 1;
0012   #S26 := 1;
0013   #S28 := 1;
0014   #S30 := 1;
0015   #S32 := 1;
0016   #S34 := 1;
0017   #S36 := 1;
0018 END_IF;
0019
0020 // T7
0021 IF #S11 AND NOT #S12 AND NOT #S13 AND "Input_mapping_DB".I_vacuum_pump_switch AND NOT "Input_mapping_DB".I_pres-
sure_sensor_sp1 THEN
0022   #S11 := 0;
0023   #S12 := 1;
0024   #S13 := 1;
0025 END_IF;
0026
0027 // T8
0028 IF #S12 AND #S13 AND NOT #S11 AND (NOT "Input_mapping_DB".I_vacuum_pump_switch OR "Input_mapping_DB".I_pressure_sen-
sor_sp1) THEN
0029   #S12 := 0;
0030   #S13 := 0;
0031   #S11 := 1;

```

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0032 END_IF; 0033 0034 // T9 0035 IF #S14 AND NOT #S15 AND "Input_mapping_DB".I_high_shear_motor_switch THEN 0036 #S14 := 0; 0037 #S15 := 1; 0038 END_IF; 0039 0040 // T10 0041 IF #S15 AND NOT #S14 AND NOT "Input_mapping_DB".I_high_shear_motor_switch THEN 0042 #S15 := 0; 0043 #S14 := 1; 0044 END_IF; 0045 0046 // T11 0047 IF #S16 AND NOT #S17 AND "Input_mapping_DB".I_low_steering_motor_switch THEN 0048 #S16 := 0; 0049 #S17 := 1; 0050 END_IF; 0051 0052 // T12 0053 IF #S17 AND NOT #S16 AND NOT "Input_mapping_DB".I_low_steering_motor_switch THEN 0054 #S17 := 0; 0055 #S16 := 1; 0056 END_IF; 0057 0058 // T13 0059 IF #S18 AND NOT #S19 AND "Input_mapping_DB".I_heating_switch THEN 0060 #S18 := 0; 0061 #S19 := 1; 0062 END_IF; 0063 0064 // T14 0065 IF #S19 AND NOT #S18 AND "Input_mapping_DB".I_heater_cancel THEN 0066 #S19 := 0; 0067 #S18 := 1; 0068 END_IF; 0069 0070 // T15 0071 IF #S19 AND NOT #S20 AND "Input_mapping_DB".I_heater_start THEN 0072 #S19 := 0; 0073 #S20 := 1; 0074 END_IF; 0075 0076 // T16 0077 IF #S20 AND NOT #S21 AND "Calculation_DB".Temperature_real >= "Input_mapping_DB".I_manual_target_temperature THEN 0078 #S20 := 0; 0079 #S21 := 1; 0080 END_IF; 0081 0082 // T17 0083 IF #S21 AND NOT #S20 AND "Calculation_DB".Temperature_real < ("Input_mapping_DB".I_manual_target_temperature - "Input_mapping_DB".I_Temperature_hys) THEN 0084 #S21 := 0; 0085 #S20 := 1; 0086 END_IF; 0087 0088 // T18 0089 IF #S20 AND NOT #S18 AND NOT "Input_mapping_DB".I_heating_switch THEN 0090 #S20 := 0; 0091 #S18 := 1; 0092 END_IF; 0093 0094 // T19 0095 IF #S22 AND NOT #S23 AND "Input_mapping_DB".I_heating_valve1_switch THEN 0096 #S22 := 0; 0097 #S23 := 1; 0098 END_IF; 0099 0100 // T20 0101 IF #S23 AND NOT #S22 AND NOT "Input_mapping_DB".I_heating_valve1_switch THEN 0102 #S23 := 0; 0103 #S22 := 1; 0104 END_IF; 0105 0106 // T21 0107 IF #S24 AND NOT #S25 AND "Input_mapping_DB".I_heating_valve2_switch THEN 0108 #S24 := 0; 0109 #S25 := 1; 0110 END_IF; 0111 0112 // T22 0113 IF #S25 AND NOT #S24 AND NOT "Input_mapping_DB".I_heating_valve2_switch THEN 0114 #S25 := 0; 0115 #S24 := 1; 0116 END_IF; 0117 0118 // T23 </pre>		

