

Bernburg
Dessau
Köthen



Hochschule Anhalt
Anhalt University of Applied Sciences



Fachbereich
Elektrotechnik, Maschinenbau
und Wirtschaftsingenieurwesen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Hendrik Fuchß

Vorname Nachname

Elektrotechnik und
Informationstechnik, 2009, 4050837

Studiengang, Matrikel, Matrikelnummer

Thema:

**Automatisierung einer Brauchwasser-
Druckerhöhungsstation**

Prof. Dr.-Ing W. Günther

Vorsitzende/r der Bachelorprüfungskommission

Prof. Dr.-Ing. W. Günter

1. Prüfer/in

Prof. Dr. M. Brutscheck

2. Prüfer/in

16.07.2014

Abgabe am

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen, einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software, verwendet wurden.

Markkleeberg, 23.07.2014

Ort, Datum

Unterschrift/en der/des Studierenden

Sperrvermerk

Sperrvermerk: ja nein

wenn ja: Der Inhalt der Arbeit darf Dritten ohne Genehmigung der/des (Bezeichnung des Unternehmens) nicht zugänglich gemacht werden. Dieser Sperrvermerk gilt für die Dauer von X Jahren.

Markkleeberg, 23.07.2014

Ort, Datum

Unterschrift/en der/des Studierenden

Angaben zum Unternehmen

Logo des Unternehmens



Name des Unternehmens

EAT

Elektro- und Automatisierungstechnik GmbH

Name des Betreuers

Ulf Petter

Kontaktdaten

EAT GmbH

Benzstraße 8

04567 Kitzscher / OT Hainichen

E-Mail-Adresse des Betreuers

ulf.petter@eat-automation.de

Kurzfassung

Für eine Brauchwasserdruckerhöhungsstation soll ein Konzept für die Steuerungstechnik entwickelt werden, das folgende Anforderungen umfasst.

- Steuerungs- und regelungstechnische Lösung für die Befüllung der Vorratsbehälter
- Steuerungs- und regelungstechnische Lösung für die Druckregelung in den Druckkesseln
- Auswahl geeigneter Sensoren zur Füllstandmessung in den Vorratsbehältern
- Auswahl geeigneter Sensoren zur Druckerfassung in den Druckkesseln
- Konzept zur Füllstandermittlung in den Druckkesseln
- Konzept zur Anlagensteuerung mit Bedienebenen und Störmeldesystem
- Erstellung eines Datenmodells
- Auswahl einer geeigneten Steuerung
- Auswahl eines geeigneten Visualisierungspanels und dessen Programmierung
- Unterstützung bei der Auswahl der elektronischen Bauteile und der Schaltschrankprojektierung, Zeichnungserstellung und Verdrahtung
- Projektmanagement und Kundenkontakt

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zielsetzung	1
1.1	Einleitung in die Thematik	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	1
2	Stand der Technik	2
2.1	Automatisierungstechnik allgemein	2
2.2	Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)	3
2.2.1	Entwicklung der SPS	3
2.2.2	Hardware der SPS	6
2.2.3	Software der SPS	7
3	Systemanalyse und Vorbetrachtung	11
3.1	Struktur der Druckerhöhungsstation	11
3.1.1	Stand der Anlage vor dem Umbau	11
3.1.2	Aufteilung der Anlage in Funktionsbereiche	13
3.2	Anlagenkonzept	14
3.2.1	Spezifikation der Automatisierung	14
3.2.2	Spezifikation der Steuerung	19
3.2.3	Mess- und Erfassungsgrundlagen	21
3.2.4	Benötigte Signale der Anlage	26
4	Lösungskonzept der Hardware	29
4.1	Bestandteile des Automatisierungsgerätes	29
4.1.1	Zentrale Steuereinheit	29
4.1.2	Eingangsbaugruppen	30
4.1.3	Ausgangsbaugruppen	30
4.1.4	Visualisierung	31
4.2	Sensoren und Aktoren	31
4.2.1	Drucksensoren	31
4.2.2	Temperatursensoren	32
4.2.3	Kompressoren	32
4.2.4	Magnetventile	32
5	Lösungskonzept der Software	34
5.1	Einrichtung der Applikation	34
5.2	Steuerungsprogramm	35
5.2.1	Signaleingänge und Signalausgabe	35
5.2.2	Pumpenregime	41
5.2.3	Bildung der Pumpenstörmeldungen	43
5.2.4	Bildung der Grenzpunkte	44
5.2.5	Bildung der Schaltpunkte	47
5.2.6	Sonderprogramm Gruppenbetrieb	50
5.2.7	Füllstands- und Volumenberechnung	52
5.2.8	Magnetventilsteuerung	53
5.2.9	Nachtbetrieb	58
5.2.10	Lade- und Speicherfunktion	60
5.2.11	Uhrzeit der SPS	61
5.3	Visualisierung	61
5.3.1	Belegung der Softkeytasten	62
5.3.2	Animation der Behälter	62
5.3.3	Animation der Aggregate	64

