



# Migration und Visualisierung einer Kälteanlage in SIMATIC STEP 7

---



Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Engineering“  
(B. Eng.) der Studienrichtung Medien- Kommunikations- und Automationssysteme

Eingereicht von:	Benedikt Weber
Matrikelnummer:	18789
Geboren am:	26.09.1991
Geburtsort:	Paderborn

Betreuer : Prof. Dr.-Ing.habil. Frank Sokollik (Hochschule Merseburg)

Dipl.-Phys. Erik Förster (Delta Automation)



# Vorwort

Diese Arbeit entstand zum Abschluss meines Studiums „Medien- Kommunikations- und Automationssysteme“ an der Hochschule Merseburg. Im sechsten Semester habe ich ein 9-wöchiges Praktikum bei der Firma „Delta Automation GmbH“ absolviert. Meine Aufgabe bestand in der Migration eines Steuerungsprogramms einer Kältemaschine von „CX-One“ zu „STEP 7“. Dazu war eine Analyse des alten unkommentierten Steuerungsprogramms nötig, dessen Ergebnis einen Teil dieser Arbeit darstellt. Durch die Analyse des Programms ergab sich auch ein Interesse für die physikalischen Hintergründe der Kälteanlage. Aus dem Praktikum ist ein Bericht hervorgegangen, der die Basis dieser Arbeit darstellt. Meine Motivation für die Bachelorarbeit war es, einen Gesamtüberblick über die Wirkungsweise der Kälteanlage zu geben. Ich hoffe, dass mir dies gelungen ist und würde mich über Anregungen und Fragen zu dieser Arbeit sehr freuen. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zur Erstellung dieser Arbeit beigetragen haben. In erster Linie sind dies meine Betreuer Prof. Dr. Frank Sokollik und Dipl.-Phys. Erik Förster. Ein besonderer Dank gilt Sebastian Heinze, der mich während meines Praktikums und darüber hinaus stets unterstützt hat.

Halle Saale, Oktober 2014

Benedikt Weber

# Inhaltsverzeichnis

<b><u>1. EINLEITUNG.....</u></b>	<b>8</b>
1.1. HINTERGRUND .....	8
1.2. AUFGABENSTELLUNG.....	9
1.3. UNTERNEHMEN .....	9
1.4. GLIEDERUNG .....	10
<b><u>2. DIE KÄLTEANLAGE .....</u></b>	<b>11</b>
2.1. FUNKTIONSWEISE DER KÄLTEANLAGE.....	11
2.1.1. VERDAMPFUNG DES KÄLTEMITTELS.....	11
2.1.2. VERDICHUNG DES KÄLTEMITTELS .....	12
2.1.3. DIE VERFLÜSSIGUNG DES KÄLTEMITTELS .....	12
2.1.4. DER EXPANSIONSVORGANG .....	12
2.2. DAS KÄLTEMITTEL .....	12
2.3. BESTANDTEILE UND DEREN FUNKTION .....	13
2.3.1. HUBKOLBENVERDICHTER .....	15
2.3.2. ÖL-VERSORGUNG.....	15
2.3.3. WASSERGEKÜHLTER KONDENSATOR UND FLÜSSIGKEITSAUFFANGBEHÄLTER .....	16
2.3.4. HOCHDRUCK-SCHWIMMREGLER.....	16
2.3.5. VERDAMPFER UND FLÜSSIG-TRENNER .....	16
2.4. LEISTUNGSREGELUNG .....	17
2.5. DIE BEDIENEINHEIT .....	18
2.6. EIN- UND AUSGÄNGE.....	19
2.7. MESSWERTERFASSUNG .....	20
2.8. MESSBEREICHE UND ALARMGRENZEN .....	21
<b><u>3. SPEICHERPROGRAMMIERBARE STEUERUNGEN .....</u></b>	<b>24</b>
3.1. DEFINITION .....	24
3.2. AUFBAU .....	24
3.3. DATENKOMMUNIKATION .....	26
3.4. FUNKTIONSWEISE.....	26
3.5. SPS-PROGRAMMIERSPRACHEN.....	27
3.5.1. FUNKTIONSPLAN (FUP).....	27
3.5.2. KONTAKTPLAN (KOP).....	27
3.6. PROGRAMM-ORGANISATIONSEINHEITEN – POE .....	28
3.6.1. ORGANISATIONBAUSTEIN – OB .....	30
3.6.2. FUNKTION - FC.....	30
3.6.3. FUNKTIONSBASTEIN - FB .....	30
3.6.4. DATENBAUSTEIN – DB .....	30

<b><u>4. SOFTWARE .....</u></b>	<b><u>31</u></b>
4.1. „CX-ONE“ .....	31
4.1.1. „CX-ONE“-PROGRAMMER .....	32
<b>4.2. „STEP 7“ .....</b>	<b>33</b>
4.2.1. SIMATIC MANAGER .....	33
<b><u>5. PROGRAMMANALYSE „CX-ONE“ .....</u></b>	<b><u>35</u></b>
<b>5.1. AUFBAU .....</b>	<b>35</b>
5.1.1. SEKTION 1 .....	36
5.1.2. SEKTION 2 .....	36
5.1.3. SEKTION 3 .....	36
5.1.4. SEKTION 4 .....	36
5.1.5. SEKTION 5 .....	36
5.1.6. SEKTION 6 .....	37
5.1.7. SEKTION 7 .....	38
5.1.8. SEKTION 8 .....	38
5.1.9. SEKTION 9 .....	39
5.1.10. SEKTION 10 .....	39
5.1.11. SEKTION 11 .....	39
5.1.12. SEKTION 12 .....	40
5.1.13. SEKTION 13 .....	40
5.1.14. SEKTION 14 .....	40
5.1.15. SEKTION 15 .....	41
5.1.16. SEKTION 16 .....	41
5.1.17. SEKTION 17 .....	41
5.1.18. SEKTION 18 .....	42
5.1.19. SEKTION 19 .....	42
5.1.20. SEKTION 20 .....	42
5.1.21. SEKTION 21 .....	42
<b>5.2. ANFORDERUNG.....</b>	<b>42</b>
<b><u>6. PROGRAMMIERUNG IN „STEP 7“ .....</u></b>	<b><u>43</u></b>
<b>6.1. ANLEGEN DES PROJEKTES .....</b>	<b>43</b>
<b>6.2. HARDWAREKONFIGURATION.....</b>	<b>43</b>
<b>6.3. VORBEREITUNG.....</b>	<b>44</b>
<b>6.4. ANALOGWERTVERARBEITUNG .....</b>	<b>44</b>
<b>6.5. FEHLERMELDUNGEN.....</b>	<b>46</b>
<b>6.6. ALARME.....</b>	<b>47</b>
<b>6.7. WARNUNGEN .....</b>	<b>47</b>
<b>6.8. BETRIEBSZUSTÄNDE.....</b>	<b>48</b>
<b>6.9. AUSGÄNGE.....</b>	<b>49</b>

<b>6.10.</b>	<b>ALARMQUITTIERUNG</b> .....	<b>49</b>
<b>6.11.</b>	<b>TEMPERATUR- UND LEISTUNGSREGELUNG</b> .....	<b>49</b>
<b>6.12.</b>	<b>BILD WECHSELN</b> .....	<b>50</b>
<b>6.13.</b>	<b>AUTOMATISCHE DISPLAYBILDSTEUERUNG</b> .....	<b>51</b>
<b>6.14.</b>	<b>ORGANISATIONSBAUSTEINE</b> .....	<b>51</b>
6.14.1.	RESULTAT .....	52
<b><u>7.</u></b>	<b><u>„VISUALISIERUNG“</u></b> .....	<b><u>54</u></b>
<b>7.1.</b>	<b>„WINCC FLEXIBLE“</b> .....	<b>54</b>
7.1.1.	OBERFLÄCHE .....	54
7.1.2.	BEREICHszeiger .....	55
7.1.3.	VARIABLEN .....	56
7.1.4.	BILDER .....	57
<b>7.2.</b>	<b>DISPLAYBILDER</b> .....	<b>58</b>
7.2.1.	BILD 1 – BETRIEBSZUSTÄNDE.....	58
7.2.2.	BILD 2 – VERDICHTER STATUS .....	59
7.2.3.	BILD 3 - VERDICHTER ALARMGRENZEN .....	59
7.2.4.	BILD 4 - VERDICHTER FEHLER.....	60
7.2.5.	BILD 5 – VERDAMPFER PROZESSWERTE .....	60
7.2.6.	BILD 6 - VERDAMPFER ALARMGRENZEN .....	61
7.2.7.	BILD 7 - FLÜSSIGKEITSAUFFANGBEHÄLTER.....	62
7.2.8.	BILD 8 - KONDENSATOR .....	62
7.2.9.	BILD 9 & 10 - SPEZIALFEHLER 0.0 & 0.1 .....	63
7.2.10.	BILD 11 – „NOTAUS“ .....	63
<b><u>8.</u></b>	<b><u>ZUSAMMENFASSUNG</u></b> .....	<b><u>64</u></b>
<b><u>9.</u></b>	<b><u>LITERATURVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>65</u></b>
<b><u>10.</u></b>	<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>67</u></b>
<b><u>11.</u></b>	<b><u>TABELLENVERZEICHNIS</u></b> .....	<b><u>68</u></b>
<b><u>ERKLÄRUNG</u></b>	.....	<b><u>69</u></b>
<b><u>ANHANG</u></b>	.....	<b><u>70</u></b>

# Abkürzungsverzeichnis

ADW	Analog-Digital-Wandler
AI	Analog Input, analoger Eingang
AO	Analog Output, analoger Ausgang
AS	Ablaufsprache (Programmiersprache)
AWL	Anweisungsliste (Programmiersprache)
CM	Communication Module, Kommunikationsbaugruppe
CPU	Central Processing Unit, Zentraleinheit - Prozessor
DB	Datenbaustein (Bausteintyp in „STEP 7“)
DI	Digital Input, digitaler Eingang
DM	Datenmerker
DO	Digital Output, digitaler Ausgang
E/A	Eingabe/ Ausgabe
EEPROM	Electrical, erasable, programmable „ROM“, Elektrisch löschbarer programmierbarer „ROM“
EPROM	Erasable, programmable „ROM“ Löschbarer, programmierbarer „ROM“
EVA	Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe
FB	Funktionsbaustein (Bausteintyp in „STEP 7“)
FBS	Funktionsbausteinsprache
FC	Funktion (Bausteintyp in „STEP 7“)
FM	Function Module, Funktionsbaugruppe
FUP	Funktionsplan, Programmiersprache
HMI	Human Machine Interface, Mensch-Maschine-Schnittstelle
IM	Interface Module, Erweiterungsbaugruppe
KOP	Kontaktplan (Programmiersprache)
MB	Messbereich
MBA	Messbereichsanfang
MBE	Messbereichsende
MU	Messumformer
MW	Merkerwort
OB	Organisationsbaustein (Bausteintyp in „STEP 7“)
PAA	Prozessabbild der Ausgänge
PAE	Prozessabbild der Eingänge
PAW	Prozessausgangswort
PEW	Prozesseingangswort
PID-Regler	Proportional-Integral-Differential-Regler
PLC	Programmable Logic Controller, SPS
POE	Programmorganisationseinheit
PS	Power Supply, Stromversorgung
R&I-Fließschema	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema
RAM	Random Access Memory, Direktzugriffsspeicher, -elektronischer Schreib-Lese-Speicher
ROM	Read-only Memory, Festwertspeicher – Nur-Lese-Speicher
SM	Signal Module
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
ST	Strukturierter Text (Programmiersprache)

# 1. Einleitung

## 1.1. Hintergrund

Im Chemiapark DOW Böhlen wird u.a. der für die Chemieindustrie wichtige Stoff „Anelin“ hergestellt. Bei der Herstellung ist es notwendig, Stoffgemische auf bestimmte Temperaturen zu kühlen. Diese Aufgabe wird von einer Kälteanlage übernommen. Die Kälteanlage wurde von einer Niederländischen Firma mit dem damaligen Namen „Inham Refrigeration B.V.“ 1996 für „DOW Aneline“ gebaut und 1997 mit einer „Omron“-Steuerung in Betrieb genommen. Die Abbildung 1, Kälteanlage – Seitenansicht, zeigt die Kälteanlage im aktuellen Zustand.



**Abbildung 1: Kälteanlage – Seitenansicht**

Seitdem wurden an ihr keine Modernisierungen vorgenommen. Allerdings mussten softwaretechnisch Anpassungen von Messbereichen und Alarmgrenzen vorgenommen werden. Die damals eingebaute „Omron“-SPS (SPS AY 5210) ist gegenüber den heutigen technischen Standards überholt. Zudem gibt es im Fehlerfall keine Ersatzteile der Steuerung. Damit besteht jederzeit die Gefahr eines Betriebsstillstandes mit den daraus resultierenden wirtschaftlichen Schäden.

## 1.2. Aufgabenstellung

Die Steuerung der Kälteanlage soll von einer „Omron“- auf eine „Siemens“-SPS umgerüstet werden. Die Erneuerung einer elektrischen Steuerung auf den aktuellen Stand bietet mehrere Vorteile: Verhinderung von Ausfallzeiten, gesicherte Ersatzteilversorgung in der Zukunft, direkte Integration der Visualisierung und erleichterte Störungssuche durch Systemdiagnosen. An der Arbeitsweise der Kälteanlage soll es keine Änderungen geben. Das Steuerungsprogramm der neuen SPS muss nach der Logik des alten Programms in „STEP 7“ abgebildet werden. Dabei gibt es programmspezifische Befehle und Besonderheiten, welche ersetzt werden müssen. Zudem gibt es neue softwaretechnische Methoden, mit der die Steuerung einfacher programmiert werden kann als es zum damaligen Zeitpunkt möglich war. Die Betriebszustände, Prozesswerte und Alarmer der Kälteanlage werden nach wie vor auf einem Display angezeigt. Die Visualisierung ist ebenfalls programmtechnisch umzusetzen. Der Hauptteil der Aufgabe, die Umprogrammierung wurde - wie bereits erwähnt - im 9-wöchigen Industriepraktikum bei der Firma Delta Automation erledigt.

## 1.3. Unternehmen

„Delta Automation GmbH“ ist ein in Schkopau bei Halle ansässiges mittelständiges Unternehmen mit 18 Mitarbeitern. Gegründet wurde es 1993, es betreibt seitdem die Planung und Programmierung für Prozessleittechnik in den Branchen Chemie und Pharma, sowie Verfahrens- und Umwelttechnik. Seit 1998 ist Delta Automation zertifizierter Partner der Siemens AG und seit 2000 auch von ABB. Im Jahr 2000 erhielt das Unternehmen den „Oskar für den Mittelstand“. Mit dem Gewinn einer Ausschreibung der „Infra Leuna“ hat die Firma ein Energiedatenmanagementsystem namens „ELIAS“ entwickelt. Auf der Automatisierungsschiene wurde Leittechnik mit den Programmen „PCS 7“, „800 XA“, „APROL“, „WinCC“ und „Freelance“ entwickelt. Zudem betreibt die Firma Schaltschrankbau für Maschinensteuerungen, Feldbusinstallationen, Safety Integretet Systems in der firmeneigenen Werkstatt. Referenzen in der Region sind Kläranlagen, Erdgas-Kavernen, Biogaseinspeisung, Pumpwerke und das Baustellensicherungssystem Gebersaale. Zu den wichtigsten Kunden zählen: Johnson Controls, Linde, Infra Leuna, Dow, Total und Bayer.



Abbildung 2: D. A. GmbH - Frontalansicht



Abbildung 3: D. A. GmbH - Seitenansicht

## **1.4. Gliederung**

Die Arbeit soll einen Überblick über die Wirkungsweise der automatisierten Kälteanlage geben. Dazu werden zunächst die Bestandteile und die Funktionsweise der Kälteanlage erläutert. Zudem werden die Leistungsregelung und die Bedienung der Kälteanlage erklärt. Mit dem Punkten Messwerterfassung und den E/A-Tabellen soll ein Übergang zur speicherprogrammierbaren Steuerung geschaffen werden. Auch die SPS wird in den Punkten Aufbau und Funktionsweise beschrieben. Im Anschluss wird die verwendete Software dargestellt. Dies ist einerseits „CX-One“, die Support-Software für die „Omron“-SPS und andererseits „STEP 7“, die Programmierumgebung für Siemens Automationssysteme. Anschließend werden der Aufbau des Steuerungsprogramms der alten „Omron“-SPS und dessen Aufgaben beleuchtet und beschrieben wie die Entwicklung des neuen Steuerungsprogramms erfolgt ist. Schließlich werden noch die zur Überwachung und Bedienung der Kälteanlage projektierten Prozessbilder einschließlich der Visualisierungssoftware „WinCC flexible“ deutlich gemacht.

## 2. Die Kälteanlage

### 2.1. Funktionsweise der Kälteanlage

Nach dem erstem Hauptsatz der Thermodynamik kann mechanische Energie in Wärme umgewandelt werden und umgekehrt. Bei der Kältemaschine geschieht dies in einem Kreisprozess, dem Kältekreislauf. Beim Kältekreislauf werden folgende Schritte durchlaufen:

- Die Verdampfung des Kältemittels
- Der Verdichtungsprozess
- Die Verflüssigung des Kältemittels
- Der Expansionsprozess

Das Kältemittel erfährt also während des Kreisprozesses verschiedene Aggregatzustandsänderungen. In der Abbildung 4 werden die Schritte des Kältekreislaufes schematisch dargestellt.

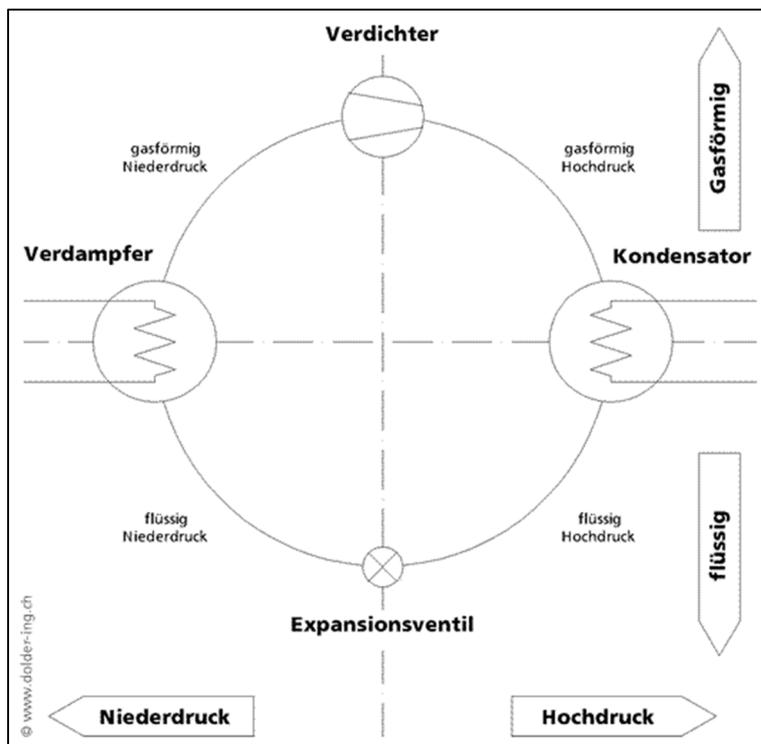


Abbildung 4: Kältekreislauf (Quelle: <http://www.dolder-ing.ch/wissen/Kaelte/kaeltekreislauf.htm>)

#### 2.1.1. Verdampfung des Kältemittels

Mit der Verdampfung des Kältemittels findet der eigentliche Kühlprozess statt. Die Wärmeenergie des zu kühlenden Mediums wird für die Verdampfung des Kältemittels aufgewendet. Die aufgenommene Wärmemenge entspricht dabei der Kühlleistung.

### **2.1.2. Verdichtung des Kältemittels**

Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik kommt ein Wärmefluss nur zustande, wenn die Temperaturen der zwei Medien unterschiedlich hoch sind, also ein ausreichend hohes Temperaturgefälle besteht. Der Verdichter sorgt für eine Erhöhung der Temperatur und des Drucks des Kältemittels, damit dieses im Kondensator Wärme abgeben kann. Dazu saugt der Verdichter eine bestimmte Menge des Kältemittels an, welche durch einen Kolben verdichtet wird. Bei diesem Prozess wird mechanische Arbeit benötigt, um diese in zusätzliche Wärmeenergie umzuwandeln.

### **2.1.3. Die Verflüssigung des Kältemittels**

In einem wassergekühlten Kondensator kondensiert das überhitzte Kältemittel. Dabei wird diejenige Wärmeenergie wieder abgegeben, die beim Verdampfen und Verdichten des Kältemittels aufgenommen worden ist. Der Druck bleibt dabei nahezu konstant.

### **2.1.4. Der Expansionsvorgang**

Das aus dem Kondensator ausströmende Kältemittel weist nach wie vor einen hohen Druck auf. Damit es im Verdampfer erneut zu siedeln beginnen kann, muss es zunächst auf den Verdampfungsdruck herabgesetzt werden. Dazu wird es durch ein Expansionsventil geführt. Das Expansionsventil ist einfach eine geregelte Drosselvorrichtung. Je nach Verdampfungsdruck wird das Ventil geöffnet oder geschlossen.

[1]

## **2.2. Das Kältemittel**

Zur Kühlung eines Stoffes oder Raumes wird diesem Wärme entzogen und an anderer Stelle wieder abgegeben. Das Kältemittel dient dabei als Wärmeträger in Kälteanlagen, wo es zyklisch verdampft und verflüssigt wird. Das in der Kälteanlage in Böhlen verwendete Kältemittel Ammoniak ( $\text{NH}_3$ , Kältemittel R717): „(...) ist umweltneutral, energetisch vorteilhaft, preisgünstig und steht in genügender Menge überall zur Verfügung“ [2, p. 27]. Aufgrund seiner großen spezifischen Verdampfungsenthalpie und volumetrischen Kälteleistung kann die umlaufende Kältemittelmasse relativ klein gehalten werden. Negative Eigenschaften sind: „(...) seine ätzende und damit giftige Einwirkung auf den Menschen bei feuchten Hautstellen bzw. Nase, Augen, Mund und die Möglichkeit mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch zu bilden.“ [2, p. 27] Jedoch ist es wegen seines stark stechenden Geruches leicht wahrnehmbar. Dennoch ist den Sicherheitsmaßnahmen wie gute Raumventilation, Verbot offener Flammen und Rauchverbot,  $\text{NH}_3$ -Konzentrationsüberwachung, Fernhaltung von Feuchtigkeit vom Kältemittelkreislauf etc. unbedingt Folge zu leisten.

[1], [2]

## 2.3. Bestandteile und deren Funktion

Die Kälteanlage besteht im Wesentlichen aus den Komponenten aus Tabelle 1. Zum besseren Verständnis der Steuerungsprogramme werden die englischen Bezeichnungen der Komponenten und deren Tagnummern, die dort auftreten, mit aufgelistet.

**Tabelle 1: Bestandteile der Kälteanlage**

Nummer	Bezeichnung Deutsch	Bezeichnung Englisch	Tagnummer
1	Hubkolbenverdichter	Receiproating compressor	K01
2	„Öl-Trenner“, Ölabscheider	Oil seperator	K01-009
3	Wassergekühlter Kondensator	Watercooled condenser	C01
4	Flüssigkeitsauffangbehälter	Liquid receiver	R01
5	Schwimmregler	Float regulator	A01-011
6	„Flüssig-Trenner“, Abscheider	Liquid seperator	A01-001
7	Verdampfer	Flooded evaporator	A01
8	Ölreservoir	Oil tank	R03

Daneben existieren u.a. verschiedene Ventile, Sensoren zur Temperatur-, Druck- und Füllstandsüberwachung, Heizelemente, Motoren und Pumpen. Außerdem gibt es je nach Belastung verschieden starke Stahlrohrleitungen. „Der Durchmesser der Leitungen ist abhängig vom Volumenstrom des Kältemittels und von der Strömungsgeschwindigkeit.“ [1, p. 134] Es wird in 5 Leitungen im Kältekreislauf unterschieden:

- Flüssigkeitsleitung; zwischen Sammler und Expansionsventil
- Einspritzleitung; zwischen Expansionsventil und Verdampfer
- Saugleitung; zwischen Verdampfer und Verdichter
- Druckleitung; zwischen Verdichter und Kondensator
- Steuerleitungen; an welchen die Regler und die Druckschalter angeschlossen werden

[1, p. 134]

Die Abbildung 5, R&I-Fließbild, bietet eine symbolische Übersicht über die Komponenten der Kälteanlage. Das Fließschema enthält außerdem die Mess- und Regelstellen der Kälteanlage. Um eine Die wichtigsten Komponenten aus der Tabelle 1 sind mit roten Nummern gekennzeichnet und werden im folgenden Abschnitt genauer erläutert.