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0119 IF #S26 AND NOT #S27 AND "Input_mapping_DB".I_ultrasound_switch THEN 0120 #S26 := 0; 0121 #S27 := 1; 0122 END_IF; 0123 0124 //T24 0125 "IEC_Timer_Manual_Ultrasound".TON(IN := #S27, 0126 PT := "Calculation_DB".Ultrasound_manual_mixing_time_conv, 0127 Q => #timer10); 0128 0129 IF #S27 AND NOT #S26 AND (NOT "Input_mapping_DB".I_ultrasound_switch OR #timer10) THEN 0130 #S27 := 0; 0131 #S26 := 1; 0132 END_IF; 0133 0134 //T25 0135 IF #S28 AND NOT #S29 AND "Input_mapping_DB".I_water_inlet_start AND ("Calculation_DB".current_amount < "Input_map- 0136 ping_DB".I_manual_target_amount) THEN 0137 #S28 := 0; 0138 #S29 := 1; 0139 END_IF; 0140 0141 //T26 0142 IF #S29 AND NOT #S28 AND ("Input_mapping_DB".I_water_inlet_stop OR ("Calculation_DB".current_amount >= "Input_map- 0143 ping_DB".I_manual_target_amount)) THEN 0144 #S29 := 0; 0145 #S28 := 1; 0146 END_IF; 0147 0148 //T27 0149 IF #S30 AND NOT #S31 AND "Input_mapping_DB".I_powder_inlet_valve_switch THEN 0150 #S30 := 0; 0151 #S31 := 1; 0152 END_IF; 0153 0154 //T28 0155 IF #S31 AND NOT #S30 AND NOT "Input_mapping_DB".I_powder_inlet_valve_switch THEN 0156 #S31 := 0; 0157 #S30 := 1; 0158 END_IF; 0159 0160 //T29 0161 IF #S32 AND NOT #S33 AND "Input_mapping_DB".I_comp_air_valve_switch THEN 0162 #S32 := 0; 0163 #S33 := 1; 0164 END_IF; 0165 0166 //T30 0167 IF #S33 AND NOT #S32 AND NOT "Input_mapping_DB".I_comp_air_valve_switch THEN 0168 #S33 := 0; 0169 #S32 := 1; 0170 END_IF; 0171 0172 //T31 0173 IF #S34 AND NOT #S35 AND "Input_mapping_DB".I_vacuum_release_valve_switch THEN 0174 #S34 := 0; 0175 #S35 := 1; 0176 END_IF; 0177 0178 //T32 0179 IF #S35 AND NOT #S34 AND NOT "Input_mapping_DB".I_vacuum_release_valve_switch THEN 0180 #S35 := 0; 0181 #S34 := 1; 0182 END_IF; 0183 0184 //T33 0185 IF #S36 AND NOT #S37 AND "Input_mapping_DB".I_tanklight_switch THEN 0186 #S36 := 0; 0187 #S37 := 1; 0188 END_IF; 0189 0190 //T34 0191 IF #S37 AND NOT #S36 AND NOT "Input_mapping_DB".I_tanklight_switch THEN 0192 #S37 := 0; 0193 #S36 := 1; 0194 END_IF; 0195 0196 </pre>		

Operating_head [FB2]

Operating_head Eigenschaften

Allgemein							
Name	Operating_head	Nummer	2	Typ	FB	Sprache	SCL
Nummerierung	Automatisch						

Information

Information							
Titel	Version	Autor	Anwenderdefinierte ID	Kommentar	Familie		
	0.1						

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
S0	Bool	false	Nicht remanent
S1	Bool	false	Nicht remanent
S2	Bool	false	Nicht remanent
S3	Bool	false	Nicht remanent
S4	Bool	false	Nicht remanent
S5	Bool	false	Nicht remanent
S6	Bool	false	Nicht remanent
S10	Bool	false	Nicht remanent
timer7	Bool	false	Nicht remanent
Temp			
Constant			

```

0001 //Operating head SIPN 0.0
0002
0003 IF NOT #S1 AND NOT #S2 AND NOT #S3 AND NOT #S5 AND NOT #S10 AND NOT "Auto_mode_DB".S40 THEN
0004   #S0 := 1;
0005 ELSE
0006   #S0 := 0;
0007 END_IF;
0008
0009 //T0
0010 IF #S0 AND NOT #S1 AND NOT "Failure_Handling_DB".System_Fault THEN
0011   #S0 := 0;
0012   #S1 := 1;
0013 END_IF;
0014
0015 //T1
0016 IF (#S1 AND NOT #S3) OR ("Auto_mode_DB".S40 AND #S3) AND NOT #S2 AND NOT "Manual_mode_DB".S10 AND "Input_map-
ping_DB".I_manual_auto_switch THEN
0017   #S1 := 0;
0018   "Auto_mode_DB".S40 := 0;
0019   #S4 := 0;
0020   #S5 := 0;
0021   #S6 := 0;
0022   "Manual_mode_DB".S10 := 1;
0023   #S2 := 1;
0024   #S3 := 1;
0025
0026 //delete all auto marks
0027 "Auto_mode_DB".S41 := 0;
0028 "Auto_mode_DB".S42 := 0;
0029 "Auto_mode_DB".S43 := 0;
0030 "Auto_mode_DB".S44 := 0;