5.3.4	Animation der Anzeigeflächen	66
5.3.5	Animation der Touchtasten	68
5.3.6	Animation der Eingabefelder und Eingabegrenzen	68
5.3.7	Animation der Zugangskontrolle	69
5.3.8	Animation Laden und Speichern	71
5.3.9	Aufbau der Panelfenster	73
5.3.10	Animation der Systemfunktionen	77
5.4	Störungen	78
6	Zusammenfassung und Ausblick	82
Anhang		i
A.	Auszüge aus Tabellen zur Darstellung von theoretisch ermittelten Mess- Druck- und Füllstandswerten	i
B.	Auszüge der Bedienungsanleitung	vi
C.	Diagrammbilder Bedienpanel	xi
D.	Schaltplanauszüge	xii
	Abkürzungsverzeichnis	xiv
	Abbildungsverzeichnis	xv
	Tabellenverzeichnis	xix
	Literaturverzeichnis	xx

1 Motivation und Zielsetzung

1.1 Einleitung in die Thematik

Die Firma EAT GmbH ist ein kleines Unternehmen, bestehend aus etwa 15 Mitarbeitern. Der Firmensitz befindet sich in Kitzscher bei Leipzig. Das Leistungsangebot umfasst unter anderem die Planung und Realisierung von komplexen Automatisierungsaufgaben sowie Elektroinstallationen. Dabei ist das Unternehmen weltweit tätig.

Das Thema Automatisierung spielt in der heutigen Wirtschaft und immer mehr auch in den privaten Haushalten eine entscheidende Rolle. So gewinnt die Gebäudeautomatisierung wie z.B. Haussteuerungen für Licht- und Medientechnik auch in Eigenheimen immer mehr an Bedeutung. Für die Umsetzung einer derartigen Aufgabe sind einerseits ein passendes Objekt und andererseits eine entsprechende Finanzierung erforderlich.

Der Auftrag zur Automatisierung der Druckerhöhungsstation des Gartenvereines „Zum Stausee“ passt in das vorsondierte Konzept und in den zeitlichen Rahmen der Ausarbeitung einer Abschlussarbeit.

Die Druckerhöhungsstation wurde Ende der 1980er Jahre in der Gartenanlage errichtet und versorgt etwa 200 Gartenparzellen mit Brauchwasser. Da die Anlage in den letzten Jahren immer unzuverlässiger wurde und es häufig zu Ausfällen der Sensorik kam, hat sich der Gartenverein für eine Erneuerung der Steuerung und der Sensorik entschieden. Mit dieser Aufgabe wurde die Firma EAT beauftragt. Der nächste Schritt nach der Automatisierung der Steuerung soll dann die Erneuerung des Leitungsnetzes sein.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ziel ist es, nach der Umsetzung der Aufgabe ein System zu haben, welches mit geringem Aufwand sicher funktioniert. Zudem muss auch die Bedienung der Anlage möglichst einfach und in Form einer Kundendokumentation nachvollziehbar erklärt sein. Da die Wasserversorgung der Gartenanlage im Winter abgestellt wird, müssen auch Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme der Anlage durch den Kunden selbst möglich sein. Die Umsetzung der Automatisierung soll mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) erfolgen. Dabei möchte der Bediener über ein Bedienpanel die Funktion steuern und die Betriebszustände kontrollieren. Die Anlage muss aus Kostengründen mit möglichst wenigen Sensoren auskommen. Zu diesem Zweck soll ein möglichst einfaches Steuerungs- und Regelungskonzept gefunden und umgesetzt werden. Alle Aggregate müssen effektiv und ökonomisch miteinander arbeiten und sich im Störfall so lange wie möglich gegenseitig ausgleichen.

Auf Wunsch der Firma EAT wird in dieser Ausarbeitung auf Preise sowohl für Leistungen als auch für Material kein Bezug genommen.

2 Stand der Technik

2.1 Automatisierungstechnik allgemein

Die Aufgabe der Automatisierungstechnik ist es, komplexe Prozesse und Abläufe möglichst ohne manuelle Eingriffe des Menschen zu realisieren. Das heißt, Maschinen bzw. Prozesse werden automatisch gesteuert, geregelt und überwacht.

Ziele der Automatisierung sind die Erleichterung von Arbeitsprozessen, die Erhöhung der Sicherheit von Abläufen und die Reduktion von sich daraus ergebenden direkten Gefahren für den Menschen. Weitere Punkte sind die Steigerung der Geschwindigkeit, die hohe Genauigkeit und somit die Reduktion von Kosten bei der Herstellung von Produkten, die in hohen Stückzahlen produziert werden. Prozesse, die sich ständig wiederholen, lassen sich besser, schneller und genauer durch einen automatischen Ablauf realisieren. Die Automatisierung sorgt dafür, dass physikalische Größen wie z.B. Spannungen, Ströme, Drücke oder Temperaturen in Abhängigkeit von anderen Größen entweder konstant gehalten werden oder sich in definierter Weise ändern. Dabei ist die Aufgabe der Regelung das Einhalten von Sollwerten, auch wenn innere und äußere Störeinflüsse entgegenwirken. [HB01]

Die Automatisierungstechnik ist heute aus der Industrie und auch aus den Haushalten nicht mehr wegzudenken. Das beginnt zu Hause mit der Heizungsanlage, geht über Fahrstühle in Gebäuden und endet mit der Steuerung eines ganzen Kraftwerkes oder der Produktion von Automobilen, bei denen beispielsweise die Rohkarossen von Robotern zusammengesetzt und geschweißt werden. In der Automatisierungstechnik werden Steuerungstechnik und Regelungstechnik verknüpft.