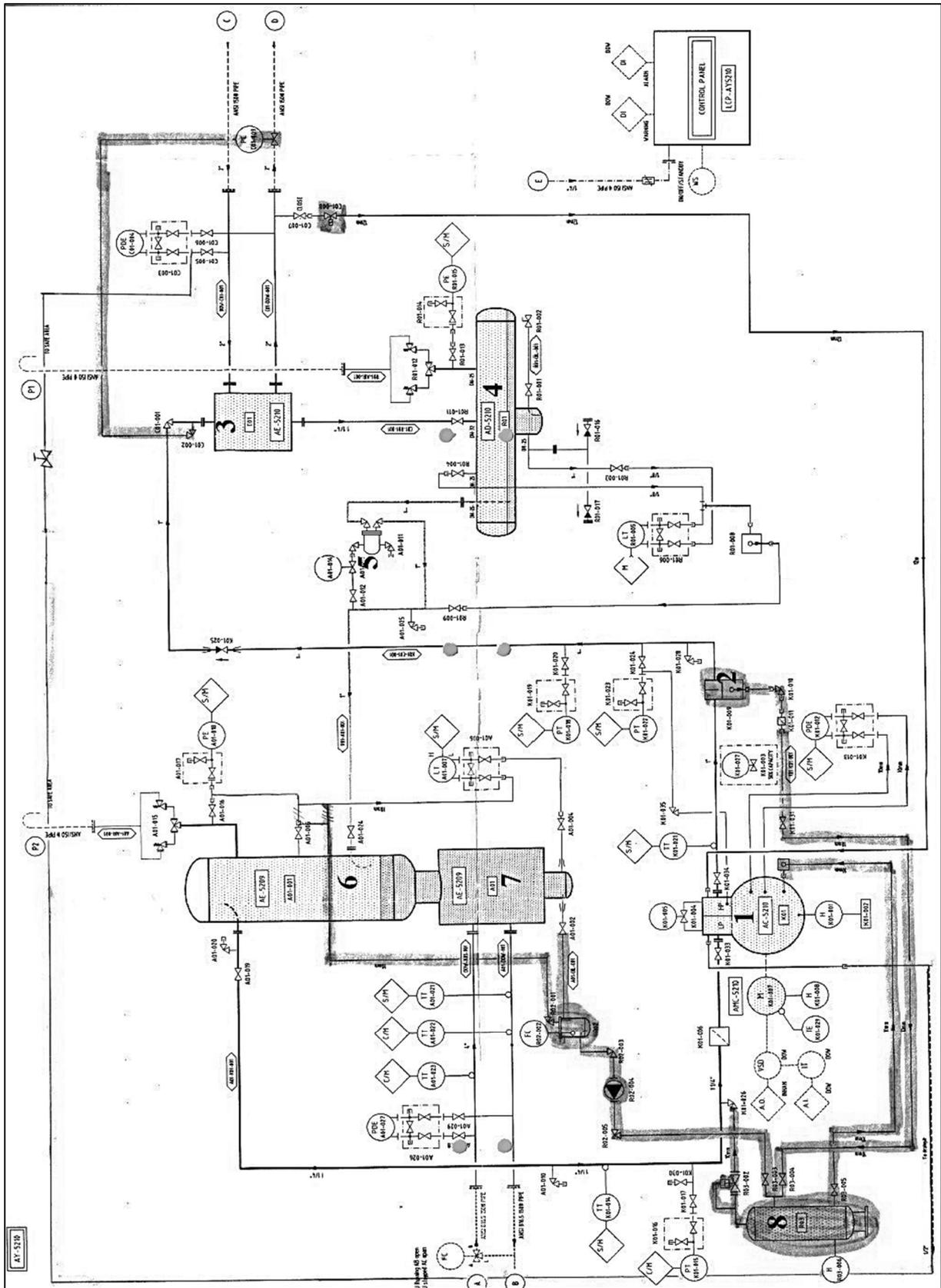


Abbildung 5: R&I-Fließbild

### **2.3.1. Hubkolbenverdichter**

Die Anlage besteht aus einem 4-zylindrigen, offenen Hubkolbenverdichter, welcher durch einen Elektromotor des Typs "AMGK 160-B-04" (K01-007) angetrieben wird. Offen bedeutet, dass der Antriebsmotor außerhalb des Hubzylindergehäuses untergebracht ist. Dies hat den Vorteil, dass bei Motorschäden der Kältemittelkreislauf unberührt bleibt und der E-Motor einfach ausgetauscht werden kann. Der Antriebsmotor ist in seiner Wicklung mit einem Thermofühler (K01-029) ausgestattet, um ihn vor Überhitzung zu schützen. Dazu kann es kommen, wenn der Verdichter überlastet ist oder wenn die Spannung des E-Motors zu stark schwankt. Der Hubkolbenverdichter schafft bis zu 1450 Drehungen pro Minute und ist für einen Druck von bis zu 25 bar und Förderströmen von bis zu 39,3 m<sup>3</sup>/h ausgelegt. Dem Verdichter ist ein Saugfilter (K01-006) vormontiert, durch den er das trockene Ammoniak aus dem „Flüssig-Trenner“ saugt. Nachdem das Kältemittel verdichtet wurde, wird es zum Kondensator weitergeleitet.

### **2.3.2. Öl-Versorgung**

Um eine hohe Zuverlässigkeit des Verdichters zu gewährleisten, muss eine Ölpumpe für eine stabile Ölzufuhr der Triebwerksteile des Verdichters sorgen. Die Pumpe drückt das Öl aus dem Kurbelgehäuse durch feinmaschige Filter zu den Schmierstellen. Das Öl dient der Abdichtung von Kolben- und Zylinderwand und führt Reibungswärme ab. Der von der Ölpumpe aufgebaute Öldruck ist in der Regel um 0,9 bar höher als der Saugdruck über dem Kurbelgehäuse. Ein Öl-Differenzdruckschalter (K01-012 Oil-Difference-Pressure) überwacht die Druckdifferenz und schaltet bei Bedarf den Verdichter ab. Beim Anschalten des Verdichters ist dieser Differenzdruck noch nicht gegeben und wird daher im Steuerungsprogramm für die Anlaufzeit überbrückt. Bei Stillstand der Kältemaschine wird eine Kurbelwanneheizung (K01-001 Crankcase Heater), auch Ölsumpfheizung genannt, eingeschaltet, um die Vermischung des Öls mit dem Ammoniak zu verhindern. Durch die Vermischung würde das Öl seine Schmierfähigkeit verlieren. Außerdem könnte es beim Wiederaufstarten des Verdichters zum Verdampfen des Kältemittels führen, was zu Ölaufschäumen und zu Ölschlägen führen könnte. Im Verdichter mischt sich ein Teil des Öls mit dem Ammoniak und gerät aus dem Verdichter in den Kältekreislauf. Im „Öl-Trenner“ wird das Öl wieder vom Ammoniak getrennt und einem Ölreservoir (R03) zugeführt. Dieses hat einen zweiten Ölzufluss, welcher vom Verdampfer kommt. Die Ölrückstände dort werden über den sogenannten „Öl-Drain“ (Ölabfluss) angetrieben durch eine separate Pumpe (R02-004), zum Ölreservoir abgeleitet. Aus dem Ölreservoir wird das Öl schließlich wieder in das Kurbelgehäuse des Verdichters geleitet. Es sollte immer etwa die gleiche Menge Öl aus dem Verdampfer entnommen werden, die auch im Verdichter nachgefüllt wird. Andernfalls könnte der Verdichter bei zu hohem Füllniveau im Verdampfer, Flüssigkeit ansaugen. Der Ölstand im Ölreservoir und seine Reinheit müssen regelmäßig kontrolliert werden.

[1]

### **2.3.3. Wassergekühlter Kondensator und Flüssigkeitsauffangbehälter**

Zum Abführen der Abwärme des Kältemittels nach dem Verdampfungs- und Verdichtungsvorganges werden wassergekühlte Kondensatoren eingesetzt. In dieser Anlage handelt es sich um den Typ "PHSE-3D-56-1". Mit einem Wasserstrom von bis zu 7,75 m<sup>3</sup>/h wird der Kondensator durchströmt. Das Kältemittel kondensiert dabei und wird von einem Flüssigkeitsauffangbehälter (Liquid Receiver) gesammelt. Dieser hat ein Volumen von 100 dm<sup>3</sup> und ist für einen Druck von bis 22 bar und Temperaturen bis zu 100°C ausgelegt. Im Flüssigkeitsauffangbehälter sind zur Überwachung des Druckes und des Füllstandes ein Drückwächter (R01-015) und ein Füllstandstransmitter (R01-005) angebracht. Je nach Kondensationsdruck regelt ein Kühlwasserregler den Kühlwasserdurchlauf zum Kondensator.

### **2.3.4. Hochdruck-Schwimmregler**

Das flüssige Ammoniak wird vom Flüssigkeitsauffangbehälter durch ein Expansionsventil in den „Flüssig-Trenner“ geleitet. Dabei wird das Kältemittel von einem hohen auf ein niederes Druckniveau gebracht. Das Ventil ist deshalb neben dem Verdichter die zweite Trennstelle von Hochdruck- und Niederdruckseite (s. Abbildung 4: Kältekreislauf). Je nach Füllhöhe des Kältemittels im Verdampfer regelt der Hochdruck-Schwimmregler die Durchlassmenge des Ventils.

### **2.3.5. Verdampfer und Flüssig-Trenner**

Die Kälteanlage nutzt eine Verdampfer-Konstruktion des Typs "PHSE-5D-104-1", welche mit dem flüssigen Kältemittel überflutet wird. (Flooded Evaporator). Der Verdampfer hat ein Gehäusevolumen von 24 dm<sup>3</sup>. In kleinen Rohrbündeln wird das zu kühlende Medium durch ein Gehäuse des flüssigen Ammoniaks geführt. Das flüssige Ammoniak kommt dabei mit einer Temperatur von etwa 35°C in den Verdampfer und verdampft bei 0°C. Das zu kühlende Gas wird dabei von etwa 35°C auf 5°C heruntergekühlt. Da immer nur ein Teil des flüssigen Ammoniaks verdampft, muss es vom Rest getrennt werden. Diese Aufgabe übernimmt der „Flüssig-Trenner“, auch Abscheider genannt, welcher das Gas nach oben abführt und in Richtung Verdichter weiterleitet.

## 2.4. Leistungsregelung

Der Massenstrom des umlaufenden Kältemittels bestimmt die Kühlleistung der Kälteanlage. Dieser ist abhängig von der mechanischen Arbeit die im Verdichter verrichtet wird. Die Antriebsleistung wird vom E-Motor des Verdichters erbracht, dessen Drehzahl von einem Frequenz-Umrichter gesteuert wird. Die SPS liefert die Stellgröße an den Frequenz-Umrichter. Als zugehörige Regelgröße wird die Austrittstemperatur des "Reaktor-Off-Gas" verwendet (Outlet Temperatur). „Jede Leistungsregelung sorgt für eine Reduzierung des Kältemittel-Massenstromes über den Verdampfer, der so an den aktuellen Bedarf angepasst wird.“ [1, p. 73]

Die Kälteanlage nutzt zur Leistungssteuerung zwei Verfahren: **Zylinder-Abschaltung** und **Drehzahlregelung** des Verdichters. Dieser hat auf dem Zylinderdeckel zwei Magnetventile (unloadet start valve, 50%-capacity valve). Paarweise können durch magnetisch bewirktes Anheben der Saugventilplättchen Zylinder abgeschaltet werden. Durch die dauerhafte Öffnung der Saugventilplättchen wird das angesaugte Gas ohne Verdichtung wieder ausgestoßen. Da hier ein Verdichter mit vier Zylindern eingesetzt worden ist, kann dieser in zwei Leistungsstufen, in der 50%- und 100%-Leistungsstufe, geschaltet werden. Zum anderen ist der Verdichter drehzahlgesteuert. Die Drehzahlregelung des Elektromotors wird von einem Frequenz-Umrichter übernommen, dessen Stellgröße im Steuerungsprogramm der SPS erzeugt wird. Als Regelsignal wird die Temperatur des austretenden "Reaktor-Off-Gas" genutzt (Outlet Temperature).

Beim Anlaufen der Kälteanlage soll der Verdichter unbelastet anfahren. Dazu werden bei Magnetventile geöffnet. Das vorderen Ventil (unloadet start valve) schließt sich nach 10 Sekunden. Der Frequenz-Umrichter wird zu Beginn mit halber Drehzahl gestartet. Je nach Bedarf wird dann bis auf die maximale Drehzahl hochgeregelt. Wenn der Verdichter 5 Minuten lang auf voller Drehzahl gelaufen ist, wird das hintere Magnetventil (50% capacity vlave) geschlossen. Es wird also von der 50%- auf die 100%-Leistungsstufe geschaltet, während die Drehzahl auf die Hälfte reduziert wird. Somit bleibt die Gesamtleistung gleich.

[1]

## 2.5. Die Bedieneinheit

Die Kälteanlage kann in der Messwarte beobachtet und ein- und ausgeschaltet werden. Die wesentliche Bedienung wird jedoch direkt vor Ort am Schaltschrank vorgenommen.



Abbildung 6: Schaltschrank mit Bedieneinheit

Am Schaltschrank der Kälteanlage ist ein Display integriert und es befinden sich mehrere Tasten zur Steuerung der Anlage, welche in Tabelle 2 kurz erläutert werden.

Tabelle 2: Steuerfunktionen

Steuerknopf	Funktion
Chiller Unit On/ Off	Ein- und Ausschalten der Kälteanlage
Screen Scroll	Wechseln auf das nächste Displaybild
Reset Failure	Löschen von Alarme oder Warnungen des aktuellen Displaybildes
Reset Emergency Switch	Setzt „Notaus“ zurück. Wenn die Spannung zur Anlage unterbrochen ist, kann die Anlage damit wieder eingeschaltet werden.
Power to cabinet	Hauptschalter zur Stromversorgung
Pre-Purge ready	Schalter zur Vorbereitung und Wartung der Kälteanlage
Emergency Switch	„Notaus“, sofortiges Ausschalten der Kälteanlage

Prinzipiell können also nur Grundschriftfunktionen wie Wartung, Start, Stopp, „Notaus“ und die Displaynavigation vor Ort gesteuert werden, sonst arbeitet die Kälteanlage selbstständig. Die Steuerknöpfe sind direkt mit der Digitaleingabebaugruppe der SPS verbunden.

## 2.6. Ein- und Ausgänge

Im Praktikum wurden mit Hilfe des Stromlaufplans der alten „Omron“-Steuerung die E/A-Adressen herausgesucht. Die folgenden Tabellen zeigen die Belegung der digitalen E/A-Baugruppen und geben einen Überblick über die Funktion der ein- und ausgehenden Signale.

**Tabelle 3: Digitale Eingänge**

Ein-gang	Bezeichnung	Bedeutung	Zugewiesene Adresse
0	Running Feedback Compressor	Laufrückmeldung des Verdichters	E0.0
1	Failure Compressor	Verdichterfehler	E0.1
2	Spare	Ersatzeingang	E0.2
3	Spare	Ersatzeingang	E0.3
4	Remote Start/ Stop Unit	Ferngesteuertes Starten und Stoppen der Kälteanlage	E0.4
5	Failure Crankcase Heater	Fehler der Ölwanneheizung	E0.5
6	Failure Anit-Condens Heater	Fehler der Anitkondensationsheizung	E0.6
7	Emergency Stop	"Notaus" (Betätigung des Notausknopfes der Bedieneinheit)	E0.7
8	Unit On/ Off	Lokales Ein- und Ausschalten der Kälteanlage durch Betätigung des An-Aus-Schalters der Bedieneinheit	E1.0
9	Failure Reset	Zurücksetzen von auf dem Display angezeigten Fehlern der Kälteanlage (Betätigung des „Failure Reset“-Knopfes)	E1.1
10	Screen Scroll	Weiterschaltung des Displaybildes (Betätigung des „Screen Scroll“-Knopfes)	E1.2
11	Thermistor Failure Motor	Überhitzungsfehler des E-Motors	E1.3
12	Failure Oilpump Running Feedback	Laufrückmeldungsfehler der Ölpumpe	E1.4
13	Spare	Ersatzeingang	E1.5
14	Spare	Ersatzeingang	E1.6
15	Spare	Ersatzeingang	E.17

**Tabelle 4: Digitale Ausgänge**

Ausgang	Bezeichnung	Bedeutung	Zugewiesene Adresse
0	Start Permission Compressor	Starterlaubnis zum Anlaufen des Verdichters	A0.0
1	Unloaded Start Valve	Bypass-Ventil zum unbelasteten Anlauf des Verdichters	A0.1
2	50% Capacity Valve	Ventil zur Zylinderabschaltung des Verdichters (s. Leistungsregelung)	A0.2
3	Crankcase Plate Heater	Ölsumpfheizung	A0.3
4	Anti-Condensation Heater	Anti-Kondensationsheizung (E-Motor)	A0.4
5	Valve Float Regulator	Strömungsregulierendes Ventil	A0.5
6	Spare	Ersatzausgang	A0.6
7	Spare	Ersatzausgang	A0.7
8	Spare	Ersatzausgang	A1.0
9	Spare	Ersatzausgang	A1.1
10	Spare	Ersatzausgang	A1.2
11	Water Cooling Valve	Ventil zur Regelung der Kühlung des Verdichters mit Wasser	A1.3
12	Oilpump	Ölpumpe	A1.4
13	Emergency Stop	„Notaus“	A1.5
14	Common Warning	Allgemeine Warnung	A1.6
15	Common Alarm	Allgemeiner Alarm	A1.7

## 2.7. Messwerterfassung

Für die Überwachung des Kältekreislaufes und für die Leistungsregelung der Komponenten ist es notwendig, analoge Signale wie Drücke, Füllstände und Temperaturen aufzunehmen. Dazu werden in der Kälteanlage folgende Typen von Sensoren eingesetzt: Drückwächter, Füllstandstransmitter und Thermofühler. Aktoren und Sensoren der Kälteanlage werden noch durch Parallelverdrahtung zur CPU geführt, das heißt, es gibt keinen Feldbus. Die Sensoren liefern analoge Signale, welche als Prozesswerte bezeichnet werden. Tabelle 5, PEW's mit Messbereichen und Alarmgrenzen, in Kapitel 2.8 gibt eine Übersicht über die Prozesswerte der Kälteanlage. Die Sensoren bestehen aus einem Sensorelement und einem MU (Messumformer). Im Sensorelement beeinflussen physikalische Effekte dessen elektrische Eigenschaft.

Nach einem Beispiel aus [3, p. 183] führt die Temperaturänderung bei einem Widerstandsthermometers zur Änderung seines ohmschen Widerstandes nach der vereinfachten Formel  $R = R_0(1 + \alpha \Delta\vartheta)$ .  $\alpha$  ist der Temperaturkoeffizient und beträgt für ein „Pt-100“-Widerstandsthermometer  $0,00385\text{K}^{-1}$ .  $\Delta\vartheta$  ist die Änderung der Temperatur. Das „Pt-100“-Widerstandsthermometer hat bei einer Temperatur von  $0^\circ\text{C}$  einen Widerstandswert von  $100\Omega$ . Bei einer Änderung der Temperatur von  $100\text{K}$  ergibt sich nach der Formel ein Widerstand-

wert von  $138,5\Omega$ . Dies ergibt eine Änderung des Widerstandswertes von  $38,5\Omega$ . Bei einem konstanten Strom über den Widerstand stellt sich dadurch eine Änderung der Spannung ein. Der MU formt daraus ein elektrisches äquivalentes Spannungssignal von 0-10V. Dieses Ausgangssignal folgt dabei proportional dem Eingangssignal. Da analoge Signale einen unendlich großen Wertevorrat besitzen, müssen sie in ein für die SPS speicherbares Signal mit endlichem Wertevorrat umgewandelt werden. Das heißt, die elektrische Spannung wird in einen binären Zahlenwert gewandelt. Diesen Vorgang nennt man auch Analog-Digital-Wandlung. Er geschieht durch den Analog-Digital-Wandler in den analogen Baugruppen der SPS. Diese schreiben den digitalisierten Wert in ein Eingangswort, z.B. „PEW 304“. Die Abbildung 7 zeigt den prinzipiellen Vorgang der Messwerterfassung und –Übertragung.

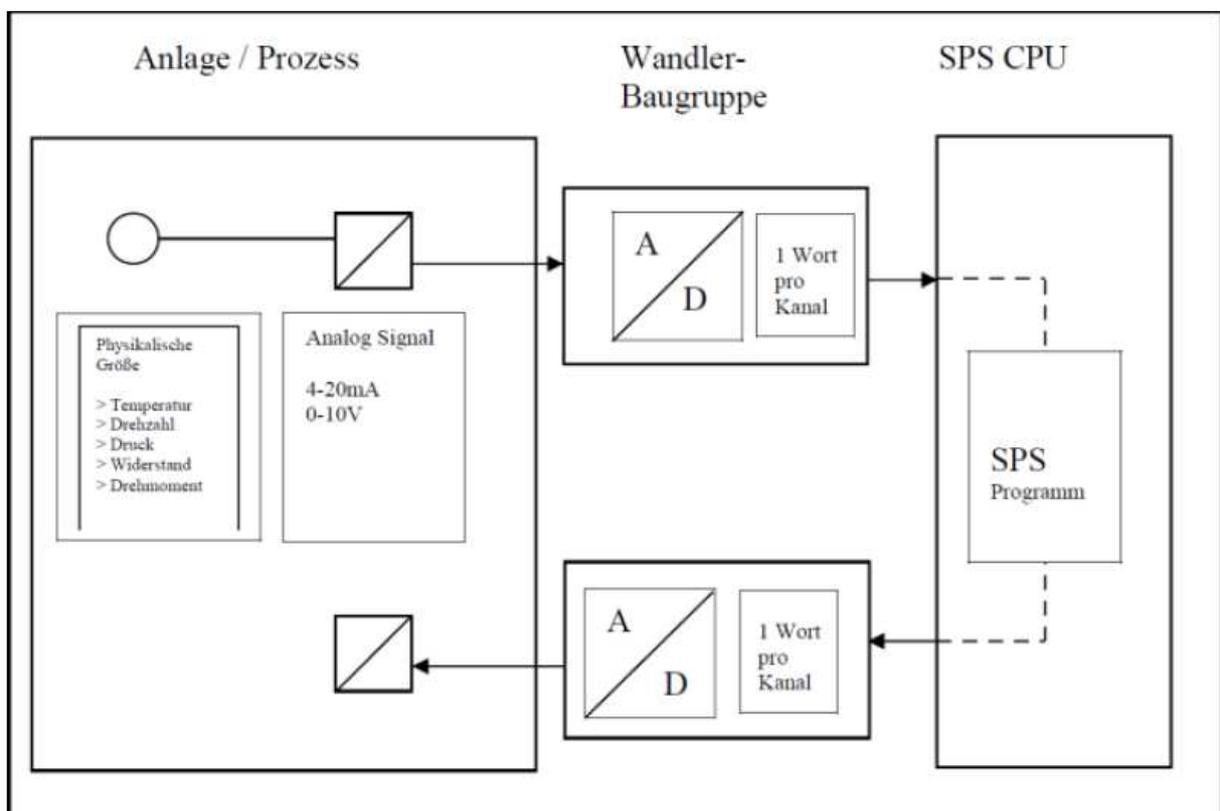


Abbildung 7: Übertragung von Prozesswerten (Quelle:[4])

[3], [4]

## 2.8. Messbereiche und Alarmgrenzen

Jeder Prozesswert hat einen fest vorgegebenen Messbereich mit Messbereichsanfang (MBA) und Messbereichsende (MBE). Innerhalb des Messbereichs liegen die Alarmgrenzen. Es gibt die obere Warn- und Alarmgrenze (high warning & high alarm) und die untere Warn- und Alarmgrenze (low warning & low alarm). Abgekürzt werden sie auch mit LL (low low), L (low), H (high) und HH (high high) bezeichnet. Bei der Überschreitung einer Warngrenze wird ein Warnsignal am Terminal ausgegeben. Der Betrieb der Anlage läuft jedoch normal weiter. Jedoch besteht die Möglichkeit, dem zu hohen oder zu tiefen Prozesswert entgegenzu-

steuern. Bei Überschreitung der Alarmgrenzen wird ebenfalls ein Alarmsignal an das Terminal gesandt, allerdings muss die Anlage im Regelfall abgeschaltet werden.

Zu den vier Hauptkomponenten, Verdampfer, Verdichter, Flüssigauffangbehälter und Kondensator, werden in Tabelle 5: PEW's mit Messbereichen und Alarmgrenzen angezeigt. Insgesamt gibt es 15 Prozesswerte. Die Adressen entsprechen denjenigen aus der alten „Omron“-Steuerung. Bei der Umrüstung werden sie entsprechend angepasst. Zur Identifizierung der PEW's sind die Kabel mit Tag-Adressen beschriftet. Weiterhin beinhaltet die Tabelle noch eine Spalte „Abkürzung“. Die Abkürzungen der PEW's wurden im Vorfeld vom Autor festgelegt, um bei der Programmierung den PEW's mit deren Messbereichen, Alarmgrenzen etc. einfache, unverwechselbare, symbolische Bezeichnungen geben zu können. Auffällig ist, dass einigen Prozesswerten Warn- und oder Alarmgrenzen fehlen. Das kommt daher, weil bei manchen Prozesswerten nur die Überschreitung oder nur die Unterschreitung eines bestimmten Wertes relevant ist. Beispielsweise kommt es beim Öldifferenzdruck im Verdichter nur darauf an, dass er nicht kleiner als 0,7 bar ist. Eine Alarmmeldung für die Überschreitung eines Wertes ist hier nicht nötig. Im Gegensatz dazu ist es beim Austrittsdruck des Ammoniaks (Dischargegas Pressure) beim Verdichter nur gefährlich, wenn ein Druck von 19 bar überschritten wird, da dann Ventile und Dichtungen zerstört werden könnten. Bei Drücken unter 7 bar reicht eine Warnmeldung, da „nur“ der Kältekreislauf gestört wird. Die orange-markierten Felder sind Werte, welche sich in Steuerungsprogramm der alten „Omron“-Steuerung und den Datenblättern der Kälteanlage unterschieden. Die hier eingetragenen Werte sind diejenigen, die bei der Umprogrammierung verwendet worden sind.

Tabelle 5: PEW's mit Messbereichen und Alarmgrenzen

Gerät	PEW-Adresse	Tag-Adresse	Bezeichnung	Abkürzung	Daten-merker	MBA	MBE	Einheit	LL	L	H	HH
Compressor	PEW304	K01-021	Dischargegas Temperature	C_DGT	2010	0	150	°C	20	50	130	150
Compressor	PEW306	K01-022	Dischargegas Pressure 1	C_DGP1	2008	-1	26	Bar		7	15	19
Compressor	PEW308	K01-018	Dischargegas Pressure 2	C_DGP2	2006	-1	26	Bar		7	15	19
Compressor	PEW310	K01-012	Oil Difference Pressure	C_ODP	2000	-1	26	Bar	0,7	1		
Compressor	PEW312	K01-014	Suctiongas Temperature	C_SGT	2002	-10	50	°C		-5	25	
Compressor	PEW314	K01-015	Suctiongas Pressure	C_SGP	2004	-1	10	Bar	2,2	2,7	9	
Receiver	PEW318	R01-005	Liquid Level	R_LL	2102	0	3,3	M		0	0,7	
Receiver	PEW316	R01-015	Pressure	R_P	2104	0	25	Bar		3,6	19	21
Gaschiller	PEW322	A01-007	Liquid Level	G_LL	2054	0	1,5	M	****	0,3	0,95	1,08
Gaschiller	PEW320	A01-018	Pressure	G_P	2056	0	25	Bar		1,9	19	21
Gaschiller	PEW326	A01-021	Outlet Temperature 1	G_OT1	2058	-10	60	°C	0,5	2,5	50	
Gaschiller	PEW328	A01-022	Outlet Temperature 2	G_OT2	2060	-10	60	°C	0,5	2,5	50	
Gaschiller	PEW324	A01-023	Inlet Temperature	G_IT	2062	0	50	°C		10	50	
Gaschiller	PEW330	A01-027	Flow Δpressure	G_FP	2064	0	2	kPa	0,15	0,25	2	
Condenser	PEW332	C01-004	Waterflow Pressure	C_WP	2046	0	100	kPa	10	15	100	

## 3. Speicherprogrammierbare Steuerungen

Das automatisierte Arbeiten der Kälteanlage ist durch den Einsatz einer speicherprogrammierbaren Steuerung möglich. Im folgenden Kapitel werden Speicherprogrammierbare Steuerungen in Aufbau und Arbeitsweise beschrieben.