0031 "Auto_mode_DB".S45 := 0;
0032 "Auto_mode_DB".S45 := 0;
0033 "Auto_mode_DB".S45 := 0;
0034 "Auto_mode_DB".S45 := 0;
0035 "Auto_mode_DB".S46 := 0;
0036 "Auto_mode_DB".S47 := 0;
0037 "Auto_mode_DB".S48 := 0;
0038 "Auto_mode_DB".S49 := 0;
0039 "Auto_mode_DB".S50 := 0;
0040 "Auto_mode_DB".S51 := 0;
0041 "Auto_mode_DB".S52 := 0;
0042 "Auto_mode_DB".S53 := 0;
0043 "Auto_mode_DB".S54 := 0;
0044 "Auto_mode_DB".S55 := 0;
0045 "Auto_mode_DB".S56 := 0;
0046 "Auto_mode_DB".S57 := 0;
0047 "Auto_mode_DB".S58 := 0;
0048 "Auto_mode_DB".S59 := 0;
0049 "Auto_mode_DB".S60 := 0;
0050 "Auto_mode_DB".S70 := 0;
0051 "Auto_mode_DB".S71 := 0;
0052 "Auto_mode_DB".S72 := 0;
0053 #S4 := 0;
0054 #S5 := 0;
0055
0056 END_IF;

```

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0057 0058 //t2 0059 IF (#S1 AND NOT #S3) OR (#S2 AND #S3) AND NOT "Auto_mode_DB".S40 AND NOT #S4 AND NOT "Input_mapping_DB".I_manual_au- to_switch THEN 0060 #S1 := 0; 0061 #S2 := 0; 0062 "Manual_mode_DB".S10 := 0; 0063 #S3 := 1; 0064 #S4 := 1; 0065 "Auto_mode_DB".S40 := 1; 0066 0067 END_IF; 0068 0069 //t3 0070 "IEC_Timer_0_DB_3".TON(IN := "Input_mapping_DB".I_abort_button, 0071 PT := t#3s, 0072 Q => #timer7); 0073 0074 IF #S3 AND NOT #S0 AND ("Failure_Handling_DB".System_Fault OR #timer7) THEN 0075 #S2 := 0; 0076 #S3 := 0; 0077 #S4 := 0; 0078 #S5 := 0; 0079 #S6 := 0; 0080 "Manual_mode_DB".S10 := 0; 0081 "Auto_mode_DB".S40 := 0; 0082 0083 #S0 := 1; 0084 0085 //delete all auto marks 0086 "Auto_mode_DB".S41 := 0; 0087 "Auto_mode_DB".S42 := 0; 0088 "Auto_mode_DB".S43 := 0; 0089 "Auto_mode_DB".S44 := 0; 0090 "Auto_mode_DB".S45 := 0; 0091 "Auto_mode_DB".S45 := 0; 0092 "Auto_mode_DB".S45 := 0; 0093 "Auto_mode_DB".S45 := 0; 0094 "Auto_mode_DB".S46 := 0; 0095 "Auto_mode_DB".S47 := 0; 0096 "Auto_mode_DB".S48 := 0; 0097 "Auto_mode_DB".S49 := 0; 0098 "Auto_mode_DB".S50 := 0; 0099 "Auto_mode_DB".S51 := 0; 0100 "Auto_mode_DB".S52 := 0; 0101 "Auto_mode_DB".S53 := 0; 0102 "Auto_mode_DB".S54 := 0; 0103 "Auto_mode_DB".S55 := 0; 0104 "Auto_mode_DB".S56 := 0; 0105 "Auto_mode_DB".S57 := 0; 0106 "Auto_mode_DB".S58 := 0; 0107 "Auto_mode_DB".S59 := 0; 0108 "Auto_mode_DB".S60 := 0; 0109 "Auto_mode_DB".S70 := 0; 0110 "Auto_mode_DB".S71 := 0; 0111 "Auto_mode_DB".S72 := 0; 0112 #S4 := 0; 0113 #S5 := 0; 0114 0115 //delete all manual marks 0116 "Manual_mode_DB".S11 := 0; 0117 "Manual_mode_DB".S12 := 0; 0118 "Manual_mode_DB".S13 := 0; 0119 "Manual_mode_DB".S14 := 0; 0120 "Manual_mode_DB".S15 := 0; 0121 "Manual_mode_DB".S16 := 0; 0122 "Manual_mode_DB".S17 := 0; 0123 "Manual_mode_DB".S18 := 0; 0124 "Manual_mode_DB".S19 := 0; 0125 "Manual_mode_DB".S20 := 0; 0126 "Manual_mode_DB".S21 := 0; 0127 "Manual_mode_DB".S22 := 0; 0128 "Manual_mode_DB".S23 := 0; 0129 "Manual_mode_DB".S24 := 0; 0130 "Manual_mode_DB".S25 := 0; 0131 "Manual_mode_DB".S26 := 0; 0132 "Manual_mode_DB".S27 := 0; 0133 "Manual_mode_DB".S28 := 0; 0134 "Manual_mode_DB".S29 := 0; 0135 "Manual_mode_DB".S30 := 0; 0136 "Manual_mode_DB".S31 := 0; 0137 "Manual_mode_DB".S32 := 0; 0138 "Manual_mode_DB".S33 := 0; 0139 "Manual_mode_DB".S34 := 0; 0140 "Manual_mode_DB".S35 := 0; 0141 "Manual_mode_DB".S36 := 0; 0142 "Manual_mode_DB".S37 := 0; 0143 </pre>		