Die Steuerung ist als Vorgang in einem System definiert, wobei Eingangsgrößen die Ausgangsgrößen nach im System festgelegten Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Dabei werden die Einflüsse von unvorhergesehenen Störungen nicht ausgeglichen. Deshalb spricht man bei einer Steuerung auch davon, dass diese einen offenen Wirkungsweg besitzt. Die meisten Steuerungen sind Ablaufsteuerungen.

Eine Regelung ist erforderlich, wenn Störungen die Ausgangsgrößen inakzeptabel beeinflussen. Dann wird eine messtechnisch erfassbare Regelgröße eingeführt, die permanent erfasst und mit dem Sollwert verglichen wird. Bei zu großer Abweichung vom definierten Sollwert zum Istwert, wird die Regelgröße an den Sollwert angeglichen. Dieser Ablauf findet in einem geschlossenen Regelkreis statt. [GW01]

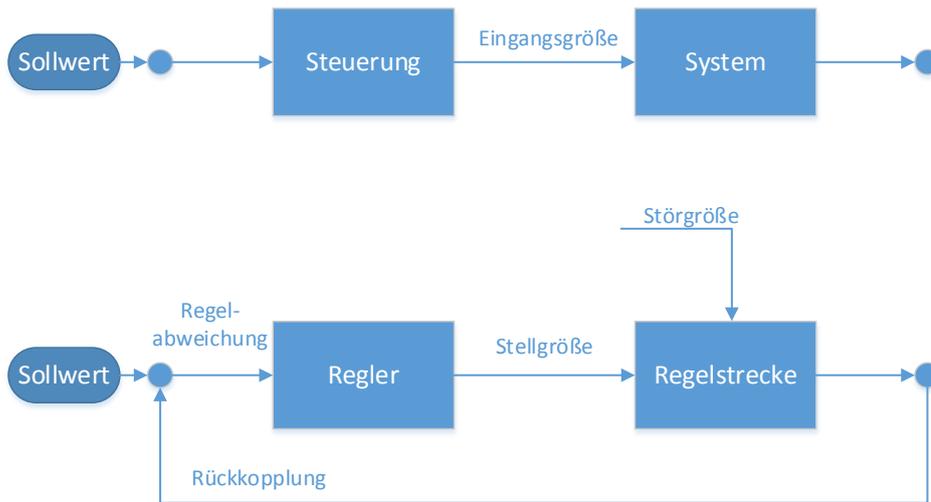


Abbildung 2.1: Darstellung Steuerungsstruktur und vereinfachter Regelung [ENZ01], [MRS01]

Im Anwenderprogramm moderner Automatisierungsgeräte können sowohl steuerungs- als auch regelungstechnische Signalverarbeitungen durch Verknüpfung von logischen und arithmetischen Funktionen und Funktionsbausteinen implementiert werden.

2.2 Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

2.2.1 Entwicklung der SPS

In der Automatisierungstechnik spielen neben den Sensoren und Aktoren die speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) die entscheidende Rolle. Sie bilden sozusagen das digitale Gehirn der Anlage und übernehmen die Steuerung und Regelung eines komplexen Systems.

Den Ursprung von speicherprogrammierbaren Steuerungen bildeten in den 50er und 60er Jahren die Verschaltung von Schützen oder Relais zu logischen Verknüpfungen. Dabei bildeten die Leitungen, also die Verdrahtung der einzelnen Schaltelemente, die Logik hinter der Steuerung. Diese Steuerungen werden verbindungsprogrammierbare Steuerung (VPS) genannt. Sie wurden meist nach den Unterlagen des Projektanten verdrahtet und konnten bereits logische Funktionen wie UND, ODER sowie Flipflops darstellen.

Ende der 50er Jahre baute Siemens die ersten Steuerungen nach diesem Prinzip mit der Markenbezeichnung „Simatic“, die heute noch verwendet wird. In dieser Zeit gab es ständig Änderungen und Weiterentwicklungen. Die Steuerungen hatten noch einen enormen Platzbedarf und konnten nicht einfach umprogrammiert werden. Um die Funktion einer solchen VPS zu ändern, musste die Verdrahtung geändert oder sogar die ganze Steuerung getauscht werden.

Ende der sechziger Jahre wurden die Forderungen der Automobilindustrie nach flexibleren Steuerungen lauter. Die verbindungsprogrammierten Steuerungen waren der steigenden Nachfrage nach Automatisierung nicht mehr gewachsen.