### 3.1. Definition

Eine Speicherprogrammierbare Steuerung ist ein Steuerungssystem, welches für das Regeln oder Steuern automatisierter Anwendungen in hauptsächlich industriellen Umgebungen eingesetzt wird. Sie enthalten einen Programmspeicher, in dem die Steueranweisungen des Anwenders abgelegt sind. Für die Softwareerstellung werden zusätzliche Geräte (Programmiergeräte) benötigt. [5]

### 3.2. Aufbau

SPSen sind modulare Geräte, sie werden angepasst an die jeweilige Steuerungsaufgabe, aus verschiedenen Geräten zusammengesetzt. Die SPS ist kein geschlossenes Gerät, das heißt, dass eine bestimmte Komponente jederzeit z.B. durch eine leistungsstärkere ersetzt werden kann, ohne am Rahmen oder an den anderen Baugruppen etwas zu ändern.

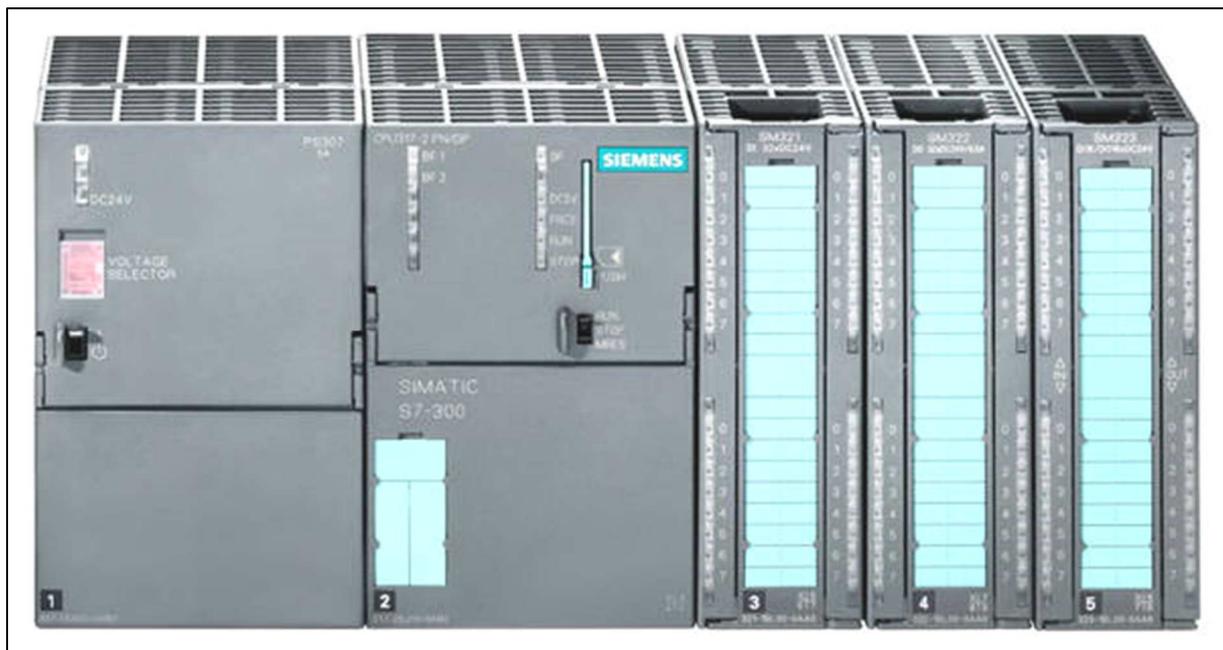


Abbildung 8: modulare SPS (Quelle: <http://www.sps-lehrgang.de/sps/>)

Jede Baugruppe hat einen zugeordneten Steckplatz auf dem Rahmen. Tabelle 6, Bestandteile der Kälteanlage, zeigt die Baugruppen mit ihren Steckplätzen.

**Tabelle 6: Komponenten einer SPS**

Bestandteil	Engl. Abkürzung	Steckplatz auf dem Rahmen
Rahmen	Rack	-
Stromversorgung	PS	1
Zentralbaugruppe mit Speichern	CPU	2
Anschaltungsbaugruppe	IM	3
E/A-Baugruppen	SM	4-11
Kommunikationsbaugruppe	CM	4-11
Funktionsbaugruppe	FM	4-11

Der Rahmen ist der aus Aluminiumschienen bestehende Träger der Baugruppen. Die Stromversorgung (PS – Power Supply) versorgt die CPU mit einer 120/130V Wechselspannung oder 24V Gleichspannung. „Aus dieser Spannung leitet die CPU die erforderlichen internen Betriebsspannungen ab.“ [5, p. 55] Die CPU (Central Processing Unit) enthält das Betriebssystem, welches im ROM-Speicher abgelegt ist, und den Anwendungsspeicher. Sie hat außerdem eine MPI-Schnittstelle (Multi-Point-Interface-Schnittstelle) zum Anschluss eines Programmiergerätes. Der Anwendungsspeicher der CPU besteht aus dem Ladespeicher (EEPROM), dem Arbeitsspeicher (RAM) und dem Remanenzspeicher (EPROM). Der Ladespeicher der CPU enthält die Konfigurationsdaten und das Anwenderprogramm, wobei die ablaufrelevanten Teile wie Code- und Datenbausteine im Arbeitsspeicher (RAM) stehen. Die Variablenwerte, die auch bei Spannungsausfall erhalten bleiben sollen (spannungssicher), werden im Remanenzspeicher abgespeichert. Durch die analogen und digitalen E/A-Baugruppen (SM – Signal Modules) wird die SPS mit den Sensoren und Aktoren verbunden. „Mit Eingabebaugruppen kann die CPU Betriebszustände der Maschine oder der Anlage abfragen und mit Ausgabebaugruppen steuernd eingreifen.“ [5, p. 49] Die Prozesswerte werden als Strom- oder Spannungswerte übertragen. Bei Stromsignalen werden typischerweise mit 0-20mA oder 4-20mA (lebender Nullpunkt) und Spannungssignale mit 0-10V oder 2-10V (lebender Nullpunkt) übertragen. Die Anschaltungsbaugruppe (IM – Interface Module) verbindet die Baugruppenträger miteinander und liefert die Versorgungsspannung für die Signalbaugruppen über den Rückwandbus. Die Kommunikationsbaugruppen (CM - Communication Module) übernehmen den Verbindungsaufbau zu einem Kommunikationspartner und steuern den Datenaustausch. Sie sind mit einem Prozessor (CP – Communication Processor) ausgestattet, welcher die CPU durch Übernahme der Kommunikationsaufgaben entlastet und für hohe Datenübertragungsraten sorgt. Je nach Typ sind sie mit unterschiedlichen Schnittstellen ausgestattet z.B.: Profibus DP, RS232/485 (Punkt zu Punkt) und Ethernet. Die Funktionsbaugruppen werden auch als aktive Baugruppen bezeichnet. Auch sie haben einen eigenen Prozessor und werden zur Entlastung der CPU eingesetzt, um Aufgaben, bei denen eine zeitkritische und speicherintensive Verarbeitung von Prozesssignalen auftritt, zu übernehmen. „Solche Baugruppen gibt es z.B. für die Funktionen Wegerfassung, Ventilansteuerung, Positionierung, Antriebsregelung, Verarbeitung schneller Zählimpulse oder Temperaturregelung.“ [6, p. 151]

[5], [6], [7]

### 3.3. Datenkommunikation

Damit die Baugruppen überhaupt erst Daten, Adressen und Steuerbefehle austauschen können, müssen sie über Datenleitungen miteinander verbunden werden. An der Rückseite des Gehäuses einer SPS ist dafür ein Rückwandbus verbaut, der aus drei parallelen Leitungen besteht: Adressbus, Datenbus und Steuerbus. Die CPU wird durch ihn mit dem CP verbunden. Am CP hängt der Feldbus. Es gibt allerdings auch Varianten, in denen die CPU als Busmaster eine eigene integrierte Busschnittstelle hat. Der Feldbus wird als Kommunikationssystem zur Übertragung von Informationen zwischen Anlagenkomponenten benötigt. Dies können Messsignale, Statusmeldungen oder Diagnoseinformationen sein, welche als digitale Datensignale übertragen werden. Dafür werden Datentelegramme erzeugt, welche u.a. Sende- und Empfangsadressen sowie Nutzdaten enthalten. Bussysteme haben den Vorteil, dass ein wesentlich geringerer Verdrahtungsaufwand der einzelnen Anlagenkomponenten nötig ist. Da die Kommunikationsaufgaben und der Verdrahtungsaufwand der Kälteanlage eher gering ausfallen, wurden hier die Komponenten einzeln mit den analogen und digitalen Baugruppen der SPS verbunden, das heißt es wurde kein Feldbus verwendet. Daher beschränkt sich der Autor im Folgenden darauf, einige Bussysteme zu nennen. In der Kommunikationstechnik werden drei Kommunikationsebenen unterschieden: Feldebene, Prozessleitebene und Managementebene. Die Kommunikationsebenen unterscheiden sich in Datenmengen, Anforderungen an Zuverlässigkeit und Übertragungsgeschwindigkeiten. In der Feldebene, dem prozessnahem Bereich werden vorwiegend Master-Slave-Systeme wie der AS-i-Bus (Aktor-Sensor-Interface), der Profibus (Process Field Bus) und der Interbus eingesetzt. Beim Profibus werden die Varianten FMS (Fieldbus Message Specification), DP (Dezentrale Peripherie) und PA (Process Automation) unterschieden. In der mittleren Kommunikationsebene wird vor allem der Profinet auf Industrial Ethernet und in der Managementebene hauptsächlich Ethernet-TCP/IP eingesetzt.

[7], [8]

### 3.4. Funktionsweise

Eine Speicherprogrammierbare Steuerung arbeitet nach dem EVA-Prinzip (Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe). Auf der Anschlussleiste der Eingabebaugruppe gehen Spannungsimpulse von den Signalgebern (Sensoren) ein. Der Steuerungsprozessor fragt die einzelnen Eingänge des Gerätes ab, ob sie Spannung führen oder nicht und erstellt ein Prozessabbild der Eingänge (PAE), welches die Zustände der Eingangssignale speichert. Die Programmverarbeitung der Eingangssignale einer SPS wird im Steuerungsprogramm zyklisch und linear ausgeführt, um Änderungen zu erfassen und entsprechend umsetzen zu können. Jedoch auch dann, wenn von außen keine Aktionen gefordert sind, also keine Änderungen vorliegen, wird das Steuerungsprogramm abgearbeitet. Nacheinander werden die verschiedenen FC's und FB's aufgerufen. Dabei wird nicht auf die Eingänge zugegriffen, sondern immer nur auf die Kopie PAE. Dadurch wird verhindert, dass Probleme bei mehrfacher Abfrage eines Einganges entstehen, wenn dieser sich zwischen zwei Zugriffen geändert hat. Die Ergebnisse der Verarbeitung werden in ein Prozessabbild der Ausgänge (PAA) geschrieben, welches nach der letzten Steueranweisung, also am Zyklusende, die Signalzustände an die Ausgänge übergibt. Das heißt, der Prozessor gibt der

Ausgabebaugruppe vor, auf welche Anschlüsse Spannung zu schalten ist. Die Zeit zwischen zwei Übertragungen der PAE's an die Ausgänge, ist die Zykluszeit. Ihre Länge hängt von der Leistung der verwendeten CPU und der Anzahl der zu bearbeiteten Anweisungen ab. Letztere kann von Zyklus zu Zyklus variieren, da es vorkommen kann das Bedingungen für bestimmte Anweisungen bei einem Zyklus gegeben sind und beim anderem Zyklus nicht. Neben der normalen Programmabarbeitung ist eine unterbrechungsgesteuerte Programmbearbeitung möglich. Dazu ordnet der Benutzer bestimmten Ereignissen wie Prozess- oder Weckalarmen Organisationsbausteine zu, welche dann beim Eintreten dieser Ereignisse das Hauptprogramm unterbrechen. Der Steuerungsprozessor arbeitet dann zunächst die entsprechenden Organisationsbausteine ab und setzt dann die Abarbeitung des Hauptprogramms fort.

[5], [8],[9]

## **3.5. SPS-Programmiersprachen**

Um für speicherprogrammierbare Steuerungen ein Anwenderprogramm zu entwickeln, gibt es, festgelegt durch die Norm EN 61131-3, fünf Programmiersprachen:

- Anweisungsliste (AWL)
- Strukturierter Text (ST)
- Ablaufsprache (AS)
- Kontaktplan (KOP)
- Funktionsplan (FUP)

AWL und ST sind textuelle Sprachen, KOP und FUP grafische. Die Sprache AS gibt es in beiden Varianten. Das Steuerungsprogramm der alten „Omron“-SPS wurde mit KOP geschrieben, das neue Steuerungsprogramm mit FUP. Im Folgenden werden beide Sprachen beschrieben.

### **3.5.1. Funktionsplan (FUP)**

Der Funktionsplan bzw. die Funktionsbausteinsprache (FBS) stellen Operationen in Form von Bausteinen mit entsprechenden Symbolen bildlich da. Mit Linien werden die Elemente verknüpft. Dabei können auch Verzweigungen auftreten. Mit einem kleinen Kreis vor einem Element wird eine Negation gekennzeichnet. Nicht verbundene Eingänge können mit Variablen oder Konstanten belegt werden. Es gibt auch Eingänge, die nicht beschaltet werden müssen. Eingangsoperanten werden immer links und Ausgangsoperanten immer rechts des Bausteines angeschlossen. Zur Vereinfachung können den Operanten symbolische Bezeichnungen zugeordnet werden. Die FBS stellt auch Sprünge zur gezielten Abarbeitung einer Netzwerk-Reihenfolge bereit. Außerdem kann mit Rückkopplungsvariablen gearbeitet werden. Das heißt, eine Ausgangsvariable kann als Eingangsvariable in einem Netzwerk verwendet werden. Bei der Berechnung wird dann beim ersten Mal ihr Ausgangswert und dann nur noch ihr Endwert, also der Wert nach der letzten Berechnung des Netzwerkes, verwendet.

### **3.5.2. Kontaktplan (KOP)**

Der Kontaktplan ist eine grafische orientierte Programmiersprache, welche dem Charakter von Stromlaufplänen gleicht und damit für Elektriker gut geeignet ist. Zur besseren Darstellung auf Computerbildschirmen werden die Strompfade waagrecht und die beiden äußeren Stromschienen senkrecht angeordnet. KOP-Netzwerke bestehen aus Verbindungen, Kontakten und Spulen, Grafikelementen und Konnektoren. Die Kontakte übernehmen die

Logik einfacher boolesche Grundgatter wie „UND“ und „ODER“. Die Grafikelemente (Boxen) können mathematische Funktionen darstellen. Konnektoren können entweder vom Benutzer erstellt werden oder werden automatisch generiert, wenn z.B. für Verbindungen auf dem Bildschirm kein ausreichender Platz vorhanden ist. Sie stellen eine Art Zeilenumbruch für Verbindungslinien dar. Der Kontaktplan beschränkt sich auf die Verarbeitung von booleschen Werten. Der „Strom“ fließt von der linken Stromschiene, welche den logischen Zustand „1“ hat, über die seriell oder parallel angeordneten Elementen zu den Ausgängen (Spulen). Je nach Zustand der Elemente wird der Strom weitergeführt oder nicht. Ein Kontaktplan besteht aus mehreren Netzwerken, welche von links nach rechts und von oben nach unten abgearbeitet werden.

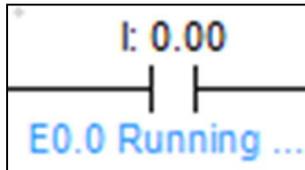


Abbildung 9: KOP – Schließer

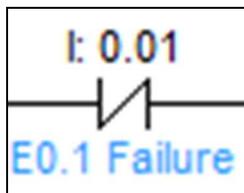


Abbildung 10: KOP - Öffner

Die Abbildung 9, zeigt einen Schließer, der den Zustand (True oder False) der linken Seite auf die rechte Seite überträgt, wenn seine boolesche Variable den Wert „true“ hat. Der Öffner aus Abbildung 10, arbeitet gegenteilig. Über dem Kontakt wird die Adresse der Variable angezeigt, welche hier zusätzlich mit einem Kommentar versehen ist (unter dem Kontakt).

[10], [11]

### 3.6. Programm-Organisationseinheiten – POE

Das Anwenderprogramm wird in verschiedenen Bausteine geschrieben, welche einer bestimmten Struktur unterstehen. Die einzelnen Bausteine sind funktionell unabhängig voneinander und können getrennt erstellt und bearbeitet werden. Das Nutzen der Bausteintechnik bringt einige Vorteile. So können Anweisungen je nach Typ auf mehrere Bausteine verteilt werden. Dadurch kann auch die technologische Struktur abgebildet werden. Allgemein trägt die Strukturierung zum besseren Verständnis des gesamten Programms bei. Die Bausteine übernehmen Teilfunktionen, welche getrennt voneinander bearbeitet und getestet werden können. Der fertige Baustein kann in mehreren Zusammenhängen verwendet werden. Die Abbildung 11, Codebausteine in „STEP 7“, gibt einen Überblick über die hierarchische Einordnung der Programmorganisationseinheiten.

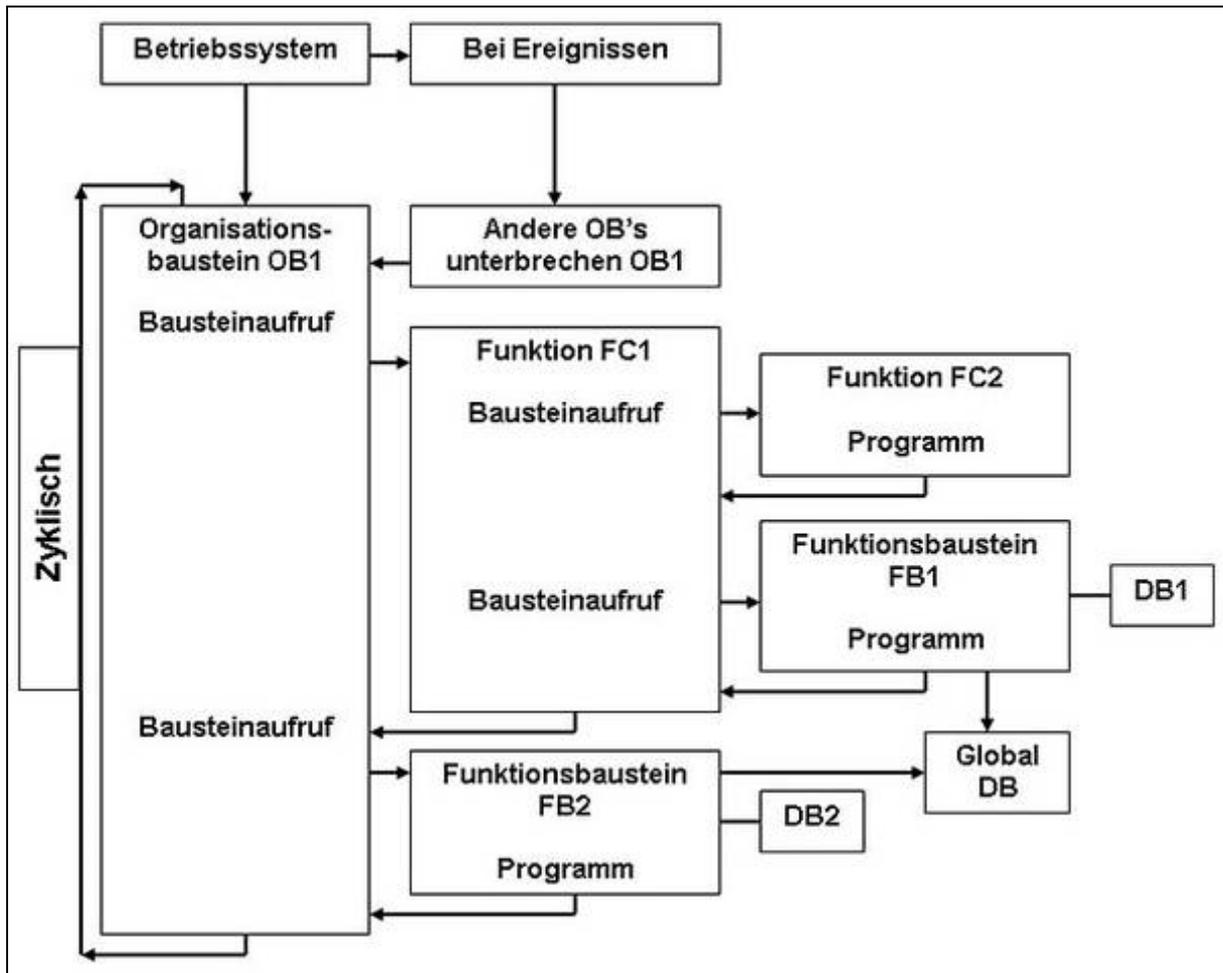


Abbildung 11: Codebausteine in „STEP 7“

Beim normalen Start des Anwenderprogramms wird der Organisationsbaustein 1 (OB1) aufgerufen. Dieser ruft dann nacheinander Funktionen auf, die das eigentliche Anwenderprogramm enthalten. Die Funktionen können wiederum andere Funktionen und Funktionsbausteine aufrufen, welche Teilaufgaben des Programms übernehmen. Datenbausteine übernehmen die Speicherung von Daten, welche von Funktionsbausteinen abgefragt und beschrieben werden. Sind die Anweisungen einer Funktion abgearbeitet worden, ruft der OB1 die nächste Funktion auf. Nachdem die letzte Funktion abgearbeitet wurde, beginnt der OB1 von vorne. Beim Eintreten verschiedener Ereignisse, wie Alarmen, Stromausfällen etc. werden andere Organisationsbausteine aufgerufen, in denen die Anweisungen für solche Sonderfälle stehen. Bei der Programmabarbeitung können die verschiedenen Bausteine stets nur andere Bausteine aufrufen, jedoch nie sich selbst, das heißt, sie dürfen nicht rekursiv arbeiten. Die IEC 1131-3 beschränkt sich bei den Bausteintypen auf drei Grundtypen der Programmorganisationseinheiten: Programm, Funktionsbaustein, Funktion. In „Step 7“ ist die Palette der POE's etwas breiter gefächert. Im Folgenden werden die im SPS-Programm verwendeten Bausteintypen näher beschrieben. Dies sind:

- Der Organisationsbaustein – OB
- Die Funktion – FC

- Der Funktionsbaustein – FB
- Der Datenbaustein – DB

### **3.6.1. Organisationbaustein – OB**

Der Organisationbaustein ist die oberste POE und legt die Reihenfolgen der zu abarbeitenden Programmteile fest. Er bildet die Schnittstelle zwischen dem Anwenderprogramm und dem Betriebssystem. Der Start eines OB's wird durch einen Alarm veranlasst. In „STEP 7“ gibt es u. a. folgende (Alarm-) Arten von OB's, welche hier nach Priorität aufgelistet sind:

- Freier Zyklus
- Uhrzeitalarme
- Verzögerungsalarme
- Weckalarme
- Prozessalarme
- Anlauf

Die höherprioritären OB's können niederprioritäre OB's unterbrechen.

### **3.6.2. Funktion - FC**

Funktionen sind Unterprogramme mit abgeschlossenem Innenleben. Sie können beliebig viele Eingangsparameter haben, liefern aber nur ein Resultat. Die gleichen Eingangsparameter liefern dabei stets das gleiche Resultat. Ein FC hat kein Gedächtnis, das heißt, temporäre Variablen werden nach Abarbeitung des FC'S nicht gespeichert. Globale Variablen dürfen weder gelesen noch beschrieben werden. Der Vorteil bei der Verwendung von Funktionen ist, dass wiederkehrende Probleme oder Aufgaben mit einem Baustein gelöst werden, ohne dieselbe Logik neu programmieren zu müssen.

### **3.6.3. Funktionsbaustein - FB**

Im Gegensatz zur FC kann der FB beliebig viele Eingangs- und Ausgangsparameter haben. Zudem können seine verwendeten Parameter aus einem zugehörigen Instanz-Datenbaustein geladen und dort hinterher wieder gespeichert werden. Dadurch gehen die lokalen Daten nach Bearbeitung des FB's nicht verloren. Ein FB kann also ein Gedächtnis haben. Die Softwareanbieter speicherprogrammierbarer Steuerungen stellen in ihren Softwarepaketen bereits Standardfunktionsbausteine bereit, welche die wesentlichen Anforderungen der Steuerungstechnik abdecken. Spezielle Aufgaben muss der Anwender selbst programmieren. Jedoch hat auch er die Möglichkeit sich selbst Standard-Bausteine zu erstellen.

### **3.6.4. Datenbaustein – DB**

Ein Datenbaustein besteht aus bis zu 256 Datenworten. In Ihnen werden keine Programmanweisungen abgearbeitet, sondern sie dienen lediglich der Aufnahme von festen und variablen Anwenderdaten. Die Größe der DB's kann je nach Informationsumfang variieren. Den verschiedenen Typen an Anwenderdaten müssen entsprechende Datentypen zugeordnet werden.

[11], [8], [7]

## 4. Software

Zur Erstellung des Anwenderprogramms der Kälteanlage wurde die Engineeringsoftware „CX-One“ verwendet. Der Autor hat zur Analyse des Anwenderprogramms eine neuere Version von „CX-One“ verwendet und zur Migration die Engineeringsoftware „STEP 7“. Beide werden in diesem Kapitel vorgestellt.

### 4.1. „CX-One“

Das Software-Management-Tool „CX-One“ ist eine Programmier- und Konfigurationsumgebung, welche die Software für die „Omron“-SPS und die anderen Automationsglieder vereint. Der Vorteil ist, dass es nur eine grafische Benutzeroberfläche und ein Programmier- und Simulations-Tool für alle Komponenten gibt. Dadurch wird der Konfigurationsaufwand wesentlich reduziert. „CX-One“ ermöglicht das Einrichten, Inbetriebnehmen und Überwachen von CPU-Bus und Automationskomponenten wie Netzwerke, Steuerungen, Antriebe, Sensoren, Temperaturregulieren, Bedienerterminals, Motion-Control-Systeme etc. sowie deren Erfassung, Visualisierung und Steuerung. Das Tool-Paket „CX-One“ gliedert sich nach [12, p. 4] in mehrere Bestandteile.

**Tabelle 7: „CX-One“ - Spezifikationen**

Software für Netzwerkkommunikation	CX-Interator CX-Protocol CX-Profibus
Programmier- und Simulations-Software SPS- Programmierung HMI-Programmierung	CX-Programmer CX-Simulato SwitchBox-Dienstprogramm CX-Designer SPS-Programmmonitor
Software für Antriebstechnik und Motion- Controller	CX-Motion, NCF, MCH, CX-Postion CX-Drive
Software für Regelungstechnik	CX-Thermo CX-Prozess-Tool Faceplate Builder der NS-Serie

Zum Zeitpunkt der Entwicklung des Steuerungsprogramms waren die meisten Tools noch nicht in der heutigen Form vorhanden. Einige Programmierungslösungen mussten daher auf umständliche Art und Weise entwickelt werden.