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0144 //Turn all manual switches off 0145 "Input_mapping_DB".I_comp_air_valve_switch := 0; 0146 "Input_mapping_DB".I_heating_switch := 0; 0147 "Input_mapping_DB".I_heating_valve1_switch := 0; 0148 "Input_mapping_DB".I_heating_valve2_switch := 0; 0149 "Input_mapping_DB".I_high_shear_motor_switch := 0; 0150 "Input_mapping_DB".I_low_steering_motor_switch := 0; 0151 "Input_mapping_DB".I_powder_inlet_valve_switch := 0; 0152 "Input_mapping_DB".I_tanklight_switch := 0; 0153 "Input_mapping_DB".I_ultrasound_switch := 0; 0154 "Input_mapping_DB".I_vacuum_pump_switch := 0; 0155 "Input_mapping_DB".I_vacuum_release_valve_switch := 0; 0156 0157 END_IF; 0158 0159 0160 //r4 0161 IF #S4 AND NOT #S5 AND "Input_mapping_DB".I_tanklight_switch THEN 0162 #S4 := 0; 0163 #S5 := 1; 0164 END_IF; 0165 0166 //r5 0167 IF #S5 AND NOT #S4 AND NOT "Input_mapping_DB".I_tanklight_switch THEN 0168 #S4 := 1; 0169 #S5 := 0; 0170 END_IF; 0171 0172 0173 0174 0175 0176 0177 0178 0179 </pre>		

Output_mapping [FB4]

Output_mapping Eigenschaften

Allgemein							
Name	Output_mapping	Nummer	4	Typ	FB	Sprache	SCL
Nummerierung	Automatisch						

Information

Information							
Titel	Version	Autor	Anwenderdefinierte ID	Kommentar	Familie		
	0.1						

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
Input			
▼ Output			
O_high_shear_motor	Bool	false	Nicht remanent
O_slow_steering_motor	Bool	false	Nicht remanent
O_vacuum_pump	Bool	false	Nicht remanent
O_ultra_sonic	Bool	false	Nicht remanent
O_heating	Bool	false	Nicht remanent
O_tanklight	Bool	false	Nicht remanent
O_signal_green	Bool	false	Nicht remanent
O_signal_yellow	Bool	false	Nicht remanent
O_signal_red	Bool	false	Nicht remanent
O_water_inlet_valve	Bool	false	Nicht remanent
O_main_valve	Bool	false	Nicht remanent
O_vacuum_inlet_valve	Bool	false	Nicht remanent
O_vacuum_release_valve	Bool	false	Nicht remanent
O_heating_valve1	Bool	false	Nicht remanent
O_heating_valve2	Bool	false	Nicht remanent
O_comp_air_valve	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_filling	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_premixing	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_homogenize_processing	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_ultrasound_processing	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_flavor_mixing_processing	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_ready_to_dispense	Bool	false	Nicht remanent
O_progress_cleaning_processing	Bool	false	Nicht remanent
O_premix_start_stop	Bool	false	Nicht remanent
O_add_flavor	Bool	false	Nicht remanent
O_add_ingredients	Bool	false	Nicht remanent
O_open_main_valve	Bool	false	Nicht remanent
InOut			
Static			
Temp			
Constant			

```

0001 //HMI Action Indicators
0002 #O_premix_start_stop := "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S48;
0003 #O_add_flavor := "Auto_mode_DB".S52;
0004 #O_add_ingredients := "Auto_mode_DB".S42;
0005 #O_open_main_valve := "Auto_mode_DB".S57;
0006
0007 //Output Mapping