Das Jahr 1968 kann als das Geburtsjahr der SPS bezeichnet werden. Die ersten Steuerungen mit der neuen Technik wurden in den USA entwickelt. Als

halbleiterbaserendes, sequentielles Logiksystem stellten Richard Morley und Odo J. Struger 1968 die Modicon 084 der amerikanischen Automobilindustrie vor. [SPS01]

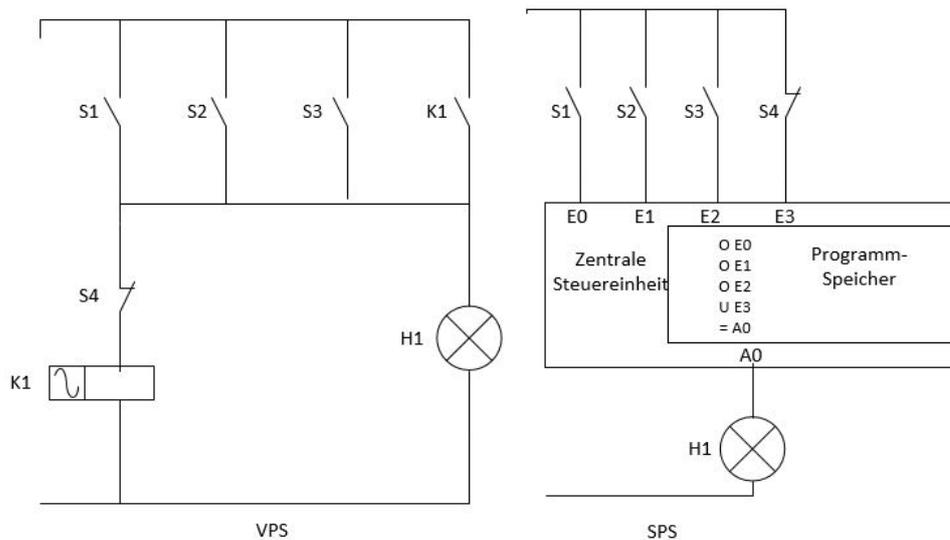


Abbildung 2.2: Darstellung Schaltungsschema VPS und SPS

Bei diesen Steuerungen wurde die Signalverarbeitung nicht mehr fest verdrahtet, sondern als Anwenderprogramm gespeichert.

1973 brachte Siemens die Simatic S3 auf den Markt. Damit gewinnt die SPS in der deutschen Automobilindustrie an Bedeutung. Natürlich existierten in dieser Zeit auch andere sowohl deutsche als auch ausländische Hersteller von speicherprogrammierbaren Steuerungen, deren Produkte ständig weiterentwickelt und verbessert wurden und noch werden. Durch den Einsatz von Mikroprozessoren konnten die Steuerungen wesentlich kostengünstiger hergestellt werden.

Die Anforderungen an die Steuerungen wurden immer komplexer. Damit mussten Möglichkeiten der Zusammenarbeit mehrerer Steuerungen gefunden werden. Richard Morley entwickelte dazu das seit 1979 bekannte Modbus-Protokoll für die Kommunikation der Modicon-Steuerungen. Modbus ist auch heute noch ein Industriestandard und wird inzwischen neben vielen anderen Feldbussystemen auch als Industrial-Ethernet-Protokoll verwendet. [BUS01]

Ein großes Hindernis für den endgültigen Durchbruch der SPS waren sowohl die herstellereigenspezifischen Programmiergeräte und deren komplizierte Handhabung. So wurden beispielsweise die S5-Steuerungen von Siemens ursprünglich noch mit Programmiergeräten auf DOS-Basis programmiert und gewartet. Drittanbieter wie z.B. IBHsoftec brachten Varianten von STEP5 unter MS Windows auf den Markt.

[SPS02]

In den achtziger Jahren wurde langsam begonnen, einen einheitlichen SPS-Standard festzulegen. Eine weltweit einheitliche Basis sollte entstehen, die das Arbeiten mit den unterschiedlichen Sprach- und Modellvarianten ermöglicht.

Internationale Norm IEC 61131

Ab 1990 entwickelte sich die IEC 61131 als Grundlagen einheitlicher Programmiersprachen und intelligenter Hardware der speicherprogrammierbaren Steuerungen. Die Norm besteht aus verschiedenen Teilen, in denen unter anderem Variablen und Datentypen, Programmorganisation, Taktkonzepte und Fachsprachen vereinheitlicht werden. So sind beispielsweise in der IEC 61131-3 die weltweit gültigen Normierungen der Programmiersprachen festgelegt. Damit kann jeder Anwender in den Sprachen Funktionsbausteinsprache (bei Siemens auch als Funktionsplan bezeichnet), Kontaktplan, Anweisungsliste, Ablaufsprache oder Structured Text (eine an PASCAL angelehnte Hochsprache) wählen. Die Programmierung selbst bleibt dabei weiterhin individuell. [GW01]

Damit kann ein Programmablauf sowohl graphisch als auch über eine Hochsprache nach Norm in eine SPS eingeben werden. Die Einführung einer weltweit gültigen Norm hat wesentlich dazu beigetragen, dass sich die SPS in der Industrie durchgesetzt hat und heute in automatisierten Prozessen kaum wegzudenken ist.