### 4.1.1. „CX-One“-Programmer

Der „CX-One“-Programmer ist das Tool zur Programmierung von Steuerungsprogrammen der „Omron“-SPSen. „Eine einfache Konvertierung und die Wiederverwendung des SPS-Programms zwischen verschiedenen Steuerungs-Typen sowie die vollständige Wiederverwendung von Anwenderprogrammen, die mit einer älteren SPS-Programmiersoftware erstellt wurden, sind möglich.“ [13, p. 6] Im Praktikum wurde mit der Version 9.51 gearbeitet. Die Abbildung 12 zeigt das Programm in der Normalansicht.

Die Oberfläche gliedert sich in mehrere Bereiche:

1. Werkzeugleiste
2. Projektfenster
3. Adressenreferenzwerkzeug
4. Arbeitsfenster
5. Statusleiste

Die Werkzeugleiste enthält verschiedene Buttons zur schnellen Bedienung des Programms. Das Projektfenster stellt die Struktur des Projektes dar und dient der Navigation. Es enthält „Symbole“, „E/A-Tabelle“, „Einstellungen“, „Erweiterungsbefehle“, „Speicher“ und schließlich „Programme“, in dem die Programmstruktur abgelegt ist. Das Adressenreferenzwerkzeug ist ein nützliches Tool, welches die Verwendungsstellen einer markierten Adresse bzw. Variablen anzeigt. Das eigentliche Programm wird im Arbeitsfenster abgebildet und bearbeitet. In der Statusleiste werden Informationen zur angeschlossenen SPS bzw. zum Netzwerk gegeben

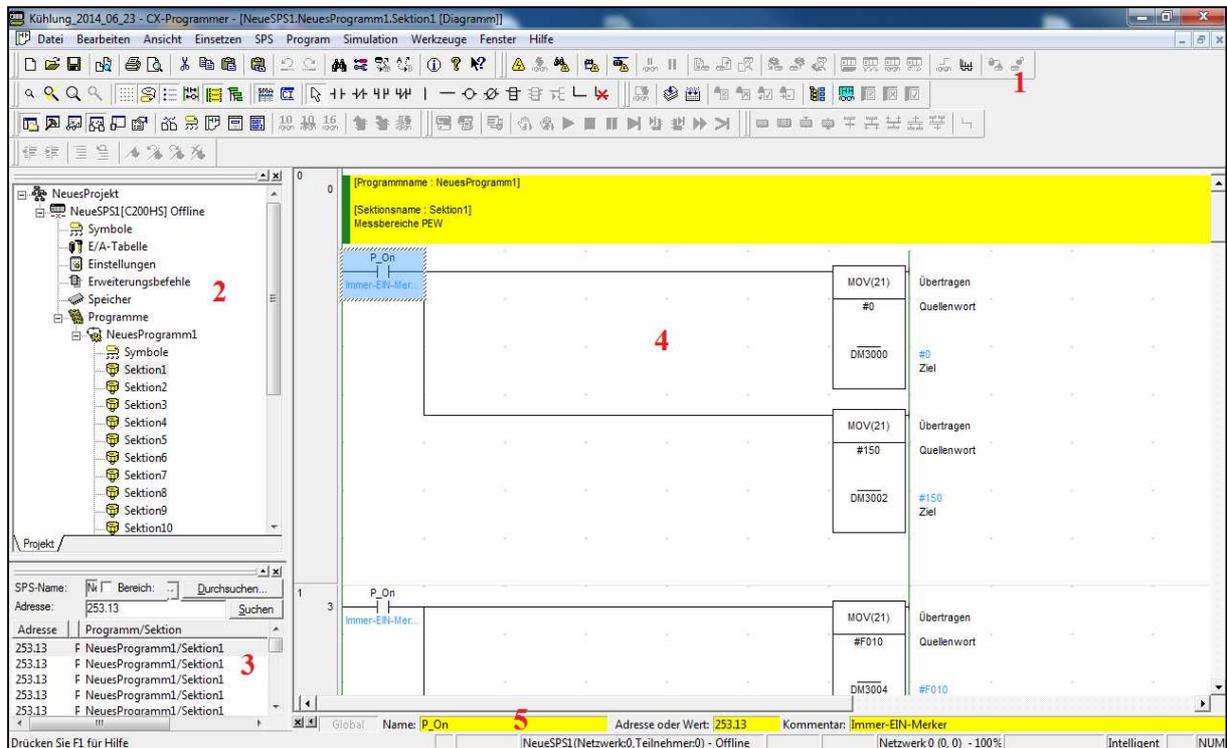


Abbildung 12: „CX-One“-Programmer – Oberfläche

[12], [13]

## 4.2. „STEP 7“

„STEP 7“ ist das Basispaket zur Konfigurierung und Programmierung von SIMATIC Automatisierungssystemen. Es ist Teil der SIMATIC Industrie Software.“ [14, p. 23] Der Begriff „STEP 7“ steht für „Steuerungen einfach Programmieren“. Im Projekt wird die Version „STEP 7“-V5.5 benutzt. Das Basispaket enthält die Programmiersprachen Funktionsplan, Kontaktplan und Anweisungsliste, mit denen das Anwenderprogramm geschrieben werden kann. Eine Erweiterung des Funktionsumfangs ist mit Optionspaketen wie S7-SCL (Structured Control Language), S7-Graph (Ablaufkettenprojektierung), S7-HiGraph (Zustandsgraph) möglich. Laut [14] unterstützt „STEP 7“ den Benutzer bei der Erstellung von Automatisierungslösungen in folgenden Punkten:

- Einrichten und Verwalten von Projekten,
- Konfigurieren und Parametrieren der Hardware und der Kommunikation,
- Verwaltung von Symbolen,
- Programmerstellung z. B. für S7-Zielsysteme,
- Laden von Programmen auf Zielsysteme,
- Test der Automatisierungsanlage,
- Diagnose bei Anlagenstörungen.

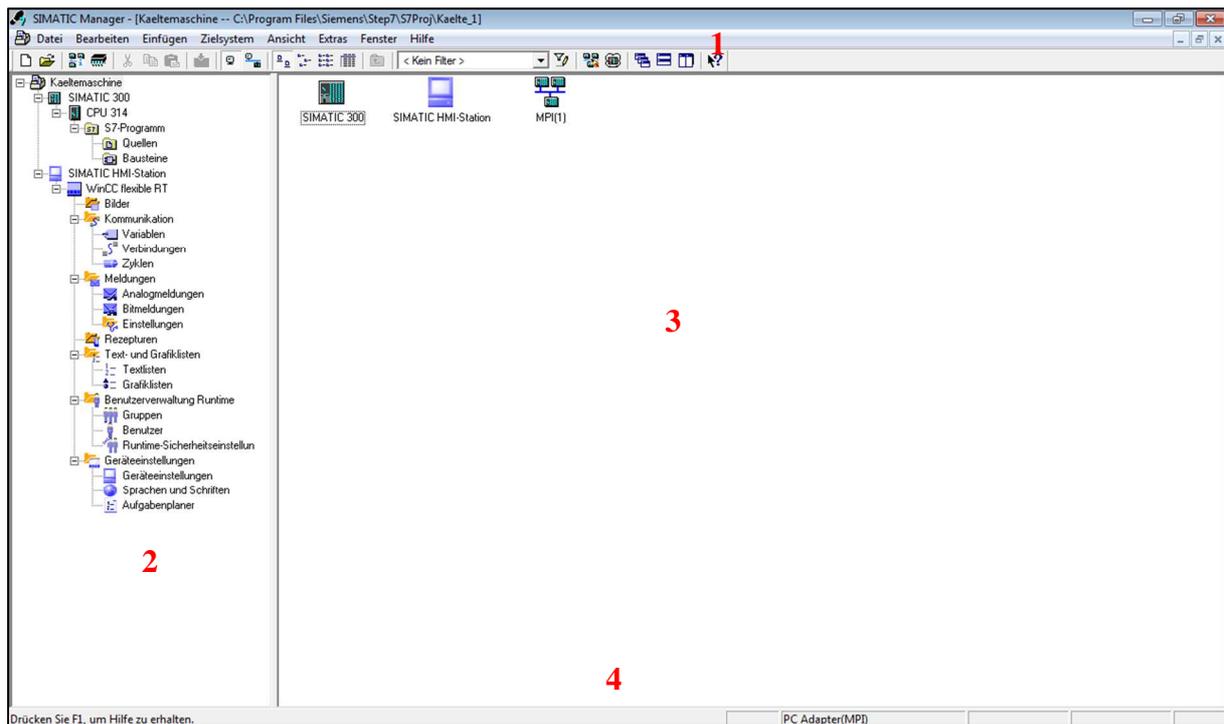
Das Basispaket enthält außerdem Tools für die Hardwarekonfiguration und Diagnose sowie den SIMATIC Manager.

### 4.2.1. SIMATIC Manager

Der SIMATIC Manager ist der zentrale Arbeitsbereich von „STEP 7“. Mit ihm hat der Benutzer die Möglichkeit, ein Projekt zu erstellen sowie die Hardwarekonfiguration und -Vernetzung vorzunehmen, Bausteine zu programmieren und zu testen. Dabei kann im Online-Modus, das heißt mit angeschlossener Steuerung oder im Offline-Modus, also ohne angeschlossene Steuerung gearbeitet werden. Die Abbildung 13, SIMATIC Manager-Oberfläche, ist ähnlich wie die des „CX-One“-Programmers aufgebaut und gliedert sich in folgende Bereiche:

1. Werkzeugleiste
2. Projektfenster
3. Arbeitsfenster
4. Statusleiste

Auch die Funktionen der Bereiche sind mit denen im „CX-One“ vergleichbar und müssen hier nicht weiter beschrieben werden.



**Abbildung 13: SIMATIC Manager-Oberfläche**

Der SIMATIC Manager verwaltet alle Daten eines Projektes. Es wird mit Objekten gearbeitet, die in einer Baumstruktur hierarchisch angeordnet sind. Die Projektstruktur ist im Bereich 2, dem Projektfenster, zu sehen. An erster Stelle der Hierarchieebene steht das Projekt, darunter folgen die SIMATIC-Station, dann die CPU (Central Processing Unit) und schließlich das S7-Programm mit den Quellen und Bausteinen. Beim Öffnen eines Objektes der untersten Hierarchieebene wird das entsprechende Tool zur Bearbeitung dieses Objekts gestartet.

### ***Symboleditor***

Mit dem Symboleditor kann der Benutzer globale Variablen definieren und ihnen einen symbolischen Namen geben und zusätzlich mit Kommentaren versehen. Die Variablen werden anschließend in einer Symboltabelle gespeichert, welche von alle SIMATIC-Tools verwendet wird. Dies hat den Vorteil, dass die Änderung einer Variablen in allen Tools übernommen wird. Mit der Symboltabelle erhält der Benutzer eine übersichtliche Darstellung über die Variablen und deren symbolischen Bezeichnungen, Adressen und Datentypen. Zudem besteht die Möglichkeit, Symbole zu sortieren und zu filtern.

### ***Variablentabelle***

Die Variablentabelle ist ein nützliches Objekt zur Steuerung und Überwachung von Variablen während eines Programmtests. Der Benutzer legt alle gewünschten Variablen in der Tabelle ab und kann sie beim Programmtest beobachten, sie ansteuern oder ihnen manuell Werte zuweisen.

[6], [14]

## 5. Programmanalyse „CX-One“

Im Praktikum musste das alte Steuerungsprogramm „Kühlung“ der „Omron“-SPS gründlich analysiert werden um überhaupt erst einmal einen Überblick zu erhalten, welche Aufgaben und Funktionalitäten die Steuerung übernehmen soll. Diese sind vom Auftraggeber nicht separat niedergeschrieben worden. Daher blieb bei der Umrüstung nur die Möglichkeit anhand des alten Programms die Steuerungsaufgaben zu ermitteln. Wie bereits erwähnt wurde das Programm mit der Programmiersprache KOP entwickelt. Auf den folgenden Seiten wird der inhaltliche Aufbau des alten Steuerungsprogramms der „Omron“-SPS beschrieben.

### 5.1. Aufbau

Das Programm gliedert sich in 21 Sektionen, wobei die Sektionen 18-20 Unterprogramme darstellen. Die Unterprogramme sind im Prinzip Funktionen, da sie nur ein Ergebnis ausgeben. Sie werden an mehreren Stellen aufgerufen. Die Sektionen sind nichts anderes als einzelne Programabschnitte, welche nacheinander abgearbeitet werden. Sie sind in Tabelle 8 aufgelistet und werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

**Tabelle 8: Thematisierung der Sektionen**

<b>Sektion</b>	<b>Bezeichnung</b>
1	Messbereiche der Prozesswerte
2	Alarm- und Warngrenzen der Prozesswerte
3	Konstanten
4	Zurücksetzen von Schalterbit 320.00
5	Analoge Eingänge
6	Analogwertverarbeitung
7	Rücksetzen von Alarmen und Fehlern.
8	Fehler, Messbereichs- und Grenzüberschreitungen
9	Gruppierung von Alarmen und Fehlern
10	Gruppierung von Warnungen
11	Schaltbedingungen, -Zustände
12	Temperaturregelung
13	DO (digitale Ausgänge), AO (analoge Ausgänge)
14	Betriebszustände und Aktorenstellungen
15	Displaysteuerung
16	Laufzeit, Kompressor Kapazität
17	Leer
18	Unterprogramm 10 - Analogwertverarbeitung
19	Unterprogramm 20 - Grenzwertüberwachung
20	Unterprogramm 30 - Temperaturfunktion
21	Programmende

### 5.1.1. Sektion 1

In der ersten Sektion werden zunächst die Messbereiche der 15 Prozesswerte (s. Tabelle 5) festgelegt. Dazu werden MBA und MBE als Konstanten per „MOV(21)“-Befehl in verschiedenen Datenmerkern gespeichert. Abbildung 14 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des KOP.

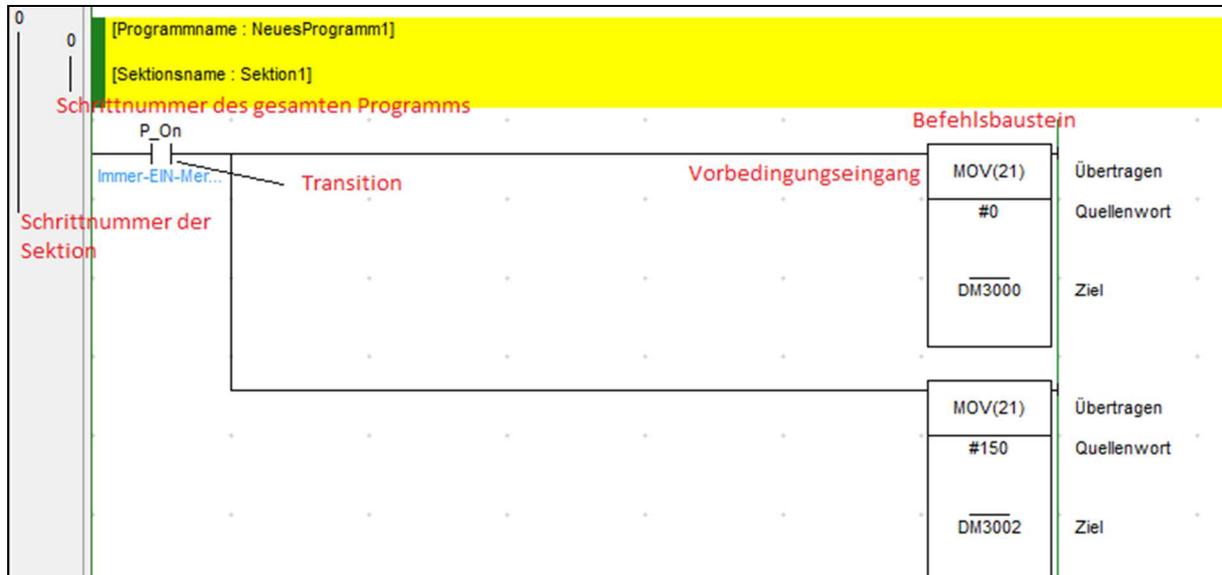


Abbildung 14: Sektion 1, Netzwerk 0

### 5.1.2. Sektion 2

Auch diese Sektion besteht lediglich aus Mov-Boxen für die Festlegung von Alarm- und Warngrenzen, welche ebenfalls in Datenmerkern abgelegt werden.

### 5.1.3. Sektion 3

In dieser Sektion werden Konstanten gebildet, die später z.B. für Timer als Zeitwerte oder für Counter als Zählwerte verwendet werden.

### 5.1.4. Sektion 4

Die Sektion 4 besteht nur aus einem Netzwerk zum Zurücksetzen des Datenbits 320.00. Dieses fungierte im Programm als Schalter. (s. Se.5)

### 5.1.5. Sektion 5

Hier werden schließlich die eigentlichen Prozesswerte in Datenmerkern gespeichert, welche als Prozesseingangswörter (PEW's) bezeichnet werden. Die folgende Abbildung zeigt die Schalterfunktion des Datenbits 320.00. Je nach Zustand des Bits wird entweder der richtige Prozesswert (I:101) der Kälteanlage oder eine Konstante (#2000) zum Testen in den Datenmerker (DM101) gespeichert. Die gesamte Sektion ist nach dem Prinzip aus Abbildung 15, Schalter des Prozesswertes, aufgebaut.

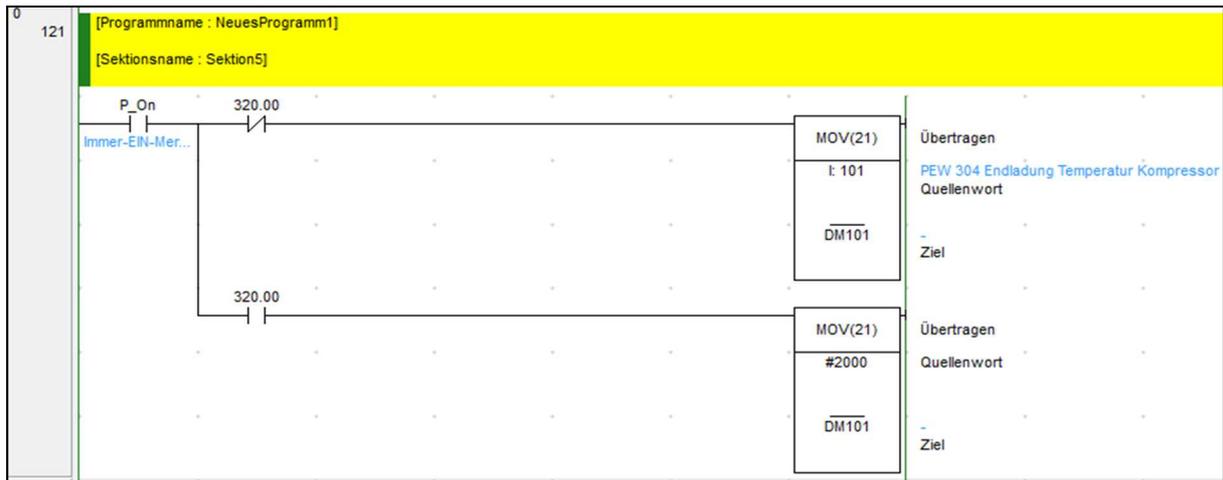


Abbildung 15: Schalter des Prozesswertes

### 5.1.6. Sektion 6

In dieser Sektion werden die PEW's zusammen mit deren MBA und MBE nacheinander in Datenmerker geschrieben und anschließend wird das Unterprogramm 10 (Sektion 18) aufgerufen, in dem die PEW's zu sinnvollen physikalischen Größen verarbeitet werden. Die Abbildung 16, Programmteil zur Skalierung eines PEW, ist wieder ein Muster nach dem die gesamte Sektion aufgebaut ist.

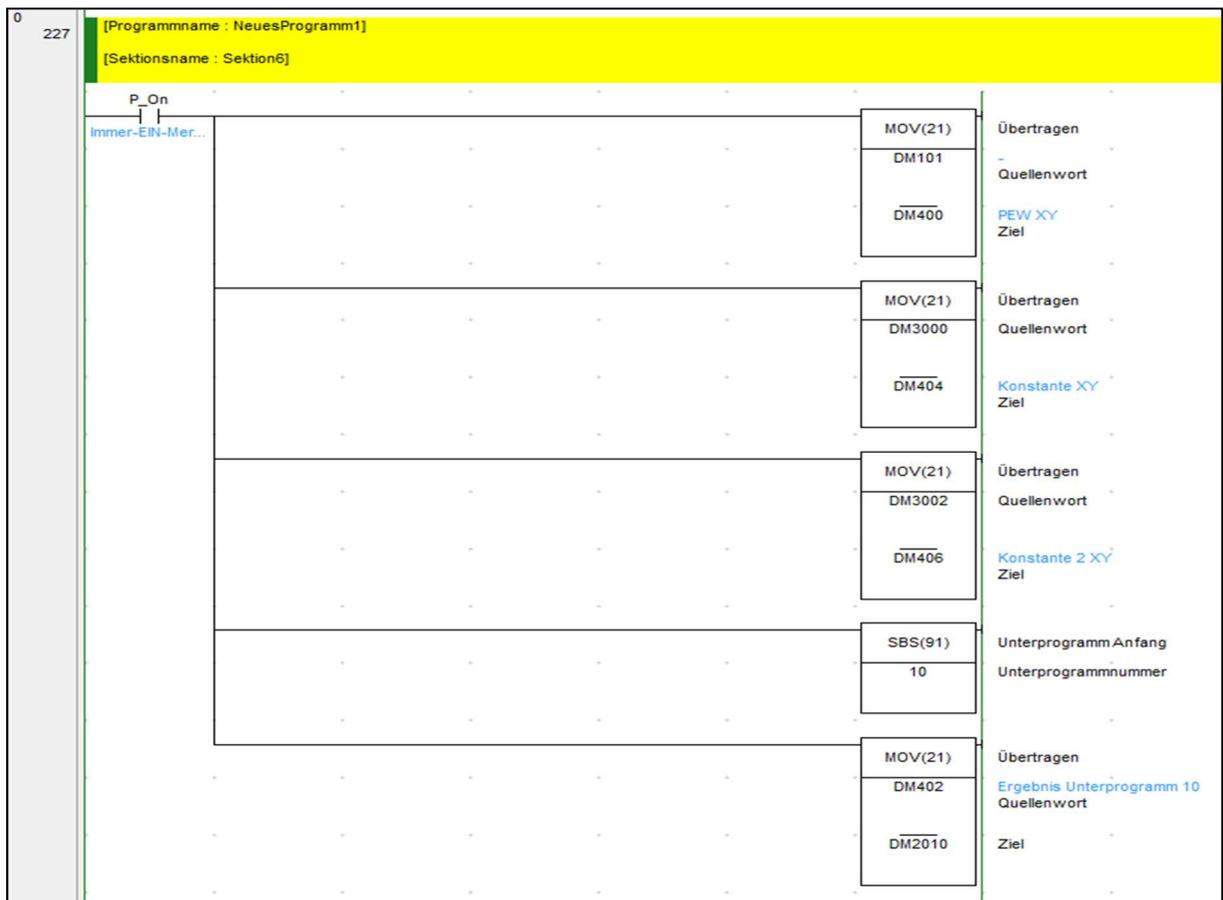


Abbildung 16: Programmteil zur Skalierung eines PEW

### 5.1.7. Sektion 7

Im Kältekreislauf können Fehler bzw. Alarme auftreten, welche dann beseitigt werden müssen. Anschließend müssen diese quittiert werden, ehe sie vom Display verschwinden können. Damit wird sichergestellt, dass alle Fehler und Alarme überhaupt zur Kenntnis genommen wurden. Durch das Drücken des Fehlerresetknopfes E1.1 wird eine Abfrage des aktuell angezeigten Displaybildes gemacht. Die Bildnummer wird in einem Merker gespeichert. Dadurch wird sichergestellt, dass beim Fehlerrücksetzen nur die Fehler des angezeigten Displaybildes quittiert werden.

### 5.1.8. Sektion 8

In der 8. Sektion werden die Gerätefehler der Komponenten der Kälteanlage, die durch die Eingangssignale der Sensoren der Kälteanlage gebildet werden, in Flip Flops gespeichert. Diese werden durch die in der Sektion 7 erstellten Merker zurückgesetzt. Außerdem werden generelle Fehler (general error), die durch die „Omron“-Steuerung ausgelöst werden wie z.B. eine Zykluszeitüberschreitung, verarbeitet. Der wesentliche Teil der Sektion besteht in der Auswertung der einzelnen Prozesswerte, also ob eine Warn- oder Alarmgrenze überschritten wurde oder nicht. Dazu werden die PEW's mit deren Merkern für MBA und MBE in Übertragungsmerker für das Unterprogramm 20 (Sektion 19) geschrieben, indem die eigentliche Auswertung vorgenommen wird. Nach der Abarbeitung des Unterprogramms werden erkannte Grenzüberschreitungen durch Setzen von Merkern bzw. Flip Flops bei Alarmgrenzen gespeichert.