0008 #O_signal_green := "Operating_head_DB".S2 OR ("Auto_mode_DB".S40 OR "Operating_head_DB".S10 OR "Auto_mode_DB".S57) AND "Clock_0.5Hz" OR (NOT "Auto_mode_DB".S40 AND NOT "Operating_head_DB".S2 AND "Operating_head_DB".S3 AND NOT "Auto_mode_DB".S57);
0009 #O_signal_yellow := ((#O_add_flavor OR #O_add_ingredients OR #O_premix_start_stop) AND "Clock_0.5Hz") OR "Auto_mode_DB".S58;
0010 #O_signal_red := "Failure_Handling_DB".System_Fault;
0011 #O_water_inlet_valve := "Auto_mode_DB".S41 OR "Auto_mode_DB".S49 OR "Auto_mode_DB".S54 OR "Manual_mode_DB".S29;
0012 #O_vacuum_pump := "Auto_mode_DB".S72 OR "Manual_mode_DB".S12;
0013 #O_vacuum_inlet_valve := "Auto_mode_DB".S71 OR "Manual_mode_DB".S13;
0014 #O_high_shear_motor := "Auto_mode_DB".S45 OR "Manual_mode_DB".S15;
0015 #O_slow_steering_motor := "Auto_mode_DB".S46 OR "Manual_mode_DB".S17 OR "Auto_mode_DB".S59 OR "Auto_mode_DB".S60;
0016 #O_ultra_sonic := "Auto_mode_DB".S51 OR "Manual_mode_DB".S27;
0017 #O_vacuum_release_valve := "Auto_mode_DB".S53 OR "Auto_mode_DB".S60 OR "Manual_mode_DB".S35;
0018 #O_main_valve := "Manual_mode_DB".S31;
0019 #O_heating := "Manual_mode_DB".S20;
0020 #O_heating_valve1 := "Manual_mode_DB".S23;
0021 #O_heating_valve2 := "Manual_mode_DB".S25;
0022 #O_comp_air_valve := "Manual_mode_DB".S33;
0023 #O_tanklight := "Operating_head_DB".S5 OR "Manual_mode_DB".S37;
0024
0025 //Progress indicator
0026 #O_progress_filling := "Auto_mode_DB".S41;
0027 #O_progress_premixing := "Auto_mode_DB".S42 OR "Auto_mode_DB".S43 OR "Auto_mode_DB".S44 OR "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S48;
0028 #O_progress_homogenize_processing := "Auto_mode_DB".S49 OR "Auto_mode_DB".S50;
0029 #O_progress_ultrasound_processing := "Auto_mode_DB".S51;
0030 #O_progress_flavor_mixing_processing := "Auto_mode_DB".S52 OR "Auto_mode_DB".S53 OR "Auto_mode_DB".S54 OR "Auto_mode_DB".S55;
0031 #O_progress_ready_to_dispense := "Auto_mode_DB".S56 OR "Auto_mode_DB".S57 OR "Auto_mode_DB".S58;
0032 #O_progress_cleaning_processing := "Auto_mode_DB".S59 OR "Auto_mode_DB".S60;

```

Totally Integrated Automation Portal		
<pre> 0033 0034 //Frequency control 0035 IF "Manual_mode_DB".S15 THEN 0036 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Input_mapping_DB".I_manual_frequency_high_shear * 100; 0037 END_IF; 0038 0039 IF "Manual_mode_DB".S17 THEN 0040 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Input_mapping_DB".I_manual_frequency_slow_steering * 100; 0041 END_IF; 0042 0043 IF "Auto_mode_DB".S44 THEN 0044 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Parameter".High_shear_speed_1_Pre_mixing * 100; 0045 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Parameter".Slow_steering_speed_1_Pre_mixing * 100; 0046 END_IF; 0047 0048 IF "Auto_mode_DB".S47 THEN 0049 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Parameter".High_shear_speed_1_Pre_mixing * 100; 0050 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Parameter".Slow_steering_speed_1_Pre_mixing * 100; 0051 END_IF; 0052 0053 IF "Auto_mode_DB".S48 THEN 0054 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := 0; 0055 