Die aktuellen Weiterentwicklungen der Steuerungen beziehen sich beispielsweise auf die Baugröße und die Leistungsfähigkeit. Konnte man am Anfang nur auf Speicherkapazität von maximal 1KByte zurückgreifen sind es heute schon 1MByte und mehr. Zudem lassen sich die Geräte heute ohne spezielle Programmiergeräte über Computer mit herkömmlichen Betriebssystemen programmieren. [SA01]

Die Umstellung von einem Automatisierungsgerät zu einem Neueren ist in der Regel nicht mit dem Tausch der Komponente und dem Umladen des Programms erledigt. Durch die Weiterentwicklung der Technik müssen tiefgreifende Anpassungen und Änderungen vorgenommen werden. Dadurch ist eine Umstellung auf ein neues SPS-System sehr aufwändig und teuer. Aus diesem Grund muss vor der Einführung eines Automatisierungssystems sichergestellt werden, dass es noch sehr lange auf dem Markt verfügbar ist und eine nachhaltige Ersatzteilversorgung sowie ein entsprechender Support existieren. Laufen dann Produktionen von Steuerungen aus, werden Ersatzteile sehr schnell exorbitant teuer und in den jeweiligen Firmen werden Vorräte angeschafft, um möglichst noch sehr lange mit der alten Steuerung arbeiten zu können. Dieser Zyklus wird mit dem Lifecycle- Management (LCM) beschrieben. Die Lebensdauer einer Automatisierungsanlage wird in der Regel mit mehr als 20 Jahren kalkuliert.



Abbildung 2.3: Darstellung Anlagenlebenszyklus

Als Beispiel für das Ende eines Lebenszyklus kann das auslaufende SPS-Modell Simatic S5 genannt werden, welches von der Simatic S7 ersetzt wird. Die Migration von S5 zu S7 ist mit hohem Aufwand möglich, da sowohl die Komponenten als auch die Software nicht direkt kompatibel zueinander sind.

2.2.2 Hardware der SPS

Eine SPS ist grundsätzlich in die Eingabeeinheit, Verarbeitungseinheit und Ausgabereinheit untergliedert.

Die Eingabeeinheit besteht aus digitalen oder analogen Eingabebaugruppen. Daran werden externe Sensoren, Geber oder Schalter angeschlossen. Die binäre Eingabebaugruppe ist von der SPS galvanisch getrennt und die Signale können gefiltert werden. Optional wird auch eine galvanische Trennung der analogen Baugruppen angeboten.

Die Verarbeitungseinheit wird aus der zentralen Prozessoreinheit (CPU) gebildet. Darin integriert sind Systemspeicher, Programmspeicher und Datenspeicher. In diesem Bereich findet die Abarbeitung des Programms statt. Die CPU bildet somit die logische Verknüpfung zwischen Eingang und Ausgang der SPS.

Die Ausgabereinheit kann aus analogen oder digitalen Baugruppen bestehen. Die digitalen Baugruppen können beispielsweise binäre Signale über Transistoren schalten oder integrierte Relais enthalten, mit denen z.B. Schütze angesteuert werden. Analoge Ausgabebaugruppen können Analog-Digital-Wandler oder Digital-Analog-Wandler enthalten. Somit können diese Baugruppen beispielsweise Digital- oder Analogwerte ausgeben.

Die einzelnen Ein- und Ausgabebaugruppen sind dabei über einen Rückwand-Bus mit der CPU verbunden. Die Ein- und Ausgabereinheiten werden auch als Signalbaugruppen bezeichnet. Die Steuerung kann als Kompakt-SPS oder als modulare SPS aufgeführt sein. Es gibt aber auch Soft-SPS-Systeme, die aus einer SPS-Software auf einem Industrie-PC und den über Feldbussysteme gekoppelten Signalbaugruppen bestehen.

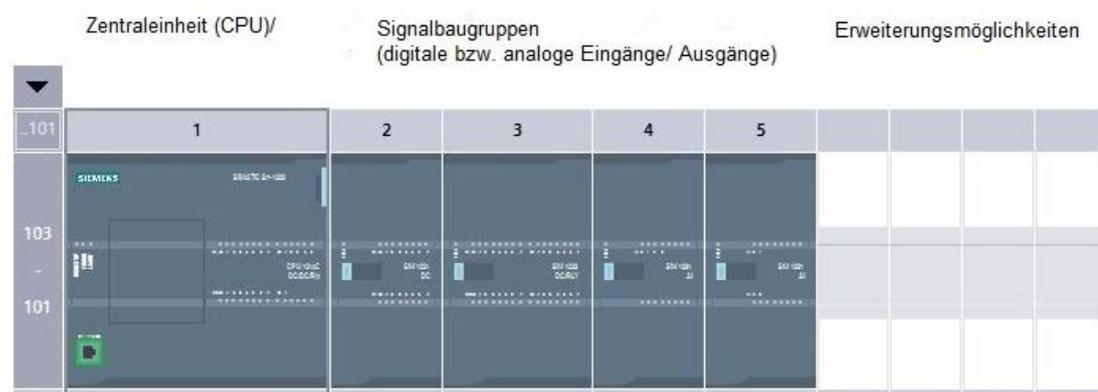


Abbildung 2.4: Darstellung Hardwarekonfiguration (Quelle: HBR01, erstellt mit Siemens TIA Portal V12, Gerätekonfiguration Programm „Gartenanlage“)

Durch die modulare Bauweise heutiger Steuerungssysteme lassen sich die einzelnen Module individuell zusammenstellen und somit flexibel an die Anforderungen des

Systems anpassen. Defekte Komponenten können einzeln gewechselt werden. Damit werden Reparaturen günstiger. Auch die Kosten der Verkabelung haben sich dadurch reduziert. Die Anzahl der möglichen Signalbaugruppen ist vom Typ der SPS abhängig. Die Spannungsversorgung der SPS und der Module erfolgt durch einen Spannungswandler. Die Versorgungsspannung beträgt 24 Volt Gleichspannung. Jede Komponente hat einen eigenen Masse- bzw. Plusanschluss. Teilweise besitzt sogar jede Anschlussebene der Signalbaugruppen eine eigene Versorgung. [HBR01]

Eingangsbaugruppen können digital oder analog ausgeführt sein. Digitale Eingänge unterscheiden nur binär zwischen High- und Low- Pegel, also nur zwischen den Zuständen 0 und 1. Analoge Eingänge können entweder mit Spannung oder mit Strom beaufschlagt werden.