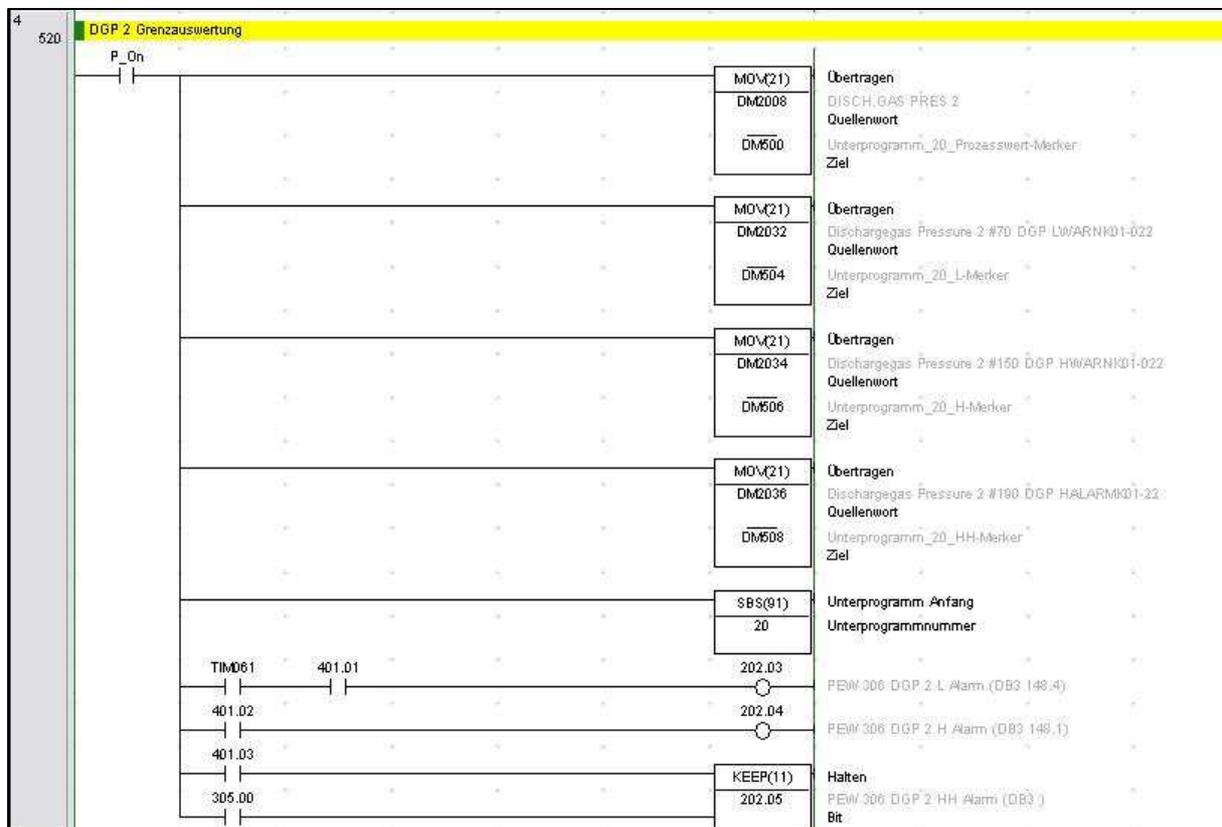


Abbildung 17: Programmteil zur Auswertung von Grenzüberschreitungen

Die Abbildung 17, Programmteil zur Auswertung von Grenzüberschreitungen, zeigt ein Beispiel für die Auswertung von Grenzüberschreitungen am Druck des austretenden Gases am Verdichter (PEW 306). Zunächst wird das PEW, welches im Datenmerker „DM2008“ gespeichert ist in einem Datenmerker „DM500“ geschrieben, der allgemein für die Prozesseingangswörter verwendet wird und im Unterprogramm 20 aufgerufen wird. Das Gleiche geschieht für die Warn- und Alarmgrenzen, welche in die Datenmerker „DM502-DM508“ geschrieben werden. Anschließend erfolgt der Aufruf des Unterprogramms 20 mit dem Befehl SBS(919). Dort wird eine der Variablen 401.01-401.04 gesetzt, falls eine Grenze überschritten wurde. Wie bereits erwähnt wird die untere Alarmgrenze beim Druck nicht benötigt. Daher wurden die Variable „401.042 und der Datenmerker „DM502“ weggelassen. Die Zustände der Variablen des Unterprogramms werden dann an feste Variablen des PEW 306 weitergeleitet, die dann für die Visualisierung genutzt werden. Die Überschreitung der oberen Alarmgrenze HH wird durch ein „KEEP(11)“-Baustein gespeichert. Dieser arbeitet wie ein Flip Flop und kann mit der Variablen „305.00“, welche in Sektion7 gebildet wurde, zurückgesetzt werden.

### **5.1.9. Sektion 9**

Auftretende Alarme werden hier nach den 4 Hauptkomponenten, Verdichter, Kondensator, „Flüssig-Auffangbehälter“, und Verdampfer gruppiert. Fehler werden in die Gruppen „Error Special I/O Unit 0.0“ und „Error Special I/O Unit 0.1“ einsortiert. Beim Auslösen eines Alarmes in der Gruppe wird der Gruppenalarm ausgelöst. Der Merker mit dem Gruppenalarm zeigt nun, an welchem Gerät ein Alarm oder Fehler anliegt. Schließlich wird noch mit einem Merker der Zustand „Allgemeiner Alarm“ gespeichert. Das heißt, sobald in der Kälteanlage mindestens ein Fehler oder Alarm auftritt, wird dieser Merker „true“.

### **5.1.10. Sektion 10**

Diese Sektion ist genauso wie die Vorherige aufgebaut. Hier geschieht eine Gruppierung der Warnungen nach den einzelnen Komponenten. Allerdings gibt es zwei Sondergruppen, die des Verdichterhochdruckes und die der Austrittstemperatur des zu kühlenden Gases im Verdampfer. Diese Prozesswerte sind die wichtigsten im gesamten Kältekreislauf und werden sicherheitsbedingt durch je zwei Sensoren gemessen.

### **5.1.11. Sektion 11**

In dieser Sektion werden Merker für Einschalten, Ausschalten und Stand-by gebildet. Der Einschaltmerker wird nur im Zustand Stand-by gesetzt und dann wenn die Austrittstemperatur des zu kühlenden Gases die 5,75°C-Marke überschritten hat. Wenn die Temperatur des Gases eine Minute lang unter dieser Grenze bleibt, wird der Einschaltmerker zurückgesetzt. Der Ausschaltmerker wird durch die Steuerknöpfe „Local Stop“ und „Remote Stop“ sowie einem Gesamtalarm (Gesamtalarmmerker) gesetzt. In den Stand-by Modus wird geschaltet wenn weder Einschalt- noch Ausschaltmerker gesetzt sind. Darüber hinaus werden in dieser Sektion Verzögerungen des Einschaltmerkers gebildet, da die Komponenten teilweise zeitlich versetzt gestartet werden. Schließlich wird noch ein Merker für das unbelastete Starten des Verdichters gebildet.

### **5.1.12.      Sektion 12**

Diese Sektion enthält sehr viele komplizierte Operationen, welche nicht genau analysiert werden konnten. Zudem finden einige Aufrufe des Unterprogramms 30 (Sektion 20) statt, was die Analyse zusätzlich erschwert. Daher kann der Inhalt nur grob geschildert werden. Jede Sekunde wird die Differenz der Temperatur des zu kühlenden Gases von der 5,75°C-Marke gebildet. Diese Temperaturdifferenzen werden im weiteren Verlauf verglichen, wodurch sich die Entwicklung der Temperatur des zu kühlenden Gases nach oben oder nach unten ermitteln lässt. Entsprechend dieser Entwicklung wird die Stellgröße für den Frequenz-Umrichter des E-Motors gebildet, das heißt die Sektion übernimmt die Leistungsregelung der Kälteanlage.

### **5.1.13.      Sektion 13**

Hier wird schließlich den Ausgängen (s. Tabelle 4) der SPS ein Wert zugewiesen. Durch Verknüpfungen verschiedener Merker werden die Ausgänge beschaltet. Es werden Aktoren wie die Heizungen und Ventile angesteuert, Notaus ausgegeben, die Starterlaubnis des Verdichters gebildet und schließlich die Leistungsregelung implementiert.

### **5.1.14.      Sektion 14**

Die Betriebszustände und Aktorenzustände- bzw. -Stellungen werden in Variablen gespeichert, die mit dem Visualisierungsprogramm „NTST“ verbunden sind. Die Visualisierungssoftware zeigt anhand dieser Variablen an, welche Ventile offen oder geschlossen sind oder welche Heizungen oder Pumpen ein-oder ausgeschaltet sind. Die Abbildung 18 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Programmteil.

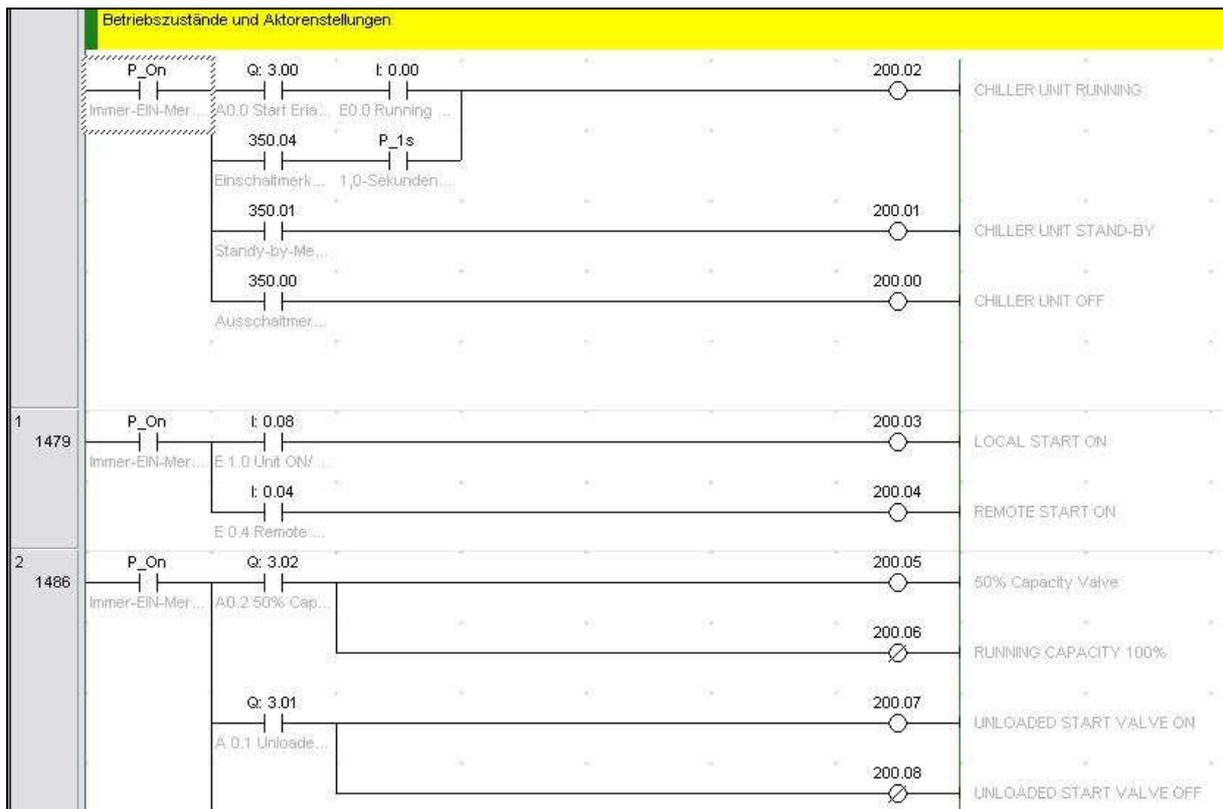


Abbildung 18: Merker für Betriebs- und Aktorenzustände

### 5.1.15. Sektion 15

Diese Sektion übernimmt die Displaybildsteuerung. Zum einen wird beim Drücken des Steuerknopfes „Screen Srocll“ ein neues Bild angezeigt. Dazu wird jedes Mal eine Variable, die mit der Visualisierungssoftware verbunden ist, inkrementiert. Je nach Wert dieser Variablen wird dann das entsprechende Bild angezeigt. Des Weiteren hat jedes Bild verschiedene Bedingungen, durch die es aufgerufen wird oder nicht. Es gibt die Bilder der Komponenten, welche Prozesswerte und Warnungen und Alarme anzeigen. Diese werden der Reihe nach aufgerufen. Dann gibt es Bilder, die Fehlerfälle anzeigen z.B. „Low Battery CPU“. Diese sind nur im Fehlerfall aufrufbar bzw. werden automatisch aufgerufen. Generell wird festgelegt, in welcher Reihenfolge die Bilder aufgerufen werden und wann zum Startbild zurückgesprungen wird.

### 5.1.16. Sektion 16

Hier wird einerseits die Laufzeit der Kältemaschine in Stunden und andererseits die Belastungsstufe des Verdichters berechnet.

### 5.1.17. Sektion 17

Diese Sektion ist unbeschrieben. Vermutlich wurde sie als Abgrenzung zu den folgenden Unterprogramm darstellenden Sektionen erstellt.

### **5.1.18. Sektion 18**

Diese Sektion ist das Unterprogramm 10, das in der 6. Sektion aufgerufen wurde. Hier werden die Prozesswerte durch verschiedenen Operationen so umgeformt, dass sinnvolle physikalische Größen entstehen, das heißt der Zahlenwert muss den Prozessmesswert korrekt abbilden. Dieser Vorgang wird auch als Normierung bezeichnet.

### **5.1.19. Sektion 19**

Die Sektion 19 ist das Unterprogramm 20 und wird durch die Sektion 8 aufgerufen. Die Prozesswerte werden mit den Grenzen verglichen und es werden bei Überschreitungen ein oder zwei der vier Variablen für die Grenzen HH, H, L und LL gesetzt, mit denen dann in Sektion 8 weitergearbeitet wird.

### **5.1.20. Sektion 20**

Diese Sektion steht mit der Sektion 12 in Verbindung und stellt das Unterprogramm 30 dar. Sie enthält Operationen zur Bearbeitung der aus Sektion 12 übergebenen Temperaturdifferenzen.

### **5.1.21. Sektion 21**

Das SPS-Programm endet hier mit dem Befehl „END(01)“.

## **5.2. Anforderung**

Ausgehend vom Inhalt des Programms soll das Anwenderprogramm also folgende Aufgaben erfüllen:

- Steuerung der Betriebszustände (Start, Stopp, Stand-by)
- Steuerung der Aktoren (Ventile, Heizelemente etc.)
- Leistungsregelung mittels Drehzahlsteuerung und Zylinderabschaltung
- Analogwertverarbeitung
- Ausgabe und Anzeige von Alarmen und Warnungen
- Prozesswertanzeige und –Überwachung
- Displaysteuerung

## 6. Programmierung in „STEP 7“

Nachdem das alte Anwenderprogramm analysiert worden ist und die Aufgaben des Anwenderprogramms bekannt waren, war der Grundstein zur Migration gelegt. Im Folgenden wird die Vorgehensweise der Migration beschrieben. Zum besseren Verständnis empfiehlt es sich das fertige Projekt parallel mit „STEP 7“ anzuschauen.

### 6.1. Anlegen des Projektes

Zunächst wurde in der Projektnavigation mit dem Menübefehl „Neu“ ein neues Projekt angelegt, welches „Kältemaschine“ genannt wurde. Beim Anlegen wurden der Typ „Projekt“ angewählt und der Speicherort festgelegt. Anschließend ist per „Objekt einfügen“ eine SIMATIC 300-Station hinzugefügt worden.

### 6.2. Hardwarekonfiguration

Zum Zusammenstellen der Hardware-Komponenten wurde unter dem Ordner „SIMATIC 300“ - „Hardware“ aufgerufen. Im Hardwarefenster wird im Menüpunkt „Einfügen“, - „Objekt einfügen“ - „SIMATIC 300“ die Profilschiene „Rack-300“ eingefügt. Sie ist der Baugruppenträger und damit Grundlage für die weiteren Komponenten. Im Fenster der Profilschiene sind die Steckplätze durchnummeriert. Mit Rechtsklick auf einen Steckplatz und dann „Objekt einfügen“, werden automatisch die für den Steckplatz vorgesehenen Komponenten angezeigt und können ohne weiteres eingefügt werden.

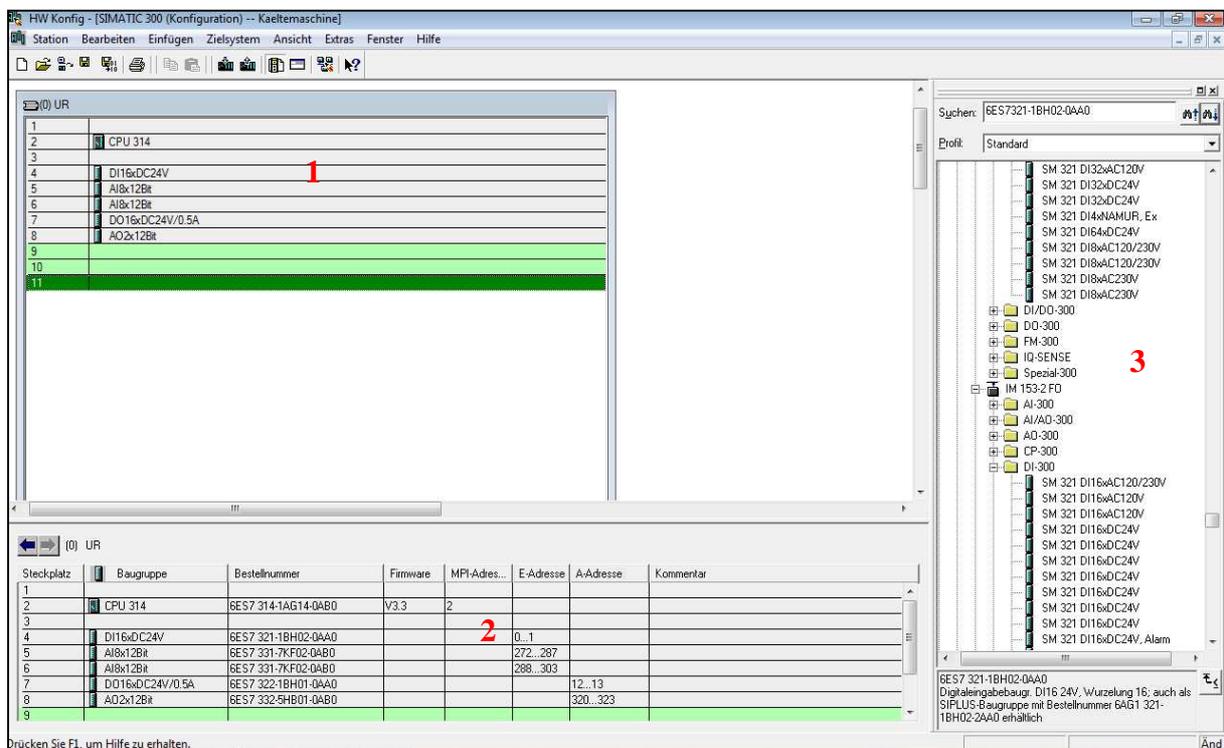


Abbildung 19: „STEP 7“-Hardwarekonfiguration

Eine Alternative bietet der „Hardware Katalog“ im Bereich 3 der Abbildung 19: „STEP 7“-Hardwarekonfiguration. Mit diesem können Baugruppen anhand ihrer Bestellnummern herausgesucht werden. Im Bereich 1 wird die Profilschiene mit den eingefügten Komponenten angezeigt. Auf den ersten Steckplatz kommt die Stromversorgung. Nachfolgend wurden dann noch die Komponenten aus Tabelle 9: Hardware-Komponenten eingefügt.

**Tabelle 9: Hardware-Komponenten**

Komponente	Adressen	Bestellnummer
CPU 314		6ES7314-1AG14-0AB0
DI (E0.0-E1.7)	0-1	6ES7321-1BH02-0AA0
AI(PEW256-PEW270	256-271	6ES7331-7KF02-0AB0
AI(PEW272-PEW286	272-287	6ES7331-7KF02-0AB0
DO(A0.0-A1.7)	0-1	6ES7322-1BH01-0AA0
AO (PAW256-PAW258	256-259	6ES7332-5HB01-0AB0

Im Bereich 2 der Abbildung werden die angelegten Baugruppen mit ihren Adressen angezeigt. Per Doppelklick auf eine Komponente werden deren Objekteigenschaften angezeigt und können dort geändert werden. Die Baugruppenadressen wurden hier entsprechend den Angaben der Tabelle abgeändert. Nachdem die Einstellungen vorgenommen wurden, wurden diese übersetzt und damit auf ihre Konsistenz geprüft. Sobald die neue SPS eingebaut ist, können mit dem Button „Laden in Baugruppe“ alle Einstellungen der Baugruppen in die CPU geladen werden.

### 6.3. Vorbereitung

Nach der Erstellung des Projektes und der Hardwarekonfiguration wurde die eigentliche Programmierung vorgenommen. Als Programmiersprache wurde FUP gewählt, da hier die meisten Erfahrungen aus dem Studium vorlagen. Zur Erleichterung der Programmieraufgabe wurden einigen Vorbereitungen getroffen. „Zunächst wurde die Symboltabelle mit allen bereits bekannten Adressen bestückt. Dann wurden die Datenbausteine DB1 „DI“ und DB2 „DO“ erstellt und mit den aus den **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, und

, ersichtlichen E/A-Adressen beschrieben. Die Datenbausteine führen keine Operationen aus, sie dienen lediglich als Speicher verschiedener Informationen. Im zugehörigen FC2 „DI\_FC“ werden die Eingänge auf die entsprechenden Adressen im DB 1 „DI“ geschrieben. Außerdem wurde ein FC1 „Tools“ erstellt, der nützliche Hilfsgrößen wie Immer-Null- oder Immer-Eins-Merker und verschiedene Taktsignale liefert. Zudem sind in ihm vorgefertigte Zeitfunktionen implementiert, welche ihre Informationen im zugehörigen DB 8 „Uhrzeit“ ablegen.“ [15]

### 6.4. Analogwertverarbeitung

„Der Analog-Digital-Wandler formt die elektrischen Signale der analogen Eingabebaugruppen in proportionale Digitalwerte um. Damit diese für den Menschen lesbar sind, müssen sie noch in einen anderen Messbereich konvertiert werden. Diese Aufgabe übernimmt der FC3 „AI\_FC“. In diesem FC werden die PEW's und dessen Messbereiche an eine vorgefertigte

Funktion angebunden, welche den skalierten Prozesswert, Messbereichsüberschreitung und -Unterschreitung und Drahtbruch ausgibt. Zusätzlich werden die Prozesswerte mit deren Alarmgrenzen abgeglichen und entsprechende Störmeldungen ausgegeben. Messbereichsüberschreitungen und Drahtbruch werden mit den Geräte- bzw. Hardwarefehlern zusammengefasst und im DB 4 „ Fehler“ gespeichert. Die Abbildung 20 zeigt einen Teil des FC 3. Das PEW 204 wird mit seinem Messbereich 0-150 an den FC 114 angebunden und dann intern verarbeitet.

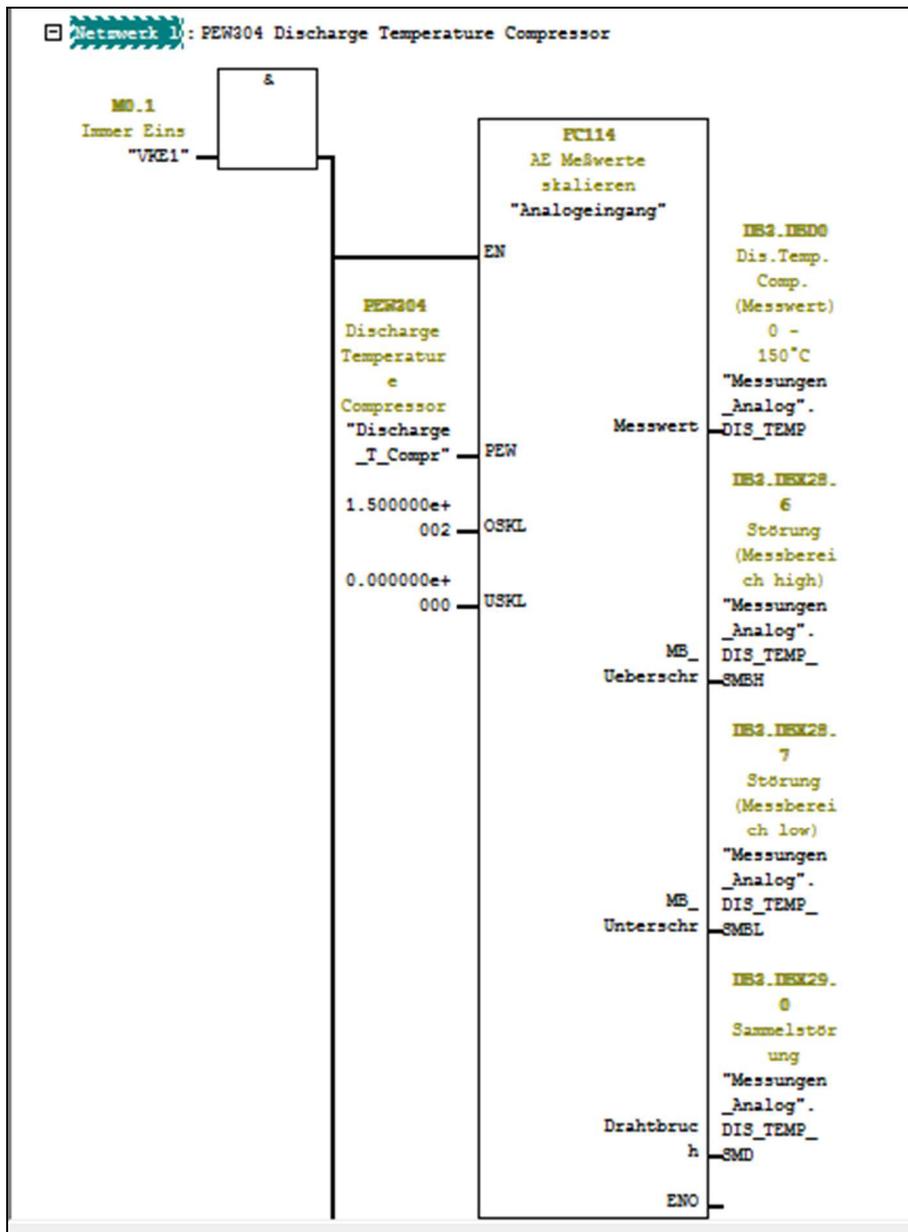


Abbildung 20: FC ANA, Netzwerk 1

Die Ausgänge werden im DB3 „PEW“ gespeichert, welcher alle wichtigen Daten wie den Prozesswert, Alarmgrenzen und Grenzüberschreitungen der PEW's speichert. Die Abbildung 21, DB3 „PEW“, zeigt die zum PEW 204 gehörigen Daten. Die Alarmgrenzen wurden dabei

„händisch“ eingetragen und werden vom FC 3 abgefragt. Die Werte von Grenzüberschreitungen und Störungen und der Prozesswert werden vom FC 3 beschrieben.“ [15]