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := 0; 0056 END_IF; 0057 0058 IF "Auto_mode_DB".S50 THEN 0059 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Parameter".High_shear_speed_2_Homogenising * 100; 0060 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Parameter".Slow_steering_speed_2_Homogenising * 100; 0061 END_IF; 0062 0063 IF "Auto_mode_DB".S51 THEN 0064 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Parameter".High_shear_speed_3_Ultrasound * 100; 0065 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Parameter".Slow_steering_speed_3_Ultrasound * 100; 0066 END_IF; 0067 0068 IF "Auto_mode_DB".S55 THEN 0069 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := "Parameter".Slow_steering_speed_1_Pre_mixing * 100; 0070 "RS485_communication_DB".Target_frequency_High_shear := "Parameter".High_shear_speed_1_Pre_mixing * 100; 0071 END_IF; 0072 0073 IF "Auto_mode_DB".S59 THEN 0074 "RS485_communication_DB".Target_frequency_slow_steering := 10 * 100; 0075 END_IF; 0076 0077 //Flowmeter Counter Reset 0078 IF ("Operating_head_DB".S2 AND "Manual_mode_DB".S28 AND "Input_mapping_DB".I_Flow_Reset) OR "Auto_mode_DB".S47 OR "Auto_mode_DB".S53 OR "Auto_mode_DB".timer6 THEN 0079 "Calculation_DB".HSC_Reset := 1; 0080 END_IF; 0081 </pre>		

RS485_communication [FB5]

RS485_communication Eigenschaften

Allgemein

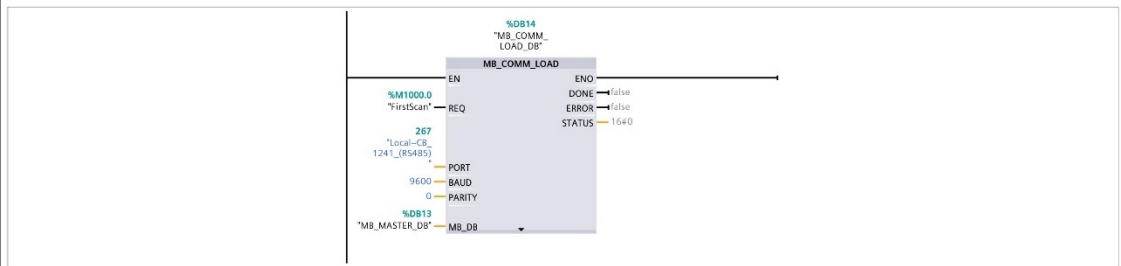
Name	RS485_communication	Nummer	5	Typ	FB	Sprache	KOP
Nummerierung	Automatisch						

Information

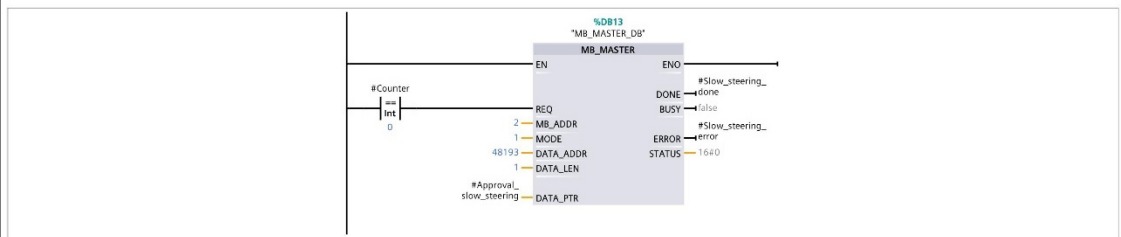
Titel		Autor		Kommentar		Familie	
Version	0.1	Anwenderdefinierte ID					

Name	Datentyp	Defaultwert
Input		
Output		
InOut		
▼ Static		
Target_frequency_slow_steering	Int	0
Target_frequency_High_shear	Int	0
Actual_frequency_slow_steering	Int	0
Actual_frequency_high_shear	Int	0
Speed_reached_high_shear	Bool	false
Speed_reached_slow_steering	Bool	false
Trace_frequency_slow	Int	0
Trace_frequency_high	Int	0
Approval_slow_steering	Word	0012
Approval_high_shear	Word	0012
Counter	Int	0
High_shear_error	Bool	false
Slow_steering_error	Bool	false
High_shear_done	Bool	false
Slow_steering_done	Bool	false
▼ Temp		
BUSY	Bool	
Constant		

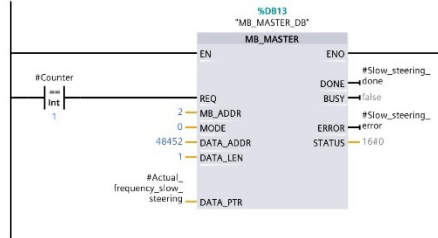
Netzwerk 1: Set Communication



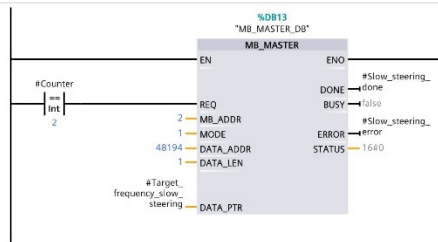
Netzwerk 2: Set approval for slow steering motor



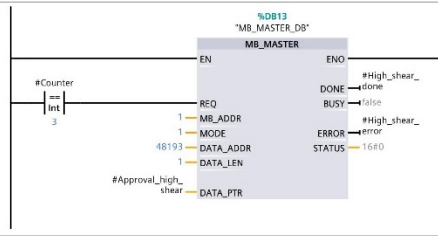
Netzwerk 3: Read actual frequency of slow steering motor



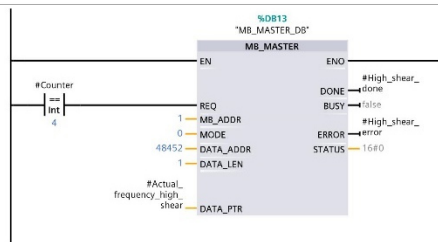
Netzwerk 4: Set target frequency of slow steering motor



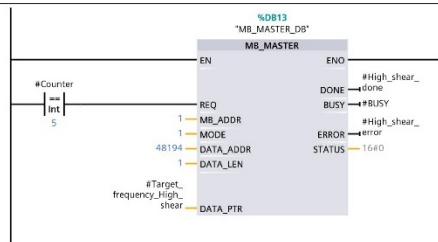
Netzwerk 5: Set approval for high shear motor



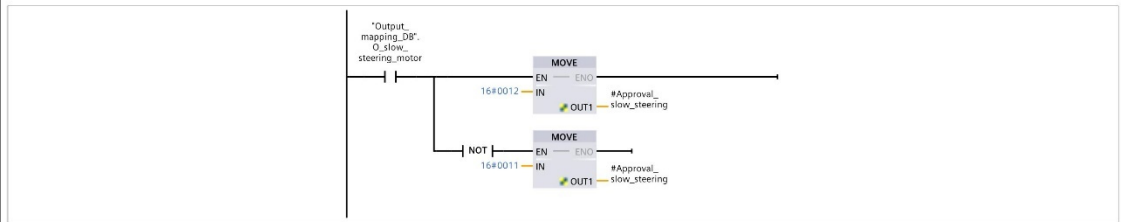
Netzwerk 6: Read actual frequency of high shear motor



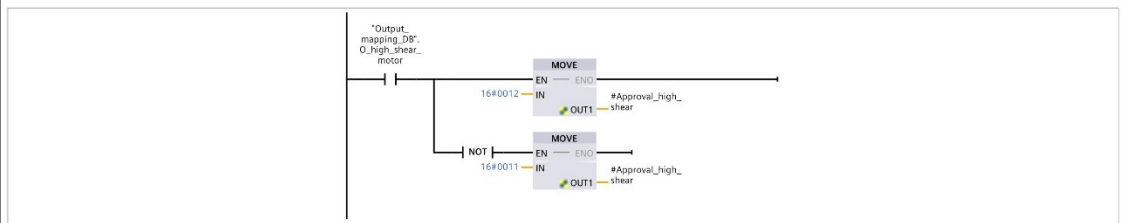
Netzwerk 7: Set target frequency of high shear motor



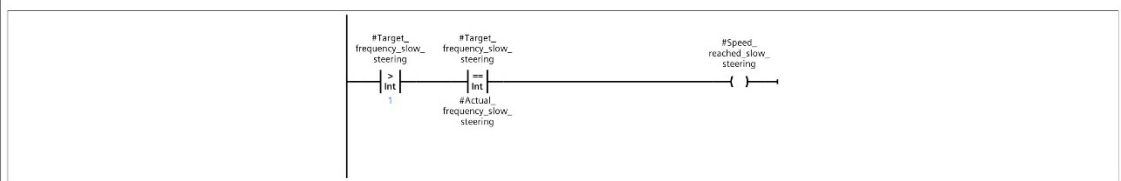
Netzwerk 8: Approval query slow steering



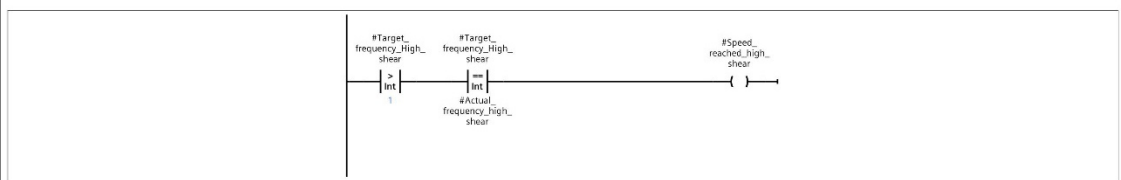
Netzwerk 9: Approval query high shear



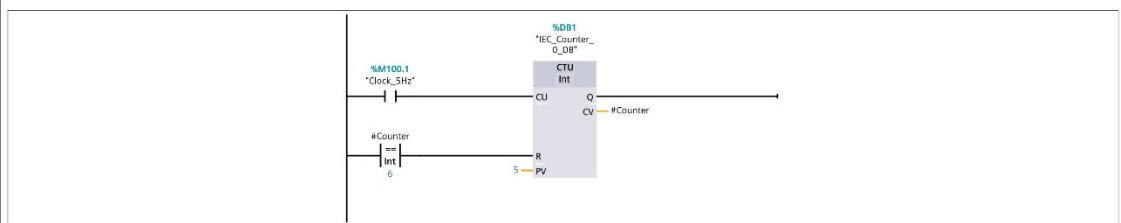
Netzwerk 10: Speed reached slow steering



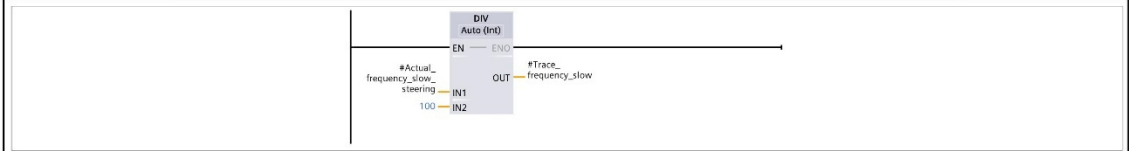