Dabei werden u.a. folgende Wertebereiche unterschieden:

- 0-10 V
- 0-20 mA
- 4-20 mA

Die Signalpegel entsprechen der DIN ICE 381 als Normwerte für analoge Gleichspannungssignale. [HB01]

Diese Spannungs- oder Stromwerte werden dann in digitale Werte umgewandelt, deren Wertebereich abhängig von der Auflösung der SPS bzw. der Analogbaugruppe ist. Die Signalquantisierung wird dabei in Bit angegeben. Ausgänge können ebenfalls analog oder digital sein. Häufiger werden aber digitale Ausgänge verwendet, mit denen Relais, Schütze, Leuchtmelder oder ähnliche Komponenten angesteuert werden.

Zusätzliche Hardwarekomponenten moderner Automatisierungsgeräte sind Anzeige- und Bedieneinheiten. Die bilden die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine und werden als human machine interface (HMI) bezeichnet. Über diese Komponenten werden Zustände der Anlage angezeigt. Teilweise können darüber auch Einstellungen vorgenommen werden.

Ein weiterer Entwicklungstrend ist die Kopplung der prozessnahen Komponenten über Feldbusschnittstellen mit der SPS. So werden die konventionellen Schnittstellen wie beispielsweise die 4-20 mA Technik durch digitale Schnittstellen ersetzt.

Eine heute noch vorrangig in der Verfahrenstechnik verwendete Technologie ist das Hart-Signal. Dabei wird auf das 4-20 mA-Prozesssignal ein 1200 – bzw. 2400 HZ-Signal zur azyklischen Übertragung von Parameter- und Diagnosedaten aufmoduliert. [HRT01]

Für Feldbusse gilt seit 1999 die Norm IEC 61158.

2.2.3 Software der SPS

In der SPS werden in Abhängigkeit von Eingangssignalen und inneren Zuständen Ausgangssignale generiert. Den Wirkungsweisen liegen logische und arithmetische Signalverarbeitungen zugrunde, die in Form eines Anwenderprogramms in der Verarbeitungseinheit der SPS gespeichert sind. In der SPS-Welt wird gemäß IEC-Norm zwischen Funktionen und Funktionsbausteinen unterschieden. Die Abarbeitung des SPS-Programms erfolgt zyklisch. Das heißt, die binären Eingänge werden in das Prozessabbild der Eingänge (PAE) eingelesen, die Programmbausteine

werden nacheinander abgearbeitet und anschließend wird das Prozessabbild der Ausgänge (PAA) auf die binären Ausgabebaugruppen übertragen.

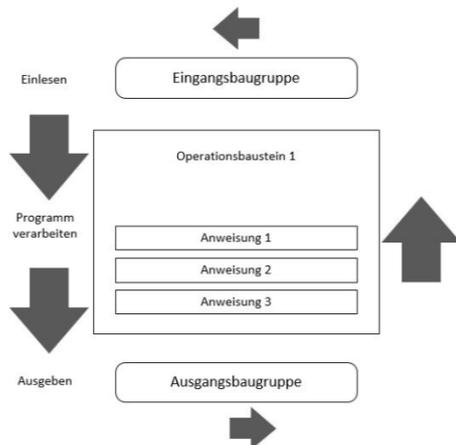


Abbildung 2.5: Darstellung zyklische Programmabarbeitung [JK01]

In den Steuerungen S5 und S7 von Siemens werden Programmanweisungen der Reihenfolge, wie sie im ersten Organisationsbaustein gespeichert sind, abgearbeitet. Durch Interrupts kann eine gezielte Unterbrechung des zyklischen Programmablaufs erfolgen. Dadurch können bestimmte Anwendungen immer vorrangig abgearbeitet werden. Dabei kann die Zustandsänderung eines bestimmten Eingangs als Auslöser des Interrupts genutzt werden. Zur Umsetzung einer Safety-Anwendung ist allerdings eine spezielle Hardware erforderlich. Das System muss im Fehlerfall mit definierter Wahrscheinlichkeit in einen sicheren Zustand schalten. Unter diesen Voraussetzungen dürfen heute sogar Not-Aus-Schaltungen durch SPS umgesetzt werden. Alternativ kann das zyklisch umlaufende Programm auch zeitgesteuert unterbrochen werden.

Nach Abarbeitung von höher priorisierten zeitzyklischen bzw. ereignisorientierten Tasks wird das zyklisch umlaufende Programm an der unterbrochenen Stelle fortgesetzt. Allerdings ist zu beachten, dass durch die Unterbrechungen die Zykluszeit des Programms verlängert wird und somit andere Reaktionen und Funktionen möglicherweise nicht mehr echtzeitfähig sind.