Adresse	Name	Typ	Anfangswert	Kommentar
0.0		STRUCT		
+0.0	DIS_TEMP	REAL	0.000000e+0	Dis.Temp. Comp. (Messwert) 0 - 150°C
+4.0	DIS_TEMP_GWHH	REAL	1.500000e+0	Grenzwert (high high)
+8.0	DIS_TEMP_GWH	REAL	1.300000e+0	Grenzwert (high)
+12.0	DIS_TEMP_GWH_RES	REAL	0.000000e+0	Schaltpunkt Reserve
+16.0	DIS_TEMP_GWL_RES	REAL	0.000000e+0	Schaltpunkt Reserve
+20.0	DIS_TEMP_GWL	REAL	5.000000e+0	Grenzwert (low)
+24.0	DIS_TEMP_GWLL	REAL	2.000000e+0	Grenzwert (low low)
+28.0	DIS_TEMP_HH	BOOL	FALSE	Störung (high high)
+28.1	DIS_TEMP_H	BOOL	FALSE	Störung (high)
+28.2	DIS_TEMP_H_RES	BOOL	FALSE	Schaltpunkt Reserve
+28.3	DIS_TEMP_L_RES	BOOL	FALSE	Schaltpunkt Reserve
+28.4	DIS_TEMP_L	BOOL	FALSE	Störung (low)
+28.5	DIS_TEMP_LL	BOOL	FALSE	Störung (low low)
+28.6	DIS_TEMP_SMBH	BOOL	FALSE	Störung (Messbereich high)
+28.7	DIS_TEMP_SMBL	BOOL	FALSE	Störung (Messbereich low)
+29.0	DIS_TEMP_SMD	BOOL	FALSE	Sammelstörung
+29.1	DIS_TEMP_SMQ	BOOL	FALSE	Störung (quittiert)
+29.2	DIS_TEMP_SM	BOOL	FALSE	Störung (unquittiert)
+29.3	DIS_TEMP_RESET_ZW	BOOL	FALSE	Reset Zählwert
+29.4	DIS_TEMP_RES02	BOOL	FALSE	Res
+30.0	DIS_TEMP_ZW_GW_HH	INT	0	Hilfvariable Zählerwort HH
+32.0	DIS_TEMP_ZW_GW_H	INT	0	Hilfvariable Zählerwort H
+34.0	DIS_TEMP_ZW_GW_LL	INT	0	Hilfvariable Zählerwort LL
+36.0	DIS_TEMP_ZW_GW_L	INT	0	Hilfvariable Zählerwort L
+38.0	DIS_TEMP_ZUSTAND	BYTE	B#16#0	Zustand
+40.0	DIS_TEMP_ZAEHLWERT	REAL	0.000000e+0	Zählwert Impulseausgang
+44.0	DIS_TEMP_Res_A	ARRAY[0..7]		
+2.0		INT		
+60.0	DIS_PRE_1	REAL	0.000000e+0	Dis. Pres. 1 Comp. (Messwert) -10 - 26 bar
+64.0	DIS_PRE_1_GWHH	REAL	1.900000e+0	Grenzwert (high high)
+68.0	DIS_PRE_1_GWH	REAL	1.500000e+0	Grenzwert (high)
+72.0	DIS_PRE_1_GWH_RES	REAL	0.000000e+0	Schaltpunkt Reserve

Abbildung 21: DB3 „PEW“

## 6.5. Fehlermeldungen

„Beim Betrieb der Kälteanlage können verschiedene Fehler auftreten z.B.:

- „Crankcase Heater Failure“ (Ölwanne Heizungsfehler)
- „Electric Motor Inverter Failure“ (Umrichterfehler)
- „Motor Running Feedback Failure“ (Rückmeldungsfehler des E-Motors)

Der DB 4 und der FC 4 werden für die Variablen der Fehlerverarbeitung benötigt. Die Abbildung 22, DB4 „Fehler“, zeigt alle Fehlermeldungen der Kälteanlage. Die Fehler mit den Adressen DB4.DBX0.0-1.6 sind Gerätefehler, die bereits im FC 3 „AI\_FC“ abgearbeitet worden. Die Logik der restlichen Fehler entspricht der Logik im „C-Programmer“ Sektion 8, Schritt 9 und 18. Eine Ausnahme bildet der „K01-029 Motor Winding Temp. Failure“ (Überhitzung der Wicklungen des E-Motors). Dieser wird im „CX-One“-Programm mit E1.3 „Thermistor Failure Motor“ und dem „Immer-Aus-Merker“ gesetzt. Warum dieser Fehler „auskommen-tiert“ wurde ist, ist noch zu klären. Sicherheitshalber wurde er mit eingebaut.“ [15]

Adresse	Name	Typ	Anfangswert	Kommentar
0.0		STRUCT		
+0.0	C_DGT	BOOL	FALSE	K01-021 DISCHARGE GAS TEMP. COMPRESSOR
+0.1	C_DGP1	BOOL	FALSE	K01-022 DISCHARGE GAS PRES. COMPRESSOR
+0.2	C_DGP2	BOOL	FALSE	K01-018 DISCHARGE GAS PRES. COMPRESSOR
+0.3	C_ODP	BOOL	FALSE	K01-012 OIL DIF. PRESSURE COMPRESSOR
+0.4	C_SGT	BOOL	FALSE	K01-014 SUCTION GAS TEMP. COMPRESSOR
+0.5	C_SGP	BOOL	FALSE	K01-015 SUCTION GAS PRESSURE COMPRESSOR
+0.6	R_P	BOOL	FALSE	R01-015 PRESSURE LIQUID RECEIVER
+0.7	R_LL	BOOL	FALSE	R01-005 LEVEL LIQUID RECEIVER
+1.0	G_P	BOOL	FALSE	A01-018 PRESSURE GASCHILLER
+1.1	G_LL	BOOL	FALSE	A01-007 LIQUID LEVEL GASCHILLER
+1.2	G_IT	BOOL	FALSE	A01-023 INLET TEMPERATURE GASCHILLER
+1.3	G_OT1	BOOL	FALSE	A01-021 OUTLET TEMPERATURE GASCHILLER
+1.4	G_OT2	BOOL	FALSE	A01-022 OUTLET TEMPERATURE GASCHILLER
+1.5	G_FP	BOOL	FALSE	A01-027 FLOW GASCHILLER
+1.6	C_WF	BOOL	FALSE	C01-004 FLOW WATERCOOLED CONDENSER
+2.0	RES1	ARRAY[0..7]		
+1.0		BYTE		
+10.0	CTE	BOOL	FALSE	CYCLE TIME ERROR
+10.1	IO_Verif_Units	BOOL	FALSE	I/O VERIFICATION UNITS CH00/CH03
+10.2	ANAL_Outp_to_Inv	BOOL	FALSE	ANALOG OUTPUT TO INVERTER
+12.0	RES11	ARRAY[0..1]		
+1.0		BYTE		
+14.0	CHF	BOOL	FALSE	K01-001 CRANKCASE HEATER FAILURE
+14.1	ACHF	BOOL	FALSE	K01-008 ANTI CONDENSATION HEATER FAILURE
+14.2	MWTF	BOOL	FALSE	K01-029 MOTOR WINDING TEMP. FAILURE
+14.3	EMLF	BOOL	FALSE	K01-007 ELECTRIC MOTOR INVERTER FAILURE
+14.4	MRFF	BOOL	FALSE	K01-007 MOTOR RUNNING FEEDBACK FAILURE
+16.0	RES12	ARRAY[0..1]		
+1.0		BYTE		
+18.0	ORFF	BOOL	FALSE	R02-004 OILPUMP RUNNING FEEDBACK FAILURE
=20.0		END_STRUCT		

Abbildung 22: DB4 „Fehler“

## 6.6. Alarme

„Jedes Gerät der Kälteanlage hat seine eigenen Prozesswerte und Fehler. Bei Überschreitung eines Grenzwertes eines Prozesswertes oder beim Auftreten einer Fehlermeldung muss eine Alarmmeldung erfolgen. Im FC 5 „Gruppierung\_Alarme\_FC“ werden die Alarme und Fehler nach den jeweiligen Geräten gruppiert. Wenn ein Alarm einer Gruppe ein „high-Signal“ liefert, wird der Gruppenalarm „high“. Der Gruppenalarm eines Gerätes dient u.a. zum Aufruf des zugehörigen Displaybildes. Die Zustände der Gruppenalarme werden im zugehörigen DB 5 „Alarme“ gespeichert. Die Gerätefehler der Prozesswerte vom „Compressor“ und vom „Liquid Receiver“ werden z.B. zum „Error Special I/O Unit N 0.0“-Signal, die vom „Gaschiller“ und „Condenser“ zum „Error Special I/O Unit N 0.1“-Signal zusammengefasst. Des Weiteren werden Fehler zur Gruppe „General Error“ oder „Compressor Failure“ zugeordnet und Alarme von „Compressor“, „Gaschiller“, „Liquid Receiver“ und „Condenser“ zusammengefasst. Schließlich wird noch ein Platzhalter des DB 5 für alle Alarme angelegt, um das Vorhandensein eines Alarmes feststellen zu können.“ [15]

## 6.7. Warnungen

„Analog zu den Alarmen wurden auch die Warnungen wieder nach den 4 Hauptkomponenten gruppiert. Der Aufbau des FC 6 „Gruppierung\_Warnungen\_FC“ ist nach dem Muster des

„CX-One“-Programms Sektion 10 erfolgt. Neben den 4 Gerätewarnungen gibt es zusätzlich noch je einen Platzhalter für „Compressor\_Dischargegas Pressure“ (eine Warnung von beiden Kompressorhochdruckmessern) und für „Gaschiller Outlet Temperature“ (eine Warnung von beiden Temperatursensoren) im DB 6 „Warnungen“. Außerdem gibt es wieder einen Platzhalter, welcher „high“ wird wenn eine von allen Warnungen auftritt. Zwei alte Warnungen, „low battery CPU“ und „low battery display“ wurden nicht übernommen, da diese für die neue Steuerung unzweckmäßig sind.“ [15]

## 6.8. Betriebszustände

Die Betriebszustände der Kälteanlage sind:

- Chiller Unit Running (Kühleinheit läuft)
- Chiller Unit Stand-by (Kühleinheit Startbereit)
- Chiller Unit Off (Kühleinheit aus)

Im Stand-by-Modus befindet sich die Kälteanlage nur wenn das Abgas bis unter den Sollwert von 3°C gekühlt hat. Sobald es 5,7°C wieder überschritten hat, wird die Anlage wieder eingeschaltet. Dies wird durch die im „Temperatur\_FC“ gebildete Regeldifferenz realisiert. Ausgeschaltet wird die Anlage durch die Messwarte (remote start/ stop) oder durch den Ein-/Aus-Schalter am Schaltschrank (local start/ stop) und sonst automatisch bei Vorliegen eines Alarms. Für die Betriebszustände wurden eigene Merker erstellt, der Einschalt-, Ausschalt- und Stand-by-Merker. Diese werden auf die entsprechenden Platzhalter im DB7 „Betriebszustände“ geschrieben. Ebenso werden die Zustände der Aktoren im DB7 gespeichert. Schließlich wurden noch Verzögerungen des Einschaltmerkers gebildet, da die verschiedenen Aktoren beim Anfahren der Kälteanlage zeitversetzt starten. Die Abbildung 23, zeigt die im DB7 gespeicherten Platzhalter.

Adresse	Name	Typ	Anfangswert	Kommentar
0.0		STRUCT		
+0.0	C_U_R	BOOL	FALSE	CHILLER UNIT RUNNING
+0.1	C_U_Sb	BOOL	FALSE	CHILLER UNIT STAND-BY
+0.2	C_U_OFF	BOOL	FALSE	CHILLER UNIT OFF
+0.3	L_S_ON	BOOL	FALSE	LOCAL START ON
+0.4	R_S_ON	BOOL	FALSE	REMOTE START ON
+0.5	RES1	BOOL	FALSE	RES1
+0.6	RES2	BOOL	FALSE	RES2
+0.7	RES3	BOOL	FALSE	RES3
+1.0	R_C_F	BOOL	FALSE	RUNNING CAPACITY 50%
+1.1	R_C_H	BOOL	FALSE	RUNNING CAPACITY 100%
+1.2	U_S_V_ON	BOOL	FALSE	UNLOADED START VALVE ON
+1.3	U_S_V_OFF	BOOL	FALSE	UNLOADED START VALVE OFF
+1.4	Cr_H_ON	BOOL	FALSE	K01-001 CRANKCASE HEATER ON
+1.5	Cr_H_OFF	BOOL	FALSE	K01-001 CRANKCASE HEATER OFF
+1.6	A_C_H_ON	BOOL	FALSE	K01-008 ANTI CONDESATION HEATER ON
+1.7	A_C_H_OFF	BOOL	FALSE	K01-008 ANTI CONDESATION HEATER OFF
+2.0	H_F_S_ON	BOOL	FALSE	A01-014 HP FLOATVALVE SOLENOID ON
+2.1	H_F_S_OFF	BOOL	FALSE	A01-014 HP FLOATVALVE SOLENOID OFF
+2.2	O_R_F_ON	BOOL	FALSE	R02-004 OILPUMP RUNNING FEEDBACK ON
+2.3	O_R_F_OFF	BOOL	FALSE	R02-004 OILPUMP RUNNING FEEDBACK OFF
+2.4	W_C_V_ON	BOOL	FALSE	C01-008 WATER COOLING VALVE ON
+2.5	W_C_V_OFF	BOOL	FALSE	C01-008 WATER COOLING VALVE OFF
=4.0		END_STRUCT		

Abbildung 23: DB7 „Betriebszustände“

## 6.9. Ausgänge

„Die Beschaltung der Ausgänge ist die wichtigste Aufgabe der Steuerung. „Im FC 8 „DO\_AO\_FC“ werden die in

, aufgelisteten Ausgänge beschrieben. Die Logik für die Beschaltung der Ausgänge entspricht der aus dem alten Steuerungsprogramm und kann leider aufgrund zu großen Umfangs nicht im Einzelnen erläutert werden. Die Zustände der digitalen Ausgänge werden im zugehörigen DB 2 „DO“ gespeichert. Der wichtigste Ausgang bzw. das wichtigste PAW (Prozessausgangswort), ist der „Analog Output 1“. Dieser stellt die Stellgröße des Umrichters dar, welcher die entsprechende Drehzahl auf den Verdichter überträgt. Je höher die Stellgröße, desto höher die Antriebsleistung des Verdichters und damit die Kühlleistung der Kälteanlage. Das PAW wird im DB9 „AO“ gespeichert.“ [15]

## 6.10. Alarmquittierung

„Beim Quittieren der Alarme mit dem Knopf E1.1 „Failure Reset“ ist es wichtig, dass nur die Alarme des aktuell aufgerufenen Displaybildes zurückgesetzt werden können. Das Alarmreset wird im FC 9 umgesetzt. Dazu wird entsprechend der Sektion 7 des „CX-One“-Programms eine Abfrage des aktuellen Displaybildes gemacht und in einem „Bild-Merker“ gespeichert. Die auf dem Display visualisierten Alarme wurden in Flip Flops gespeichert, welche durch die „Bild-Merker“ zurückgesetzt werden können. Um auch nur diejenigen Alarme quittieren zu können, welche nicht mehr beständig sind, wurden dominant setzende Flip Flops verwendet.“ [15]

Netzwerk 3: Alarme Bild 7 (Liquid Receiver) zurücksetzen

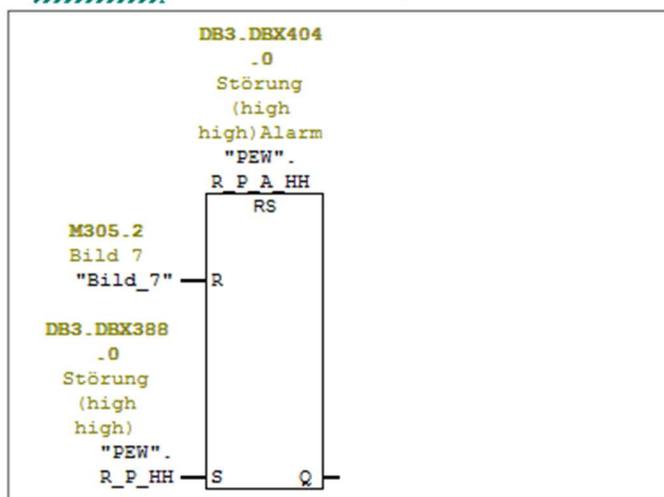


Abbildung 24: Alarmreset mit RS-Flip-Flop

## 6.11. Temperatur- und Leistungsregelung

Das „Reaktor-Off-Gas“ soll auf ca. 5°C Austrittstemperatur (Outlet temperature) abgekühlt werden. Dazu wird im FC 10 „Temperatur\_FC“ zunächst ein Merker mit dem Sollwert gebildet. Als nächstes kommt die Abfrage, ob die Austrittstemperatur des „Reaktor-Off-Gas“ grö-

ßer als der Grenzwert von 5,75°C ist, also eine Kühlung überhaupt nötig ist. Im Anschluss wird der Istwert der Austrittstemperatur in einem weiteren Merker gespeichert. Sicherheitsbedingt wird dieser von zwei Sensoren gemessen, einer dient als Standard-Sensor der andere ist Ersatz. Zur Regelung der Temperatur werden Ist- und Sollwert an einen Reglerbaustein „FB4“, welcher in der Standard Library unter „PID Control Blocks“ zu finden ist, angebunden. Die Reglerparameter wurden zum Teil schon voreingestellt. Ihre genauen Werte werden nach einem Testlauf ermittelt. Der Regler liefert dann die Regeldifferenz und die vorläufige Stellgröße mit der der Frequenz-Umrichter den E-Motor steuert. Im letzten Abschnitt des FC 10 wird die Stellgröße für das Anfahren der Kälteanlage Null gesetzt.

Im FC 8 „DO\_AO\_FC“ werden die Ausgänge der beiden Magnetventile zur Leistungssteuerung beschrieben. Der Ausgang des „Unloadet-Start-Valve“ wird durch einen Einschaltmerker gesetzt und durch einen Timer um 10 Sekunden verzögert. Damit arbeitet die Kälteanlage nach dem Anlaufen in der 50%-Leistungsstufe. In der 100%-Leistungsstufe arbeitet die Kälteanlage wenn das hintere Magnetventil (50%-Capacity-Valve) auch geschlossen wird. Die Ventilstellung ist abhängig von der Stellgröße aus dem FC 10. Zwei Merker speichern ob die Stellgröße kleiner als 40% bzw. größer als 50% ist. Der Ausgang 50%-Leistungsstufe wird dann gesetzt, wenn die Stellgröße kleiner als 40% ist. Das Ventil wird also geöffnet. Geschlossen wird es wenn die Stellgröße entweder größer als 50% ist oder die Stellgröße 5 Minuten nicht kleiner als 40% (also 5min größer als 40%) ist.

Nachdem die Leistungsstufen, also die Ventilzustände bearbeitet worden sind, wird nun die endgültige Stellgröße des Frequenz-Umrichters gebildet. Die Stellgröße wird beim Arbeiten des Verdichters in der 50%-Leistungsstufe verdoppelt und bei der 100%-Leistungsstufe mit 40 subtrahiert. Außerdem wird sie für das Überschreiten des Wertes von 0 oder 100 wieder auf 0 bzw. 100% zurückgesetzt.

## **6.12. Bild wechseln**

„Das neue Display verfügt zwar über eine Touchfunktion, jedoch wird es nach wie vor hinter dem Glasfenster des Schaltschranks verbaut.“ Dadurch ist die Bedienung auf die Steuerknöpfe des Schaltschranks beschränkt. (s. Bedieneinheit). Auch die Navigation zwischen den Bildern erfolgt lediglich über den Steuerknopf „Screen Scroll“ der Bedieneinheit. „Das Bildwechseln wurde mit einem Steuerungsauftrag im „WinCC flexible“ realisiert. Für den Steuerungsauftrag werden bestimmte Daten benötigt, zum Beispiel welches Bild überhaupt aufgerufen werden soll. Diese Daten speichert der DB 11 „Bildnummer“, der vom FC 11 „Screen Scroll“ beschrieben wird.

Der Steuerungsauftrag im WinCC kann mehrere Funktionen übernehmen. Benötigt wird nur die Nummer 51 für „Bildanwahl“. Wenn das „WinCC“ einen Steuerungsauftrag ausgeführt hat wird automatisch die Steuerungsauftragsnummer auf „0“ gesetzt. Daher wurde am Anfang des FC 11 ein „MOVE“-Befehl (s. Abbildung 25) verwendet um das Byte 0 des DB 11 dauerhaft auf 51 zu setzen.

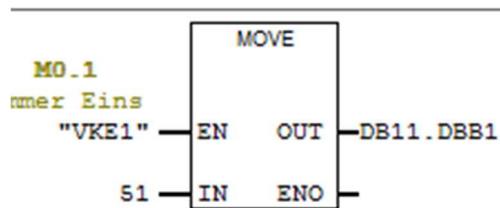


Abbildung 25: Steuerungsauftragsnummer

Zum Bildwechsell wurde das „Screen Scroll-Signal“ an einen Merker übergeben, der nur dann "true" wird, wenn eine positive Flanke kein „Notaus“ anliegt. Immer wenn dieser Merker ein „true-Signal“ erhält, wird die Bildnummer, die im MW 220 „Displaybildnummer“ gespeichert wird, mit dem ADD\_I-Baustein (Integeraddierer) inkrementiert. Anschließend wird sie mit dem „MOVE“-Befehl auf den DB11.DBW2 geschrieben, welcher im „WinCC“ abgefragt wird. Bei „Notaus“ wird die 11 als Festwert übergeben, um das entsprechende Notausbild aufzurufen.“ [15]

### 6.13. Automatische Displaybildsteuerung

„Beim Auftreten eines Alarmes soll dieser umgehend auf dem Display angezeigt werden. Dazu wurden zunächst 3 Merker angelegt, die speichern, ob kein Notaus, Fehler bzw. Alarm und Warnung oder ein Alarm ohne Notaus oder eine Warnung und kein Notaus und Alarm anliegt. Zusätzlich wurden Einzelalarme und –Warnungen im DB 12 „Einzelalarme“ angelegt, um zu verhindern, dass es zu einem Flackern beim Auftreten mehrerer Alarme bzw. Warnungen kommt und damit das Programm nur ein bestimmtes Bild aufruft. Dabei werden die Alarme und Fehler gegenüber den Warnungen natürlich priorisiert. Mit dem „MOVE“-Befehl wird je nach Alarm bzw. Warnung dann wieder die entsprechende Bildnummer an den DB11.DBW2 übergeben, der vom „WinCC“ abgefragt wird.“ [15]

### 6.14. Organisationsbausteine

„Im Projekt wurden insgesamt 4 OB's angelegt. Der OB121 dient bei einem Programmierfehler dazu, dass die CPU nicht in „Stop“ geht. Beim Auftreten eines Peripheriezugriffsfehlers wird der OB 122 aufgerufen. Ein Peripheriefehler tritt beim Zugriff auf eine nicht vorhandene oder defekte Baugruppe auf. Der OB 35 ist ein Weckalarm. Weckalarme werden in einem vom restlichen Programm unabhängigen Zeitintervall bearbeitet. Er wird zum Aufruf des Temperaturreglers verwendet. Der OB1 ist der Hauptorganisationsbaustein. In ihm werden alle Funktionen aufgerufen. Eine Besonderheit bildet die Funktion „Displaysteuerung“, welche durch mehrere Signale ausgesetzt wird. (.Abbildung 26: Aussetzbedingungen des FC 12 "Displaysteuerung")

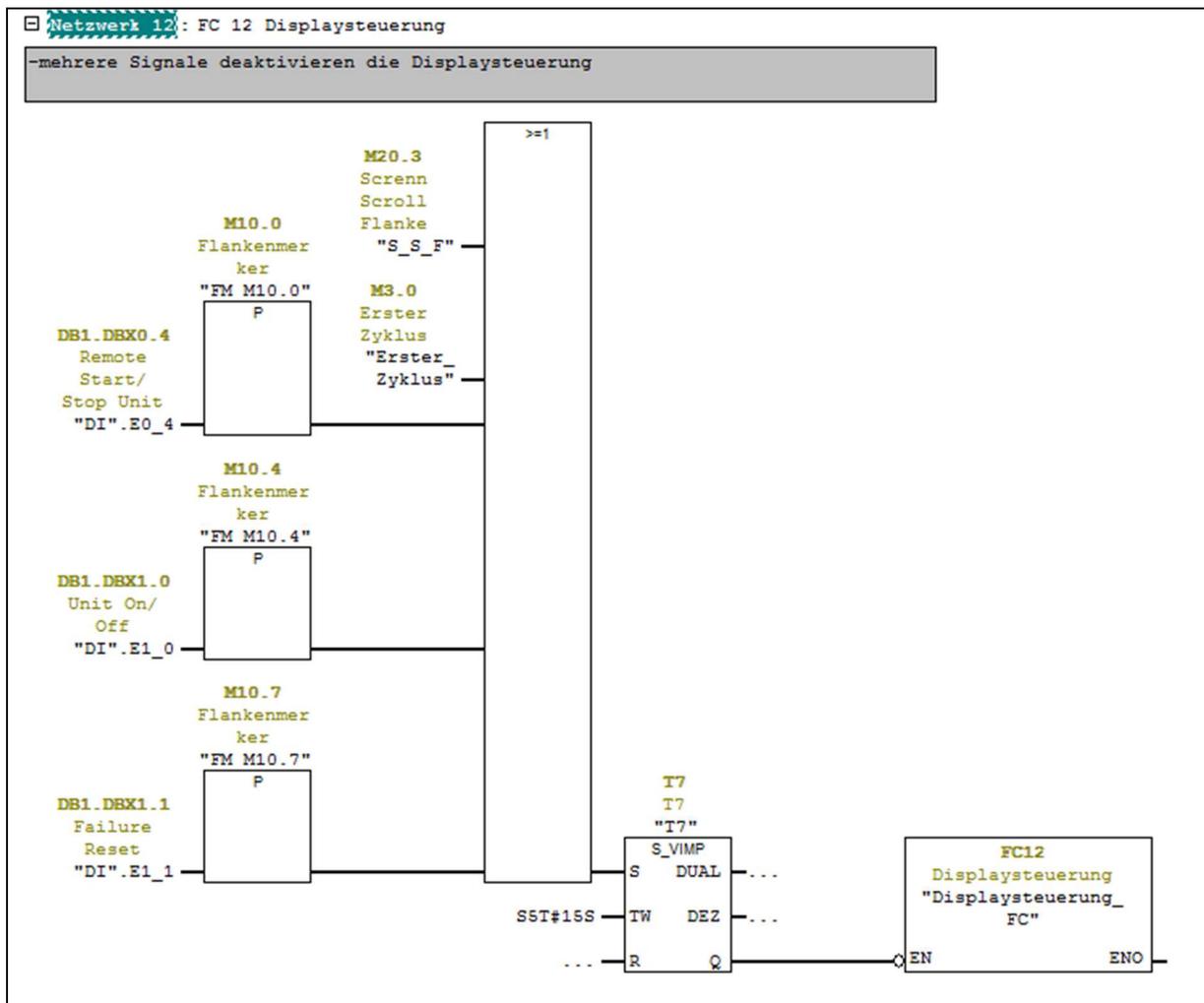


Abbildung 26: Aussetzbedingungen des FC 12 "Displaysteuerung"

Der Hintergrund ist dabei, dass beim Drücken eines Knopfes, z.B. Screen Scroll, nicht automatisch ein anderes Bild aufgerufen werden soll. Der verlängerte Impuls-Timer gibt bei jedem Knopfdruck einen neuen Impuls für 15s, welcher negiert auf die Displaysteuerung wirkt.“ [15]

### 6.14.1. Resultat

„Bei der Programmierung in „STEP 7“ war es dem Autor wichtig, eine bessere Abgrenzung der einzelnen Funktionalitäten der Steuerung zu schaffen. Ebenso sollten die verwendeten Operanten besser einordbar sein. Die Abbildung 27, „STEP 7“ – Bausteine, zeigt die erstellten Bausteine des Steuerungsprogramms.