Netzwerk 11: Speed reached high shear



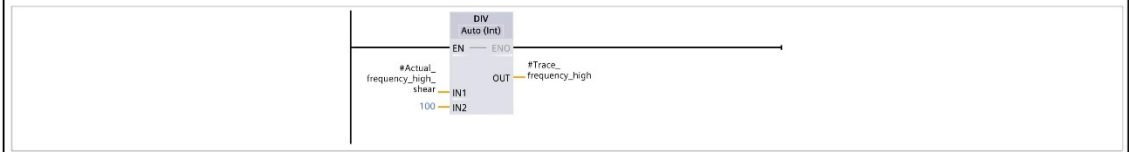
Netzwerk 12:



Netzwerk 13: Frequency division for displaying / slow steering



Netzwerk 14: Frequency division for displaying / high shear



Calculation [FB7]

Calculation Eigenschaften

Allgemein

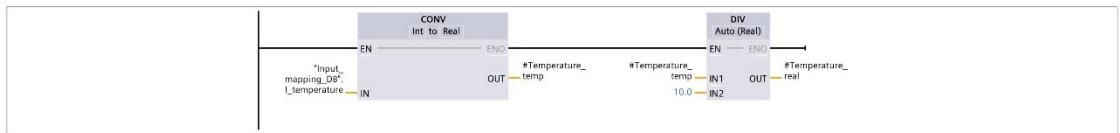
Name	Calculation	Nummer	7	Typ	FB	Sprache	KOP
Nummerierung	Automatisch						

Information

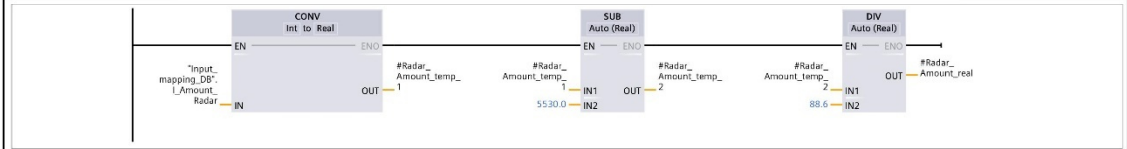
Titel		Autor		Kommentar		Familie	
Version	0.1	Anwenderdefinierte ID					

Name	Datentyp	Defaultwert	Remanenz
Input			
Output			
InOut			
▼ Static			
reset_amount	Bool	false	Nicht remanent
amount1_reached	Bool	false	Nicht remanent
amount2_reached	Bool	false	Nicht remanent
amount3_reached	Bool	false	Nicht remanent
amount_3	Real	0.0	Nicht remanent
amount_2	Real	0.0	Nicht remanent
amount_2_temp	Real	0.0	Nicht remanent
amount_1	Real	0.0	Nicht remanent
liter_per_pulse	Real	0.0	Nicht remanent
current_amount	Real	0.0	Nicht remanent
HSC_Flow_count	HSC_Count		Nicht remanent
Flavor_check	Bool	false	Nicht remanent
Homogenising_time_conv	Time	T#0ms	Nicht remanent
Ultrasound_mixing_time_conv	Time	T#0ms	Nicht remanent
Ultrasound_manual_mixing_time_conv	Time	T#0ms	Nicht remanent
Flavor_mixing_time_conv	Time	T#0ms	Nicht remanent
Homogenising_time_temp	Dint	0	Nicht remanent
Ultrasound_mixing_time_temp	Dint	0	Nicht remanent
Ultrasound_manual_mixing_time_temp	Dint	0	Nicht remanent
Flavor_mixing_time_temp	Dint	0	Nicht remanent
amount_1_temp	Real	0.0	Nicht remanent
Flavor_amount_buffer	Real	0.0	Nicht remanent
Flavor_amount	Real	0.0	Nicht remanent
Remaining_Manual_Ultrasound_Time	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Manual_Ultrasound_Temp	Dint	0	Nicht remanent
Temperature_temp	Real	0.0	Nicht remanent
Temperature_real	Real	0.0	Nicht remanent
Radar_Amount_temp_1	Real	0.0	Nicht remanent
Radar_Amount_temp_2	Real	0.0	Nicht remanent
Radar_Amount_real	Real	0.0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Ultrasound_Time	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Ultrasound_temp	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Homogenising_temp	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Homogenising_Time	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Slow_mixing_temp	Dint	0	Nicht remanent
Remaining_Auto_Slow_mixing_Time	Dint	0	Nicht remanent
Pos_Flanke	Bool	false	Nicht remanent
timer_amount_imp	Time	T#100ms	Nicht remanent
HSC_Reset	Bool	false	Nicht remanent
Temp			
▼ Constant			
pulse_per_liter	Real	208.0	

Netzwerk 1: Temperature conversion



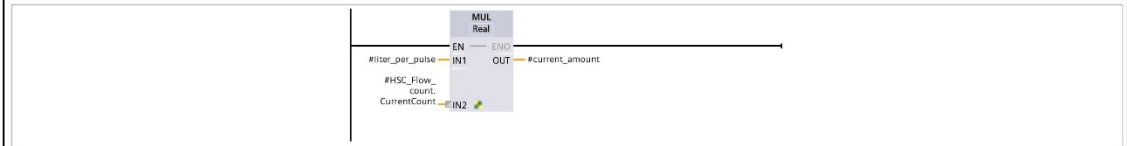
Netzwerk 2: Radar_Amount conversion



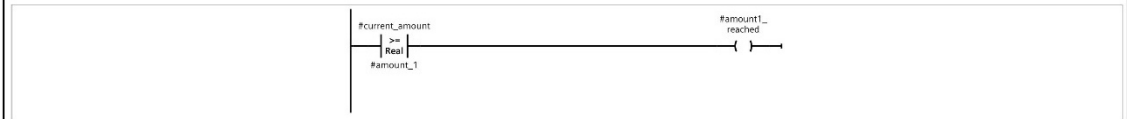
Netzwerk 3: Liter per pulse



Netzwerk 4: Amount in Total



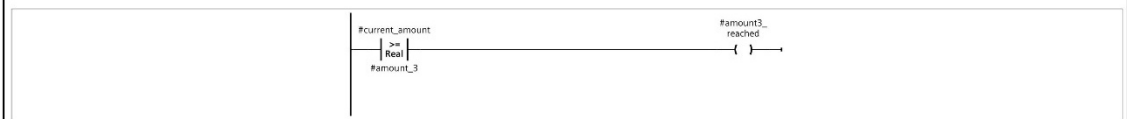
Netzwerk 5: Amount_1_reached



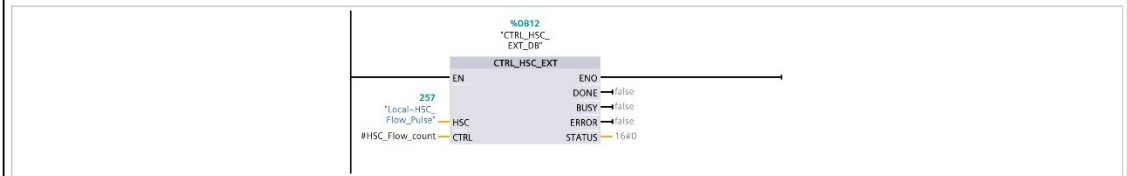
Netzwerk 6: Amount_2_reached



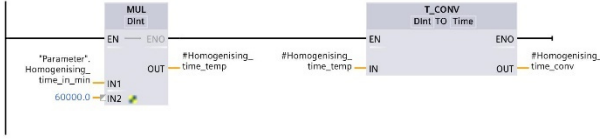
Netzwerk 7: Amount_3_reached



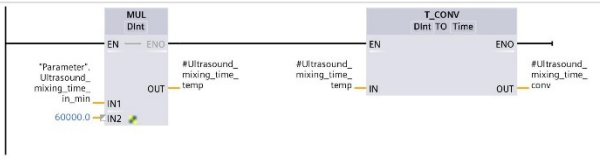
Netzwerk 8: Highspeed Pulse Counter



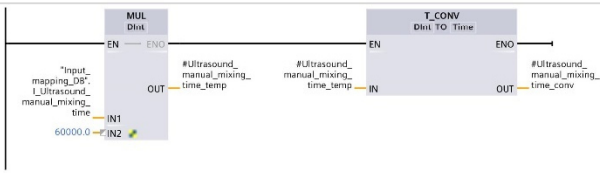
Netzwerk 9: Product_mixing_time conversion