Um ein solches SPS-Programm zu entwickeln, stehen nach IEC 61131 verschiedene Programmiersprachen zur Verfügung. Für die vorwiegend binäre Signalverarbeitung bieten sich die graphischen Sprachen Kontaktplan (KOP) oder Funktionsbausteinsprache (FBS) bzw. Funktionsplan (FUP) an. Alternativ kann beispielsweise in Anweisungsliste (AWL) oder in Structured Text (ST) programmiert werden. AWL sollte aber z.B. nur noch verwendet werden, wenn eine sehr rechenzeitminimale Programmierung erforderlich ist.

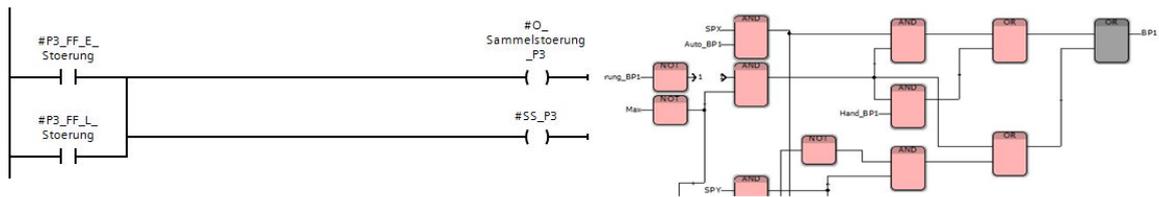


Abbildung 2.6: Darstellung Programmiersprachen KOP (links) und FBS (rechts)

In Abbildung 2.6 werden die Programmiersprachen KOP (Auszug Siemens TIA-Portal) und FBS (Auszug Multiprog-Express) gegenübergestellt. Beim KOP ist zu erkennen, dass der Funktionsaufbau ähnlich dem eines Schaltplanes ist. In FBS sind die Funktionen als Kästen mit Ein- und Ausgängen dargestellt. Im rechten Auszug der Abbildung 2.6 ist schon zu erkennen, dass die Darstellungen in FBS ohne geeignete Maßnahmen sehr komplex und unübersichtlich werden. Dies kann aber beispielsweise durch Festlegung geeigneter Hierarchien vermieden werden. Bei der in STEP7-Umgebung von Siemens verwendeten Sprache FUP kann eine Untergliederung durch Aufteilung in Netzwerke erfolgen.

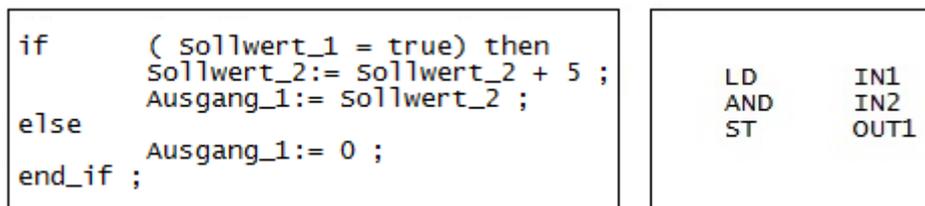


Abbildung 2.7: Darstellung Programmiersprachen ST (links) und AWL (rechts)

In Abbildung 2.7 werden Auszüge aus den Programmiersprachen ST (SCL bei Siemens) und AWL dargestellt. ST ist mit der Programmierung in C zu vergleichen, AWL ist noch kürzer und bedient sich nur weniger Befehle und Zeichen. Die Hochsprachen sind häufig einfacher darzustellen, beinhalten sehr viel Quellcodes und benötigen somit viele Ressourcen.

Eine weitere Programmiersprache stellt die Ablaufsprache dar. Bei Siemens STEP7 wird diese mit GRAPH 7 bezeichnet. AS ist wie KOP oder FBS eine graphische Sprache und wird z.B. für die Programmierung sequentieller Automaten verwendet. Das Programm wird als Kette mit Schritten, Transitionen und Aktionen aufgebaut.

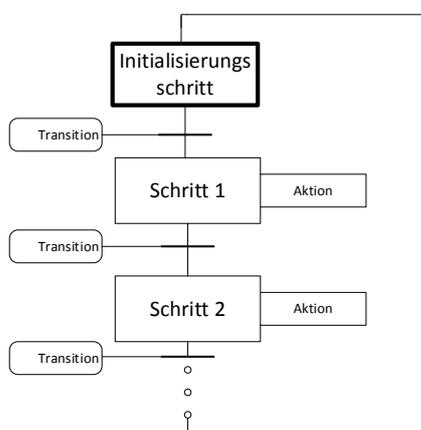


Abbildung 2.8: Darstellung Schema Ablaufsteuerung

In Abbildung 2.8 ist das Schema einer Schrittkette mit einer Rückführung zum Initialschritt dargestellt.

Das Programm eines Prozesses ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in einem Stück geschrieben, sondern ist in Teilprogramme untergliedert. In STEP7 beispielsweise werden diese Teile Programmbausteine genannt, in denen dann die entsprechenden Funktionen zusammengefasst sind.