Objektname	Symbolischer Name	Erstelsprache	Typ	Version (Header)
Systemdaten	---	---	SDB	---
OB1		AWL	Organisationsbaustein	0.1
OB35	Regler_OB	FUP	Organisationsbaustein	0.1
OB121	PROG_ERR	FUP	Organisationsbaustein	0.1
OB122	MOD_ERR	FUP	Organisationsbaustein	0.1
FB41	CONT_C	SCL	Funktionsbaustein	1.5
FC1	Tools	FUP	Funktion	0.1
FC2	DI_FC	FUP	Funktion	0.1
FC3	AI_FC	FUP	Funktion	0.1
FC4	Fehler_FC	FUP	Funktion	0.1
FC5	Gruppierung_Alarme_FC	FUP	Funktion	0.1
FC6	Gruppierung_Warnungen_...	FUP	Funktion	0.1
FC7	Betriebszustände_FC	FUP	Funktion	0.1
FC8	DO_AO_FC	FUP	Funktion	0.1
FC9	Alarmreset_FC	FUP	Funktion	0.1
FC10	Temperatur_FC	FUP	Funktion	0.1
FC11	Screen_Scroll_FC	FUP	Funktion	0.1
FC12	Displaysteuerung_FC	FUP	Funktion	0.1
FC14	Betriebsstunden	FUP	Funktion	0.1
FC112	Grenzwertmelder	AWL	Funktion	0.1
FC114	Analogeingang	AWL	Funktion	0.1
FC119	Betriebsstundenzaehler	FUP	Funktion	0.0
DB1	DI	DB	Datenbaustein	0.1
DB2	DO	DB	Datenbaustein	0.1
DB3	PEW	DB	Datenbaustein	0.1
DB4	Fehler	DB	Datenbaustein	0.1
DB5	Alarme	DB	Datenbaustein	0.1
DB6	Warnungen	DB	Datenbaustein	0.1
DB7	Betriebszustände	DB	Datenbaustein	0.1
DB8	Uhrzeit	DB	Datenbaustein	0.1
DB9	AO	DB	Datenbaustein	0.1
DB11	Bildnummer	DB	Datenbaustein	0.1
DB12	Einzelalarne	DB	Datenbaustein	0.1
DB14	Betriebsstunden Pumpen	DB	Datenbaustein	0.1
DB41	Regler_DB	DB	Instanzdatenbaustei...	0.0
VAT_1	VAT_1		Variablentabelle	0.1

Abbildung 27: „STEP 7“ – Bausteine

Mit wenigen Ausnahmen entsprechen die Nummern der FC's denen der zugehörigen DB's.“ [15] Durch die Datenbausteine ergibt sich im Vergleich mit dem „CX-One“-Programm eine wesentlich bessere Möglichkeit, gespeicherte Informationsparameter einzuordnen. Durch die vorgefertigten Bausteine (Reglerbaustein, FC 3 „AI\_FC“) ließen sich die komplizierten Einzellösungen im „CX-One“-Programm deutlich vereinfachen, was zu einem besserem Verständnis des Gesamtprogramms beitrug.

## 7. „Visualisierung“

Zur Visualisierung der Betriebszustände, Prozesswerte, Alarmer, Warnungen und Fehlermeldungen wird ein 6“ Touch Panel des Types „KTP600 Basic color DP“ der Marke Siemens verwendet. In der Fachsprache wird dieses auch als HMI-Station bezeichnet. „Eine HMI-Station (HMI= Human Machine Interface, Mensch-Maschine-Schnittstelle) ist ein Bedien- und Beobachtungsgerät zum manuellen Steuern eines Prozesses, zum Erfassen von Prozessdaten und zum Anzeigen von Prozessmeldungen.“ [6, p. 531] Die zu visualisierenden Daten kommen von der PLC-Station und ebenso steuert die HMI-Station über die PLC-Station die Prozesse. Die Automatisierungslösung wird daher in einem gemeinsamen Projekt entwickelt. Als Projektierungssoftware wird „WinCC flexible“ verwendet, welche mit SIMATIC „STEP 7“ gekoppelt wird. Deswegen wird ein „HMI“-Projekt in das „STEP 7“-Projekt integriert. Dazu wird in „STEP 7“ per Rechtsklick auf das bestehende Projekt und dann auf „Neues Objekt einfügen“ eine „HMI“-Station eingefügt. Beim Anlegen kann der Benutzer das zu verwendende Panel auswählen. Nachdem das „HMI“-Projekt angelegt worden ist gelangt der Benutzer über die Projektstruktur über die „SIMATIC HMI-Station“ zu „WinCC flexible“. Beim Öffnen eines Objekts der untersten Hierarchieebene wird dann „WinCC flexible“ geöffnet.

### 7.1. „WinCC flexible“

„WinCC flexible“ ist eine Engineeringsoftware zur Prozessvisualisierung und Bedienung von Maschinen. Ebenso unterstützt es die Archivierung von Prozesswerten und Meldeereignissen. Außerdem können die Projektdateien am Projektiergerät simuliert werden, also ohne „HMI“-Station getestet werden.

#### 7.1.1. Oberfläche

Die Oberfläche von „WinCC flexible“ in der Normalansicht (s. Abbildung 28: Oberfläche von „WinCC flexible“) gliedert sich in mehrere Bereiche:

1. Symbolleiste
2. Projektfenster
3. Arbeitsbereich
4. Eigenschaftsfenster
5. Werkzeuge
6. Ausgabe

Die Symbolleiste enthält sogenannte Shortcuts wie z.B. Laden, Speichern oder Simulieren zur schnellen Bedienung des Programms. Das Projektfenster dient der Navigation durch das „WinCC“. Es enthält alle zur Projektierung wichtigen Ordner und Objekte wie die Sprachunterstützung, Strukturen und Versionsverwaltung. Hauptsächlich wird im Geräteverzeichnis "SIMATIC HMI-Station (Name der Panels)" gearbeitet. Dort befinden sich die Unterverzeichnisse „Bilder“, „Kommunikation“, „Meldungen“, „Rezepturen“, „Text- und Grafiklisten“, „Benutzerverwaltung Runtime“ und schließlich die „Geräteeinstellungen“. Der Arbeitsbereich ist der Bereich, in dem Objekte, Bilder, Variablen, Listen etc. angezeigt und Einstel-

lungen vorgenommen werden können. Zur Anzeige und Bearbeitung von Variablen, Objekten etc. wird das Eigenschaftsfenster verwendet. Hier können Namen, Symbole, Animationen und Ereignisse eingestellt werden. Das Werkzeugfenster enthält die zur Erstellung der Prozessbilder nötigen Basiselemente, grafische Objekte und Bedienelemente. Im Ausgabefenster werden Systemmeldungen angezeigt.

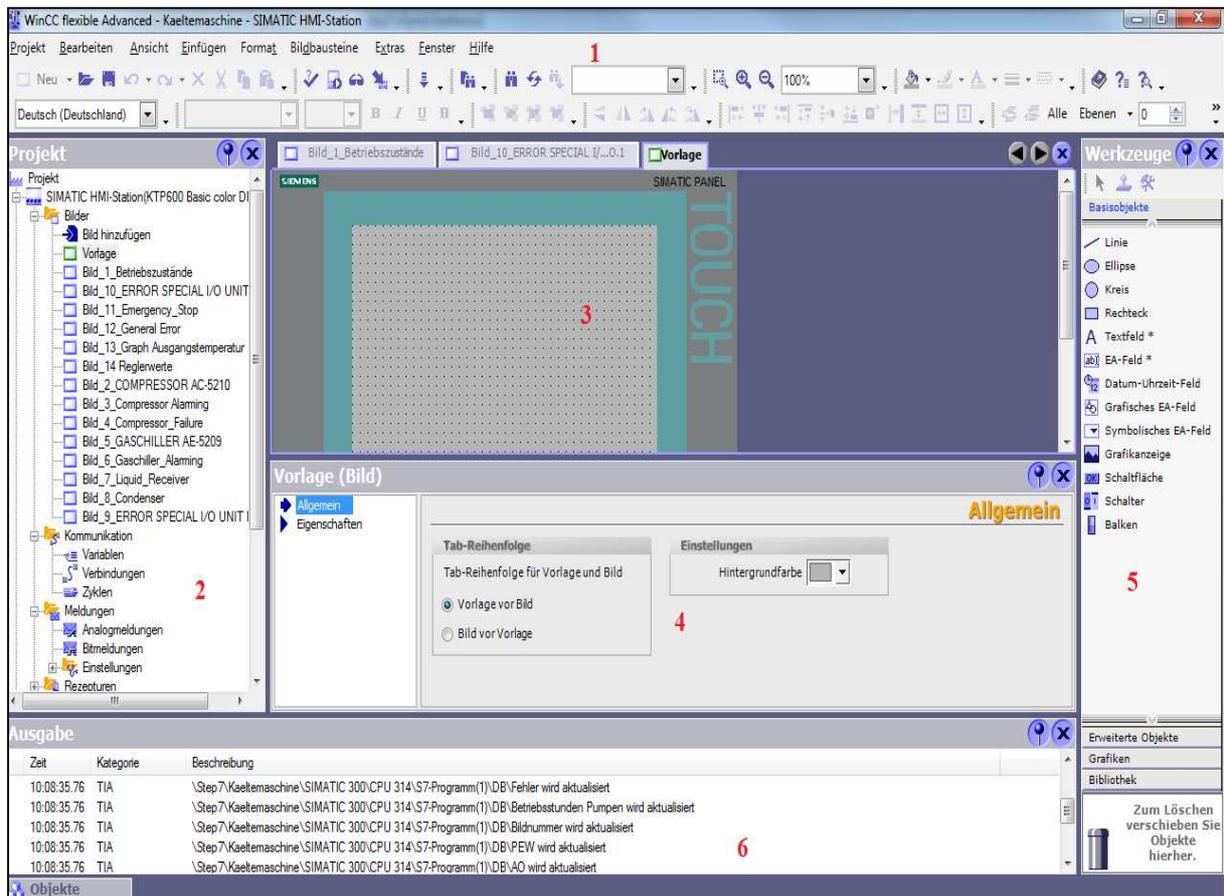


Abbildung 28: Oberfläche von „WinCC flexible“

## 7.1.2. Bereichszeiger

„Ein Bereichszeiger definiert einen Speicherbereich in der PLC-Station. Über diesen Speicherbereich tauschen die Programme der HMI- und der PLC-Station Daten aus.“ [6, p. 540] „WinCC flexible“ verwendet folgende Bereichszeiger:

- Steuerungsauftrag
- Projektkennung
- Bildnummer
- Datensatz
- Datum/Uhrzeit
- Datum/Uhrzeit Steuerung
- Koordinierung

Dabei enthält der Steuerungsauftrag mehrere Funktionen wie Datums- und Zeitfunktionen, Benutzer an- und abmelden, Variablen aktualisieren etc. Im Projekt wurde unter „Verbindungen“ im Reiter „Bereichszeiger“ der Steuerungsauftrag für die Bildanwahl angelegt. Sein Speicherbereich ist der DB 11 „Bildnummer“ im „STEP 7“-Projekt. „Der DB 11 enthält 4 Worte. Das Byte 0 des ersten Wortes kennzeichnet den Steuerungsauftrag. Wort 2 ist die Bildnummer, die im „WinCC“ aufgerufen wird, Wort 3 wird nicht verwendet und Wort 4 ist die Feldnummer.“ [15] Damit der Steuerungsauftrag richtig arbeitet, muss noch der Erfassungszyklus eingestellt werden, und er muss in der Spalte „Aktiv“ eingeschaltet werden. [6, p. 540f]

### 7.1.3. Variablen

Im Projektordner „SIMATIC HMI-Station(KTP600 Basic color DP)“ im Unterordner „Kommunikation“ werden die Variablen angelegt. Unterschieden wird zwischen internen und externen Variablen. Interne Variablen haben keine Verbindung zur PLC-Station. Im Projekt werden nur externe Variablen verwendet. Zum Anlegen einer Variablen genügt ein Doppelklick in die Variablenliste. Es müssen Name, Verbindung, Datentyp, Symbol, Adresse und Erfassungszyklus festgelegt werden. Zusätzlich können wie im „STEP 7“ auch Kommentare vergeben werden. Im Projekt war es nur erforderlich, die bereits in „STEP 7“ angelegten Variablen zu importieren. Dazu wurde in der Spalte „Symbol“ das jeweilige Symbol aus dem Verzeichnisbaum von „STEP 7“ herausgesucht (s. Abbildung 29: Variablen aus „STEP 7“ importieren). Der Datentyp, Name etc. der Variablen aus der PLC-Station wurde dabei übernommen.

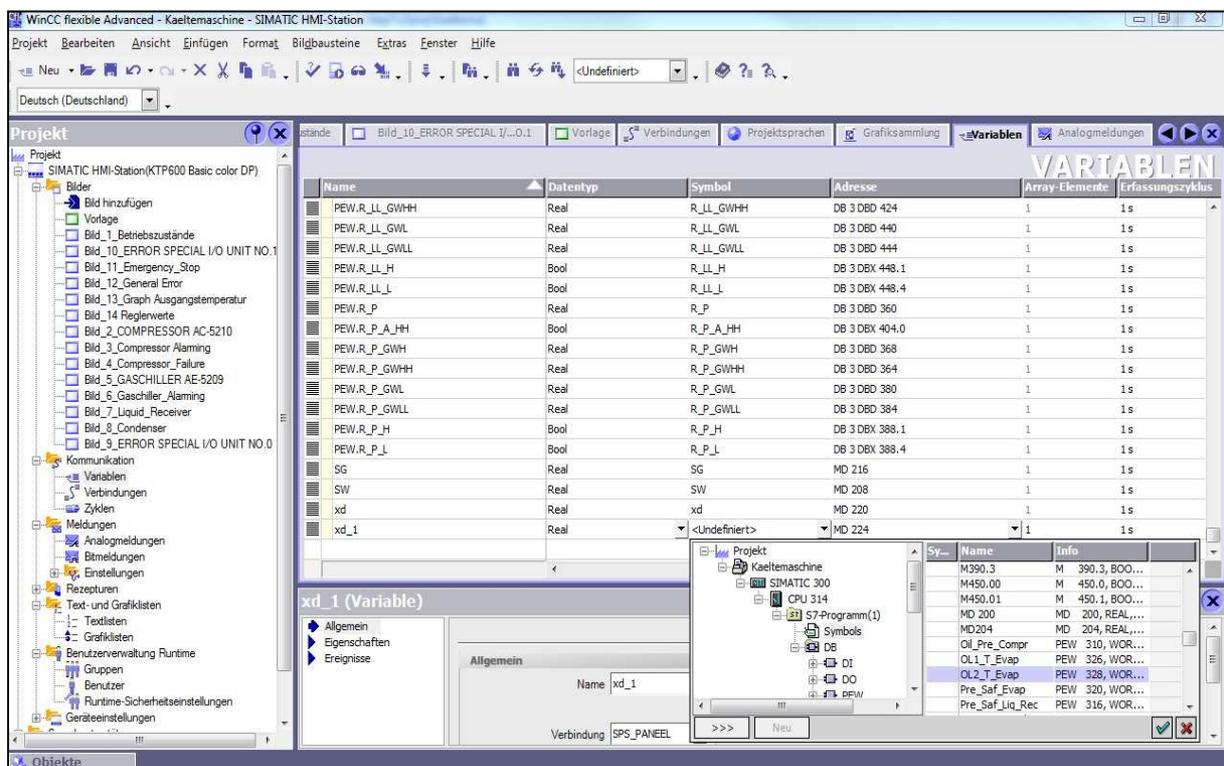


Abbildung 29: Variablen aus „STEP 7“ importieren

## 7.1.4. Bilder

Mit den Prozessbildern können die Prozesswerte der Kälteanlage beobachtet werden. Unter dem Ordner Bilder kann mit Doppelklick auf „Bild hinzufügen“ ein neues Bild erstellt werden. Im Inspektorfenster werden anschließend unter „Allgemein“ Bildname und Bildnummer eingetragen. Eine nützliche Funktion ist die Bildvorlage. Mit der Bildvorlage kann ein Basisbild geschaffen werden. Die anderen Bilder sind dann alle nach demselben Grundmuster aufgebaut. Mit der Änderung der Vorlage können alle auf der Vorlage basierenden Bilder gleichzeitig angepasst werden. Zur Gestaltung der Bilder werden grafische Objekte verwendet. Dies sind entweder statische oder dynamische Objekte. Der Unterschied ist der, dass sich dynamische Objekte mit den Prozesswerten ändern, statische Objekte bei der Prozessbearbeitung aber gleichbleiben. Es gibt zum einen Basisobjekte wie Linie, Ellipse, Kreis, Rechteck, Textfeld und Grafikanzeige, desweiteren Elemente wie verschiedene Typen von E/A-Feldern, Schaltfläche, Datum/Uhrzeit-Feld, Balken und Schalter. Schließlich gibt es noch Controls darunter Melde-, Kurvenanzeigen und Grafiken. Im Projekt werden hauptsächlich E/A-Felder zur Ausgabe numerischer Werte genutzt. Im Arbeitsfenster für Prozessbilder können mittels der Funktionsleiste die wichtigsten Einstellungen für die Darstellung des Bildinhalts vorgenommen werden. Unter anderem können Schriftart und – Farbe, Ausrichtung, die Auswahl der Ebene eines Objektes eingestellt werden. Die konfigurierten HMI-Objekte benötigen dann nur noch die Variablen für die Parametrierung. Diese werden im Eigenschaftsfenster im Reiter „Allgemein“ (s. Abbildung 30: Eigenschaftsfenster - Allgemein) eingetragen.

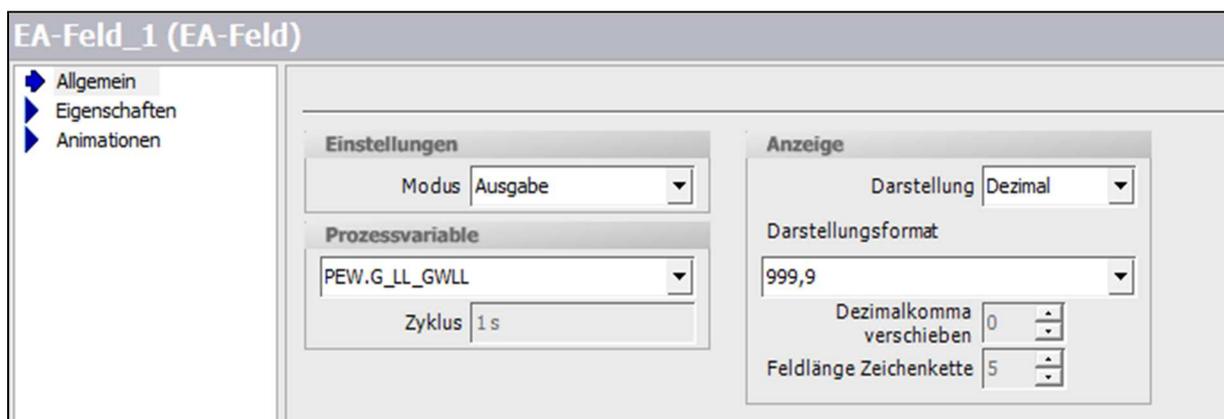


Abbildung 30: Eigenschaftsfenster - Allgemein

Beim E/A-Feld wird hier außerdem festgelegt, ob der Wert der Variablen ein- oder ausgegeben wird und in welcher Art (Dezimal, Hexadezimal etc.) und in welchem Format er dargestellt wird.

Um Prozessänderungen – oder Abläufe sichtbar zu machen gibt es die Möglichkeit, Objekte im Reiter „Animationen“ zu dynamisieren. Drei Arten von Animationen stehen bereit:

- Gestaltung: Änderung des Erscheinungsbildes eines Objekts,
- Bewegung: Je nach Typ Bewegung des Objekts in verschiedene Richtungen
- Sichtbarkeit: Ein- oder Ausblendung des Objekts

Hauptsächlich wurde im HMI-Projekt die Animation Gestaltung verwendet. Die Abbildung 31, Eigenschaftsfenster - Animation - Gestaltung, zeigt ein Beispiel.

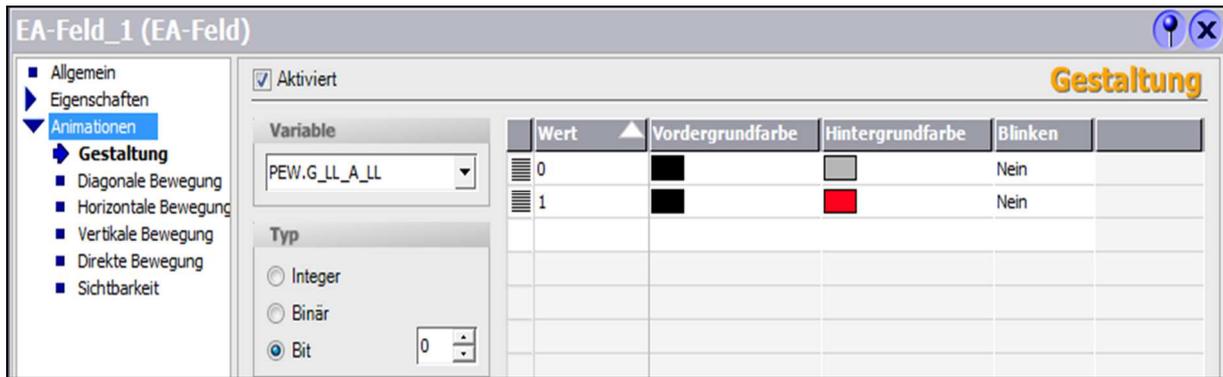


Abbildung 31: Eigenschaftsfenster - Animation - Gestaltung

Beim Auftreten eines Alarmes soll das EA-Feld\_1 rot aufleuchten. In diesem Fall die Unterschreitung des Grenzfüllstandes im Verdampfer. Dazu wurde die entsprechende Variable aus dem „STEP 7“-Projekt „PEW.G\_LL\_A\_LL“ eingefügt. Sie stammt aus dem DB3 „PEW“ und ist eine boolesche Variable. Die Buchstaben stehen für Gaschiller\_LowLow\_Alarm\_LiquidLevel. Für den Wert "0", also kein Alarm, ist die Hintergrundfarbe grau und für den Wert "1", also für den Alarmfall, rot eingestellt. Die Vordergrundfarbe, das heißt die Schriftfarbe, bleibt in beiden Fällen schwarz. Wenn die Animation bei der Simulation zum Tragen kommen soll ist es wichtig, dass der Haken bei „Aktiviert“ gesetzt ist. [6, pp. 542ff, 551f]

## 7.2. Displaybilder

Nachfolgend werden die im „WinCC flexible“ angelegten Prozessbilder beschrieben.

### 7.2.1. Bild 1 – Betriebszustände

Das erste Bild bildet das Startbild für den Benutzer. Das Startbild kann im Unterordner „Geräteeinstellungen“ festgelegt werden. Direkt nach dem Start der Runtime wird es vom projektierten Display aufgerufen.



Abbildung 32: Bild 1 - Betriebszustände

Es zeigt den Namen des Herstellers der Kälteanlage und den allgemeinen Zustand der Anlage. Für jeden der Betriebszustände wird eine boolsche Variable aus dem „STEP 7“ übertragen. Die Anlage ist so programmiert, dass beim Starten der Kühlanlage „Chiller Unit Running“ kurz „true“ wird. Im „WinCC“ wird das Label dann kurz grün aufleuchten. Im Falle von „Stand-By“ wird „Chiller Unit Stand-by“ gelb blinken und wenn die Anlage aus ist leuchtet „Chiller Unit Off“ rot. Wenn ein lokaler oder ein Start aus Messwarte anliegt, leuchtet entsprechend eines der Label „Local Start On“ oder Remote Start On“ grün auf.

## 7.2.2. Bild 2 – Verdichter Status

Das zweite Bild zeigt den aktuellen Status vom Verdichter an. Es werden die Prozesswerte Öl-Differenzdruck, Temperatur und Druck des angesaugten Ammoniaks (Suctiongas Temperature, Suctiongas Pressure), Temperatur des aus dem Verdichter ausströmenden Ammoniaks (Dischargegas Temperature) sowie der Druck des ausströmenden Ammoniaks (Dischargegas Pressure 1 & 2), gemessen von zwei Drucksensoren, angezeigt. Außerdem wird angezeigt in welcher Leistungsstufe, 50% oder 100% der Verdichter gerade arbeitet. Desweiteren lässt sich erkennen, ob das Bypass-Ventil (K01-005 Unloadet Start Valve) und das Wasserkühlventil (C01-008 Water Cooling Valve) geöffnet oder geschlossen sind. Schließlich wird noch ersichtlich, ob die Ölumpfheizung (K01-001 Crankcase Heater) und die Anti-Kondensationsheizung (K01-008 Anti Kondensation Heater) ein- oder ausgeschaltet sind.

COMPRESSOR AC-5210		2
ACTUAL STATUS/READINGS		
K01-012 OIL DIF. PRESSURE	000,0	BAR
K01-014 SUCTIONGAS TEMPERATURE	000,0	°C
K01-015 SUCTIONGAS PRESSURE	000,0	BAR
K01-018 DISCHARGE GAS PRESSURE 1	000,0	BAR
K01-022 DISCHARGE GAS PRESSURE 2	000,0	BAR
K01-021 DISCHARGE GAS TEMPERATURE	000,0	°C
K01-027 RUNNING CAPACITY 50%	ON	
K01-027 RUNNING CAPACITY 100%	ON	
K01-005 UNLOADED START VALVE	ON	OFF
C01-008 WATER COOLING VALVE	ON	OFF
K01-001 CRANKCASE HEATER	ON	OFF
K01-008 ANTI CONDESATION HEATER	ON	OFF

Abbildung 33: Bild 2 - Verdichter Prozesswerte und Aktorenstellungen

## 7.2.3. Bild 3 - Verdichter Alarmgrenzen

In diesem Bild werden die Alarm- und Warngrenzen des Verdichters angezeigt. Diese sind externe Variablen aus dem „STEP 7“-Projekt. Im „Runtime“-Modus werden die E/A-Felder beim Auftreten von Warnungen gelb und beim Auftreten von Alarmen rot aufleuchten.