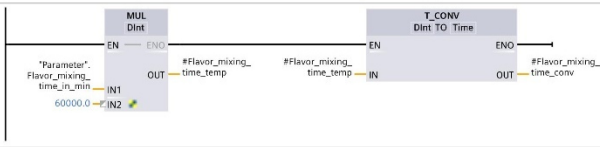
Netzwerk 10: Ultrasound_mixing_time conversion



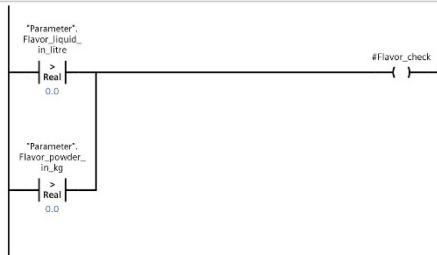
Netzwerk 11: Ultrasound_manual_mixing_time conversion



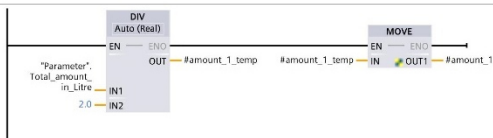
Netzwerk 12: Flavor_mixing_time conversion



Netzwerk 13: Flavor check

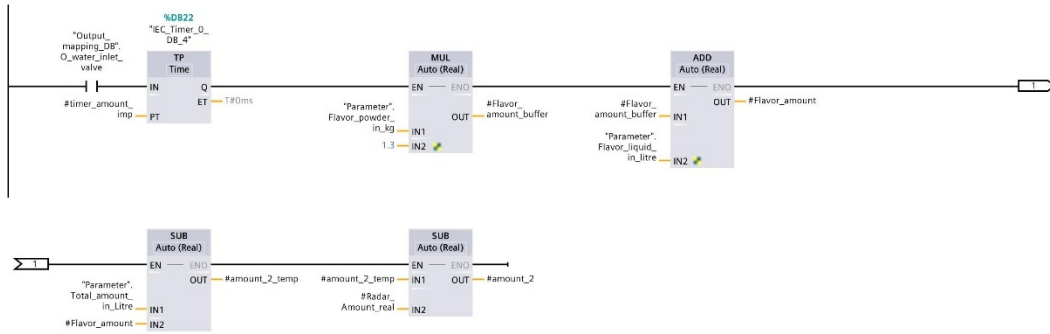


Netzwerk 14: Amount 1 calculation

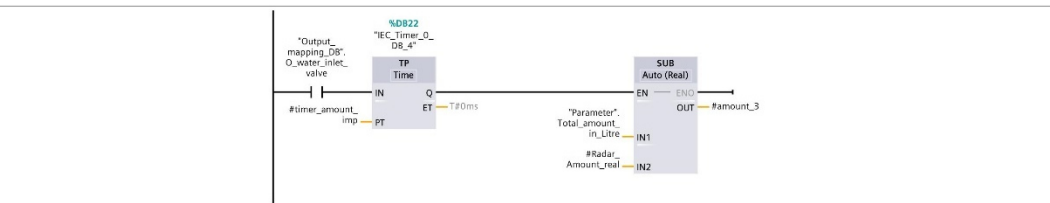


Netzwerk 15: Amount 2 calculation

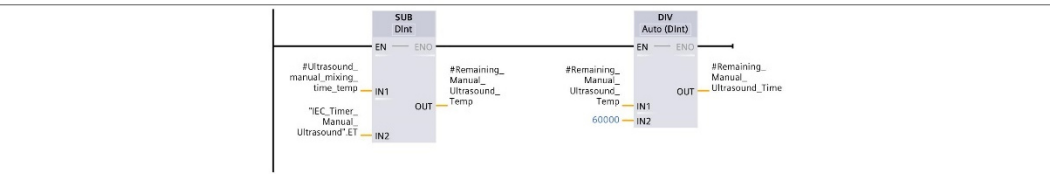
Netzwerk 15: Amount 2 calculation



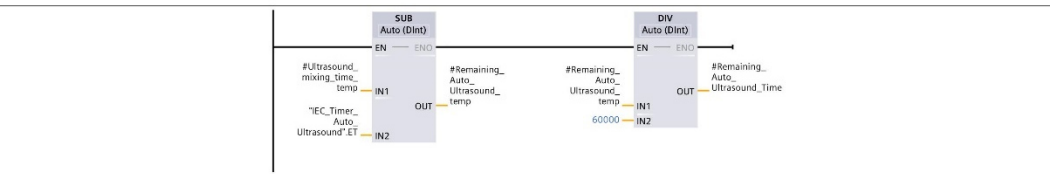
Netzwerk 16: Amount 3 calculation



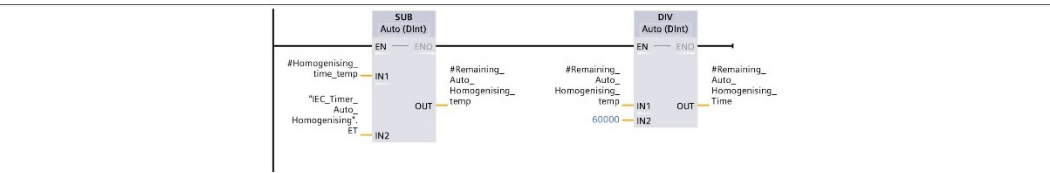
Netzwerk 17: Remaining Manual Ultrasound Time



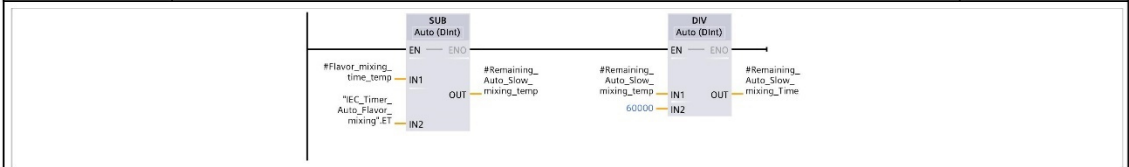
Netzwerk 18: Remaining Auto Ultrasound Time



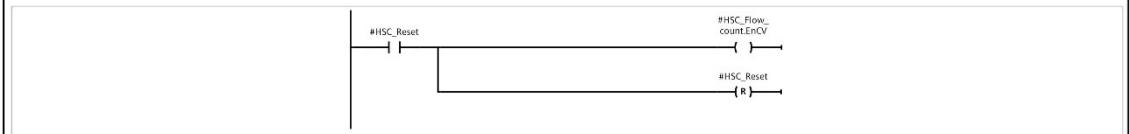
Netzwerk 19: Remaining Auto Homogenising Time



Netzwerk 20: Remaining Auto Slow mixing Time



Netzwerk 21: Highspeed counter Reset



Anhang D - Stückliste

Stückliste			
Pos.	Bezeichnung	Anzahl	Preis
1	KTP900 Touchpanel	1x	983,30 €
2	Rittal Schaltschrank	1x	684,55 €
3	S7 1214C	1x	330,50 €
4	SM 1231 RTD	1x	326,18 €
5	SM 1231 AI	1x	233,12 €
6	SM1222	1x	95,50 €
7	WP231	1x	517,00 €
8	24V Netzteil	1x	114,99 €
9	Hutschiene 2000mm	1x	9,99 €
10	Hager BA6 40025 Verdrahtungskanal	2x	8,49 €
11	Reihenklemmen Phoenix (Set 50St.)	1x	125,95 €
12	Reihenklemmen Brücke Blau	3x	6,63 €
13	Reihenklemmen Brücke Rot	3x	4,93 €
14	Phoenix Contact Abschlussdeckel	10x	0,48 €
15	Not-Aus Schalter	1x	27,99 €
16	Motorschutzschalter 25A	1x	80,50 €
17	Motorschutzschalter 12,5A	1x	59 €
18	Signalsäule	1x	78,79 €
19	Montagehalterung	1x	9,31 €
20	Lasttrennschalter	1x	50,82 €
21	Motorschutzschalter 6,3A	1x	52,50 €
22	Leistungsschütz 45A	1x	87,00 €
23	Kommunikations Board Siemens CB 1241	1x	67,50 €
24	Reihenklemme PHOENIX UT16 Grey	3x	4,35 €
25	Reihenklemme PHOENIX UT16 BU	1x	1,45 €
26	Reihenklemme PHOENIX UT16 PE	1x	3,30 €
27	Abschlussdeckel PHOENIX UT 16	5x	2,00 €
28	Reihenklemme PHOENIX UT10	20x	23,00 €
29	Reihenklemme PHOENIX UT10 PE	6x	15,00 €
30	Steckbrücke UT10	5x	3,50 €
31	Abschlussdeckel PHOENIX UT 10	5x	1,75 €
32	Endhalter PHOENIX	6x	2,40 €
33	Kabelverschraubung LAPP SKINTOP CLICK-R 12	20x	14,00 €
34	Kabelverschraubung LAPP SKINTOP CLICK 20	5x	5,00 €
35	Kabelverschraubung LAPP SKINTOP CLICK 25	5x	6,50 €
36	Linsenkopfschrauben M5x10	1x	15,25 €
37	Magnetventil 1" 24V DC	3x	150,00 €
38	Schaltschranklüfter	1x	13,30 €
39	Austrittsfilter	1x	47,60 €
40	Leistungsschütz 9A	1x	43,30 €
41	Leitungsschutzschalter C16	1x	9,49 €
42	24V Relais DC	1x	13,27 €
43	Vierkantrohr 30x30	1x	23,16 €
44	Endkappe Vierkantrohr Edelstahl	8x	3,88 €
45	Leitungsschutzschalter C20	1x	16,00 €
46	LED Lampe 24V	1x	24,95 €
	Gesamt		4.271,52 €



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Schlemminger

Vorname: Tjare

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Konzeption und Entwicklung einer visualisierten Programmsteuerung für eine Prozessanlage zur Herstellung Liposomaler Formulierungen

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

12.07.2021

Datum