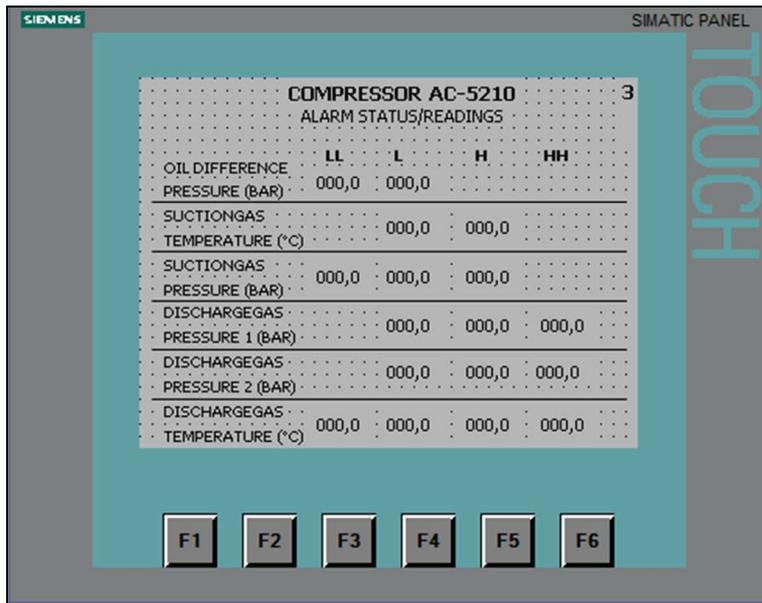


Abbildung 34: Bild 3 - Verdichter - Alarmgrenzen der Prozesswerte

### 7.2.4. Bild 4 - Verdichter Fehler

Im Bild 4 werden Fehler der zum Verdichter gehörenden Komponenten angezeigt. Die Label mit der Aufschrift „Failure“ sind mit dem DB4 verbunden. Im Fehlerfall werden sie wie in der Abbildung rot aufleuchten.

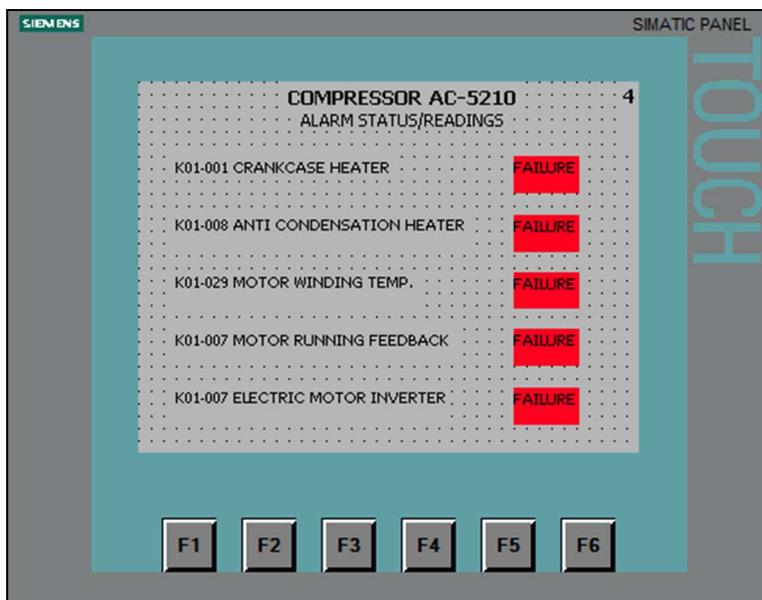


Abbildung 35: Bild 4 - Verdichter - Fehler

### 7.2.5. Bild 5 – Verdampfer Prozesswerte

Dieses Bild zeigt die Prozesswerte NH<sub>3</sub>-Füllstand (Liquid Level), NH<sub>3</sub>-Gas-Druck (Pressure) im „Flüssig-Trenner“, Ein- und Ausgangstemperatur des „Reaktor-Off-Gas“ (Inlet & Outlet Temperature) und dessen Differenzdruck (Flow Delta Pressure). Der Differenzdruck stellt sich mit dem Herunterkühlen des „Reaktor-Off-Gas“ ein und beträgt im Regelfall etwa

2000kPa. Die Temperatur des „Reaktor-Off-Gas“ von ca. 35° auf ca. 5°C heruntergekühlt. Sicherheitsbedingt wurde ein zweiter separater Thermofühler (A01-21) zur Überwachung der Austrittstemperatur eingebaut. Im unterem Bereich des Bildes werden noch der Zustand des magnetischen Strömungsventils (HP Float Valve Solenoid), also ob geöffnet oder geschlossen und die Laufrückmeldung der Ölpumpe angezeigt.

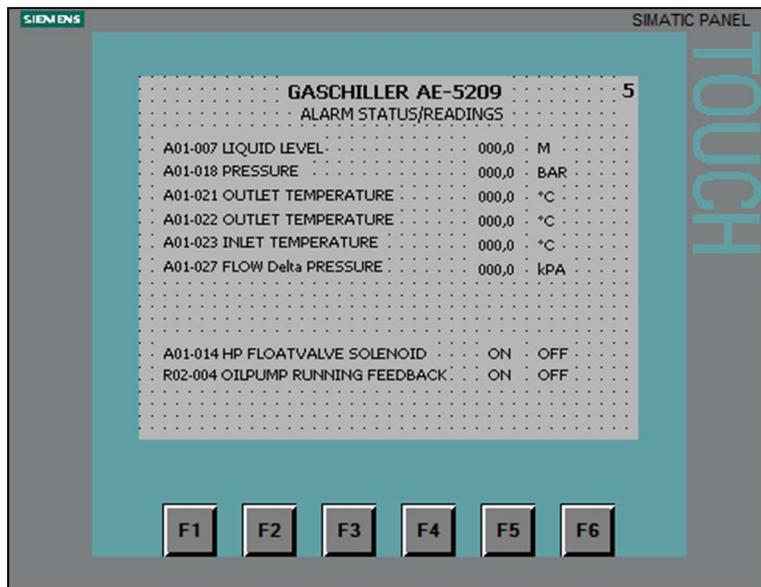


Abbildung 36: Bild 5 - Verdampfer Prozesswerte und Aktorenstellungen

### 7.2.6. Bild 6 - Verdampfer Alarmgrenzen

Im sechsten Bild werden die Festwerte der Alarm- und Warngrenzen des Verdampfers angezeigt. Wie beim Verdichter werden anstehende Warnungen gelb und Alarme rot markiert. Unten wird noch die Fehlermeldung Laufrückmeldung der Ölpumpe angezeigt. Zur Veranschaulichung wurde hier die Abbildung von der Simulation ausgewählt.

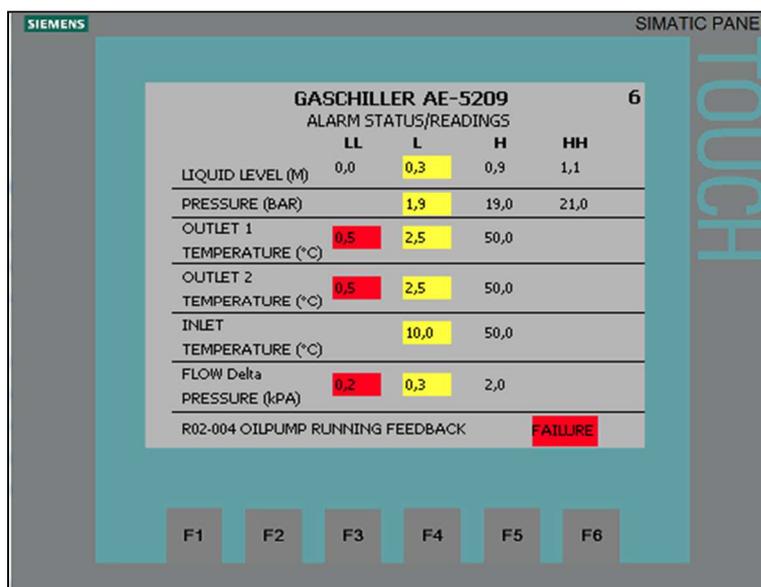


Abbildung 37: Bild 6 - Verdampfer – Alarmgrenzen, Fehler

## 7.2.7. Bild 7 - Flüssigkeitsauffangbehälter

Vom Flüssigkeitsauffangbehälter werden in diesem Bild der Füllstand und der herrschende Druck angezeigt. Außerdem sind die Warn- und Alarmgrenzen mit integriert.

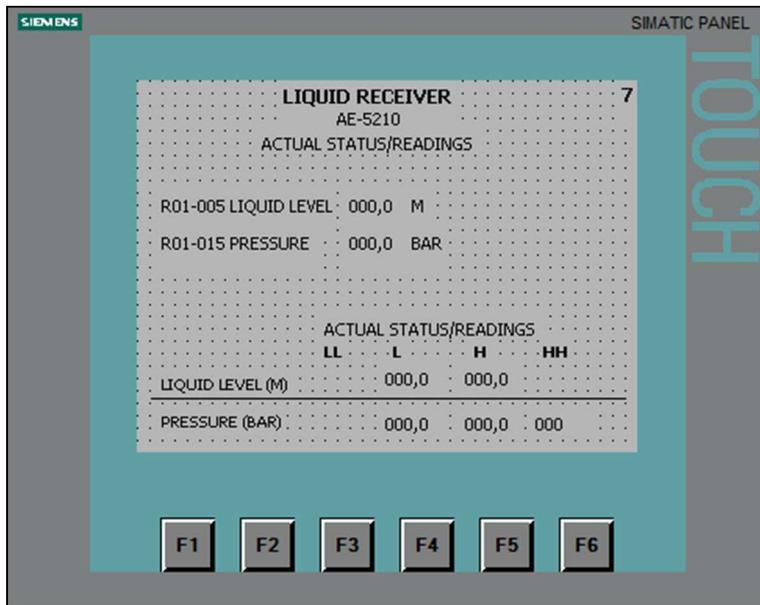


Abbildung 38: Bild 7 – Flüssigkeitsauffangbehälter - Prozesswerte, Alarmgrenzen

## 7.2.8. Bild 8 - Kondensator

Hier wird der Differenzdruck des ein- und ausströmenden Wassers angezeigt. Ist er unter 15 kPa gesunken wird eine Warnmeldung angezeigt und das Regelventil wird weiteraufgedreht. Bei der Überschreitung von 100kPa wird das Regelventil entsprechend weiter zuge dreht. Gefährlich wird es wenn 10kPa unterschritten werden. Dann findet keine Verflüssigung des NH<sub>3</sub> statt, die Anlage muss dann abschalten.

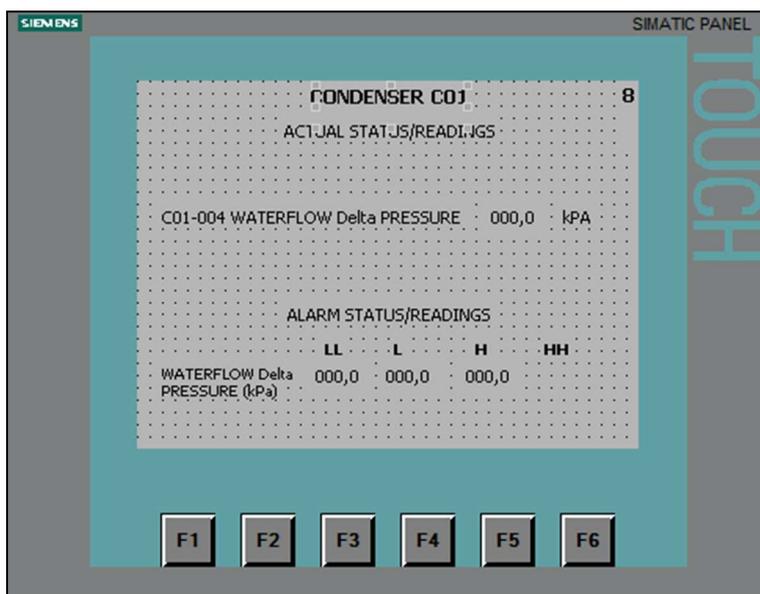


Abbildung 39: Bild 8 - Kondensator - Prozesswert, Alarmgrenzen

## 7.2.9. Bild 9 & 10 - Spezialfehler 0.0 & 0.1

Diese Bilder bieten eine Übersicht über alle anstehenden Alarme der einzelnen Komponenten. Die Labels werden im Alarmfall rot aufleuchten.

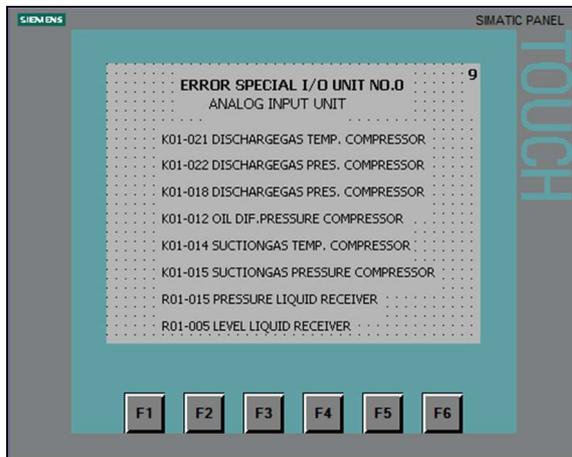


Abbildung 40: Bild 9 - Spezialfehler 0.0

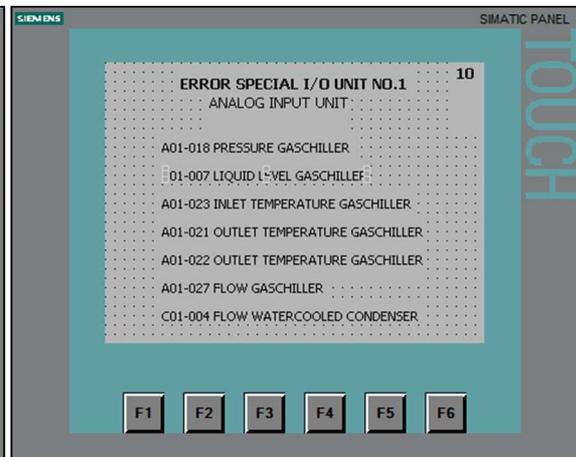


Abbildung 41: Bild 10 - Spezialfehler 0.1

## 7.2.10. Bild 11 – „Notaus“

Im Falle von „Notaus“ wird automatisch dieses Bild aufgerufen. Es zeigt die Meldung zum wiederanfahren der Kälteanlage: „Nach der Sicherheitsprüfung deaktivieren Sie den Notausknopf und drücken Sie die Taste „Notaus-Zurücksetzen“ um die Kälteanlage wiederhochzufahren.“

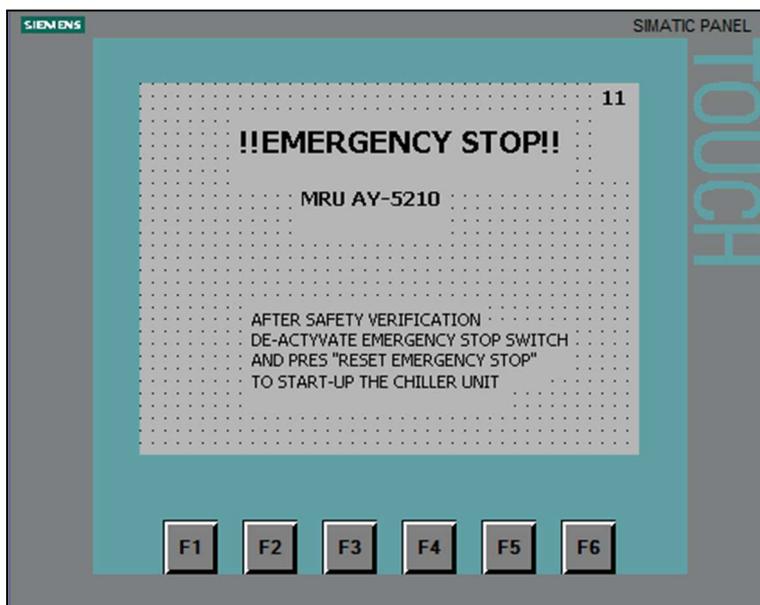


Abbildung 42: Bild 11 - „Notaus“

## 8. Zusammenfassung

Für die Migration der Kälteanlage war es nicht nur erforderlich das alte gegen das neue Automatisierungssystem auszutauschen, sondern vor allem ging es um die softwaretechnische Realisierung eines neuen Steuerungsprogramms. Dazu war es nötig das alte Programm genauestens zu analysieren. Damit einher ging das Erwerben von Kenntnissen zu den Funktionen und Prozessen, welche beim Ablauf des Kältekreislaufes der Anlage stattfinden. Diese wurden in Kapitel 2 beschrieben. Dann wurden Schritt für Schritt die Funktionen der Programmteile ermittelt und zusammen mit den verwendeten Operanten im alten Programm kommentiert. Dadurch ergab sich ein Bild von den Aufgaben, die die Steuerung übernahm.

Nach dem Vorbild des alten Steuerungsprogramms konnte dann eine Automatisierungslösung in neuer Form mit der Engineeringsoftware „STEP 7“ entwickelt werden. Dabei erwiesen sich die Programmorganisationseinheiten als nützliche Bausteine zur Strukturierung der Aufgabenteile. Insbesondere die Verwendung von Datenbausteinen ist für das Verständnis des Anwenderprogramms hilfreich. Der Vorteil besteht in der übersichtlichen Anordnung von zusammengehörigen Informationsparametern. Bei Simulationen konnten die Werte der Prozessvariablen durch die Datenbausteine oder der Variablen-tabelle im Gegensatz zum „CX-One“-Programm sehr schnell überblickt werden. Ein weiterer Vorteil gegenüber des alten „CX-One“-Programms besteht in den vorgefertigten Funktionsbausteinen, durch die sich umständlicher langer Quelltext vermeiden ließ. Insgesamt konnte das gesamte Steuerungsprogramm umgeschrieben werden. Einige Teile wie z.B. die Displaybildsteuerung, wurden auch vollständig erneuert.

Die Visualisierung der Prozesswerte konnte mit der Software „WinCC flexible“ problemlos umgesetzt werden. Durch das neue Farbdisplay ließen sich Alarm- und Warnzustände besser sichtbar machen. Der Aufbau der Prozessbilder wurde dabei bewusst ähnlich gestaltet wie der gewohnte aus der vorher verwendeten Visualisierungssoftware „NTST“.

Bisher wurde das neue Anwenderprogramm durch eine Simulation mit angeschlossener CPU und Display erfolgreich getestet. Im Herbst 2014 soll dann der Einbau der neuen Steuerung in die Kälteanlage erfolgen.

## 9. Literaturverzeichnis

- [1] K. Reisner, Fachwissen Kältetechnik, Heidelberg: C. F. Müller, 2008.
- [2] H. Dölz und D. Otto, Ammoniak-Verdichter-Kälteanlagen, Karlsruhe: C. F. Müller, 1992.
- [3] R. Parthier, Messtechnik, Mittweida: Springer Vieweg, 2014.
- [4] „Landesinstitut für Schulentwicklung; ZPG-Mitteilungen Gewerbliche Schulen,“ [Online]. Available: [http://www.lsbw.de/projekte/berufschulen/zpg/gew/pdf/5011\\_sps.pdf/download](http://www.lsbw.de/projekte/berufschulen/zpg/gew/pdf/5011_sps.pdf/download). [Zugriff am 20 August 2014].
- [5] H. Berger, Automatisieren mit SIMATIC S7-1200, Erlangen: Publicis Publishing, 2013.
- [6] E. E. Grötsch, SPS : speicherprogrammierbare Steuerungen als Bausteine verteilter Automatisierung, Oldenbourg-Industrieverlag, 2004, p. 23.
- [7] Siemens, „Grundlagen zur SPS-Programmierung mit SIMATIC S7-300,“ Oktober 2004. [Online]. Available: [http://www.fh-kl.de/~nikolay.lotz/unterlagen/SPS/anhang\\_1.pdf](http://www.fh-kl.de/~nikolay.lotz/unterlagen/SPS/anhang_1.pdf). [Zugriff am 11 Juni 2014].
- [8] G. Wellenreuther und D. Zastrow, Automatisieren mit SPS - Theorie und Praxis, Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008.
- [9] Christiani, „SPS Grundlagen,“ [Online]. Available: [http://www.christiani.de/pdf/85345\\_probe.pdf](http://www.christiani.de/pdf/85345_probe.pdf). [Zugriff am 11 6 2014].
- [10] H. Berger, Automatisieren mit Step 7 mit KOP und FUP, Erlangen: Publicis Publishing, 2012.
- [11] Neumann, Grötsch, Lubkoll und Simon, SPS-Standard: IEC 1131, München: R. Oldenburg, 1995, pp. 56, 57.
- [12] Pohl-Elektronik, „CX-One,“ [Online]. Available: [http://www.pohl-electronic.de/newsletter/pdf/CX-One\\_lang.pdf](http://www.pohl-electronic.de/newsletter/pdf/CX-One_lang.pdf). [Zugriff am 23 Mai 2014].
- [13] Omron, „Eine Software,“ 2011. [Online]. Available: [http://www.rfd-electronic.de/b2b/images/products/addon/!A+Automationssysteme/!A4+Software/\\$catalogs/Software\\_Omron\\_2011\\_DE.pdf](http://www.rfd-electronic.de/b2b/images/products/addon/!A+Automationssysteme/!A4+Software/$catalogs/Software_Omron_2011_DE.pdf). [Zugriff am 27 Mai 2014].

- [14] Siemens, „Programmieren mit STEP 7,“ Mai 2010. [Online]. Available: [https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl\\_iis/TY/TYyMDk2OQAA\\_45531107\\_HB/S7pr\\_\\_\\_a.pdf](https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl_iis/TY/TYyMDk2OQAA_45531107_HB/S7pr___a.pdf). [Zugriff am 3 Juni 2014].
- [15] B. Weber, „Migration einer Kälteanlage,“ 2014.
- [16] Bock Kältemaschinen, „Betriebsanleitung für Halbhermetische Motorverdichter,“ [Online]. Available: <http://www.bock.de/Data/DocumentationFiles/09984-11-97-D.pdf>. [Zugriff am 4 September 2014].
- [17] „Integrierte FA-Tools CX-One Kurzanleitung,“ OMRON, [Online]. Available: <http://downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/Software/Programming/CX-One/CX-Programmer/R135/R135-DE2-02+CX-One+IntroGuide.pdf>. [Zugriff am 23 5 2014].
- [18] G. Wellenreuther und D. Zastrow, Steuerungstechnik mit SPS, Vieweg, 1995, pp. 8, 15.

## 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kälteanlage – Seitenansicht .....	8
Abbildung 2: D. A. GmbH - Frontalansicht .....	9
Abbildung 3: D. A. GmbH - Seitenansicht .....	9
Abbildung 4: Kältekreislauf .....	11
Abbildung 5: R&I-Fließbild.....	14
Abbildung 6: Schaltschrank mit Bedieneinheit.....	18
Abbildung 7: Übertragung von Prozesswerten .....	21
Abbildung 8: modulare SPS .....	24
Abbildung 9: KOP – Schließer.....	28
Abbildung 10: KOP - Öffner.....	28
Abbildung 11: Codebausteine in „STEP 7“ .....	29
Abbildung 12: „CX-One“-Programmer – Oberfläche .....	32
Abbildung 13: SIMATIC Manager-Oberfläche.....	34
Abbildung 14: Sektion 1, Netzwerk 0.....	36
Abbildung 15: Schalter des Prozesswertes.....	37
Abbildung 16: Programmteil zur Skalierung eines PEW.....	37
Abbildung 17: Programmteil zur Auswertung von Grenzüberschreitungen.....	38
Abbildung 18: Merker für Betriebs- und Aktorenzustände.....	41
Abbildung 19: „STEP 7“-Hardwarekonfiguration .....	43
Abbildung 20: FC ANA, Netzwerk 1.....	45
Abbildung 21: DB3 „PEW“ .....	46
Abbildung 22: DB4 „Fehler“ .....	47
Abbildung 23: DB7 „Betriebszustände“ .....	48
Abbildung 24: Alarmreset mit RS-Flip-Flop .....	49
Abbildung 25: Steuerungsauftragsnummer.....	51
Abbildung 26: Aussetzbedingungen des FC 12 "Displaysteuerung" .....	52
Abbildung 27: „STEP 7“ – Bausteine .....	53
Abbildung 28: Oberfläche von „WinCC flexible“ .....	55
Abbildung 29: Variablen aus „STEP 7“ importieren.....	56
Abbildung 30: Eigenschaftsfenster - Allgemein .....	57
Abbildung 31: Eigenschaftsfenster - Animation - Gestaltung .....	58
Abbildung 32: Bild 1 - Betriebszustände .....	58
Abbildung 33: Bild 2 - Verdichter Prozesswerte und Aktorenstellungen.....	59
Abbildung 34: Bild 3 - Verdichter - Alarmgrenzen der Prozesswerte.....	60
Abbildung 35: Bild 4 - Verdichter - Fehler.....	60
Abbildung 36: Bild 5 - Verdampfer Prozesswerte und Aktorenstellungen .....	61
Abbildung 37: Bild 6 - Verdampfer – Alarmgrenzen, Fehler .....	61
Abbildung 38: Bild 7 – Flüssigkeitsauffangbehälter - Prozesswerte, Alarmgrenzen .....	62
Abbildung 39: Bild 8 - Kondensator - Prozesswert,Alarmgrenzen.....	62
Abbildung 40: Bild 9 - Spezialfehler 0.0, Abbildung 41: Bild 10 - Spezialfehler 0.1.....	63
Abbildung 42: Bild 11 - „Notaus“.....	63

# 11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestandteile der Kälteanlage .....	13
Tabelle 2: Steuerfunktionen .....	18
Tabelle 3: Digitale Eingänge .....	19
Tabelle 4: Digitale Ausgänge .....	20
Tabelle 5: PEW's mit Messbereichen und Alarmgrenzen .....	23
Tabelle 6: Komponenten einer SPS .....	25
Tabelle 7: „CX-One“ - Spezifikationen .....	31
Tabelle 8: Thematisierung der Sektionen.....	35
Tabelle 9: Hardware-Komponenten .....	44

# **Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Merseburg, den 27.10.2014

# Anhang

Die folgende Abbildung zeigt die Inhalte der beigefügten CD. Sie enthält Dateien, die zur Erstellung und zum Verständnis der Bachelorarbeit beigetragen haben.

Name	Änderungsdatum	Typ
 CX-One-Programm	08.09.2014 16:19	Dateiordner
 NTST-EV4.84	26.05.2014 07:36	Dateiordner
 NTST-Programm	08.09.2014 16:19	Dateiordner
 Step7-Programm	08.09.2014 16:24	Dateiordner
 Unterlagen von DOW	12.06.2014 11:34	Dateiordner
 Adressbelegungen aus dem NTST	11.06.2014 15:30	Microsoft Office E...
 Querverweisreport CX-One	10.06.2014 10:05	Microsoft Office E...
 Symboltabelle Stand 05.09.14	05.09.2014 13:28	Microsoft Office E...
 Analogwerte	26.09.2014 10:00	Microsoft Office E...