Die Teilprogramme können z.B. in einem Funktionsbaustein (FB) angelegt sein. Funktionsbausteine haben eine eigene Instanz, das heißt einen eigenen Speicher für Zwischenwerte. Somit kann man sagen, dass FB's ein „Gedächtnis“ haben. Sie können mehrfach an unterschiedlichen Stellen im Programm aufgerufen werden und eignen sich daher zur Programmierung komplexer, wiederkehrender Funktionen. Bei jedem Aufruf muss aber ein Instanzbaustein angelegt werden, welcher dem FB zugeordnet ist. Die Verwaltung erfolgt durch das System automatisch.

Alternativ zum Funktionsbaustein können die Programmteile auch in einer Funktion (FC) hinterlegt werden. Die FC's haben kein „Gedächtnis“, es wird also keine Instanz dazu hinterlegt. Diese Funktionen gleichen vom Funktionsumfang den Funktionsbausteinen, jedoch werden die lokalen Daten nach der Abarbeitung der Funktion nicht gespeichert.

Die Programmorganisation in STEP7 wird durch Organisationsbausteine (OB) ausgeführt. Die OB's können zeit- oder ereignisgesteuert ausgeführt werden. In den OB's werden die einzelnen Programmbausteine aufgerufen und abgearbeitet. Bei zeitgesteuertem Ablauf geschieht dies der Reihe nach. Je nach Priorisierung können sich OB's gegenseitig unterbrechen. Auch ereignisorientierte Bausteine können Interrupts auslösen.

Funktionen, die nicht in einem OB aufgerufen werden, werden nicht im Programm berücksichtigt und somit auch nicht ausgeführt.

3 Systemanalyse und Vorbetrachtung

3.1 Struktur der Druckerhöhungsstation

3.1.1 Stand der Anlage vor dem Umbau

Die Druckerhöhungsstation besteht aus zwei Wasserspeichern in Form von Flüssigkeitsbehältern ehemaliger Kesselwagen der Bahn. Die beiden Kessel haben insgesamt ein Speichervermögen von ca. 26000 Litern.



Abbildung 3.1: Darstellung Wasserspeicher im Außenbereich

Die Vorratsbehälter werden aus zwei ca. 25 m tiefen Brunnen über je eine Grundwasserpumpe mit einer Leistung von 2200 Watt gefüllt. Da die Behälter über ein Rohrsystem untereinander verbunden sind, erfolgt das Befüllen immer gemeinsam.

Ursprünglich erfolgte keine genaue Erfassung des Füllstandes. Die Pumpen wurden lediglich durch einen Schwimmerschalter geschaltet. Wie viele Brunnenpumpen eingesetzt wurden, hat der Anlagenwart manuell ausgewählt. Die Rückmeldung, ob die Pumpen in Betrieb waren, konnte man über analoge Amperemeter am Schaltkasten erkennen.

Die Druckerhöhung erfolgt in zwei unabhängig voneinander versorgten, verzinkten Druckbehältern mit einer Länge von je 1,2 m und einem Durchmesser von 0,8 m. Damit ergibt sich für jeden Druckbehälter ein Fassungsvermögen von ca. 630 Litern. Die Kessel sind liegend montiert und für einen maximalen Druck von 10 Bar ausgelegt. Der Wasserstand in den Behältern kann über ein Schauglas ermittelt werden.



Abbildung 3.2: Darstellung Druckbehälter im Pumpenhaus

An jeden Druckbehälter sind drei Kreiselpumpen zur Wasserbefüllung angeschlossen. Die Pumpen werden über Drehstrommotoren mit einer Leistung von 2200 Watt angetrieben und saugen das Brauchwasser über eine zentrale Leitung aus den Vorratsbehältern. Damit der Druck nicht über die abgeschalteten Pumpen wieder aus den Kesseln entweichen kann, befinden sich nach jeder Druckpumpe Rückschlagventile. Zusätzlich können die Zu- und Abläufe der Pumpen auch noch manuell abgeschiebert werden. Somit ist es möglich, die Aggregate auch bei laufender Anlage zu isolieren.



Abbildung 3.3: Darstellung Kreiselpumpen (links) und Drehstrommotoren (rechts)

Vor dem Umbau der Anlage wurde der Systemdruck im Druckbehälter über einen Kompressor und ein Magnetventil reguliert. Die Schaltung des Magnetventils erfolgte durch einen Druckschalter bei Überdruck von mehr als 6,4 Bar oder manuell. Somit arbeitete das Magnetventil als Überdruckausgleich. Durch einen weiteren einstellbaren Drucksensor wurden die Druckpumpen geregelt. Das Kontaktmanometer löste bei der Unterschreitung eines eingestellten Systemdruckes von etwa zwei Bar direkt die erste Pumpe aus. Die beiden anderen Pumpen wurden durch ein Zeitrelais verzögert eingeschaltet. Die Abschaltung der Pumpen erfolgte bei Erreichen eines Systemdruckes von etwa vier Bar. Die Druckluftzufuhr wurde manuell durch Zuschalten der Kompressoren geregelt. Die Kompressoren wurden über einen Keilriemen von einem Elektromotor angetrieben. Ein Druckspeicher war nicht vorhanden, so dass die mechanischen Teile der Kompressoren immer mit dem Wasser aus den Kesseln in Berührung kamen.



Abbildung 3.4: Darstellung Druckschalter (links, mitte) und Kompressor (rechts)

Ursprünglich wurden die Druckbehälter bei der Inbetriebnahme der Anlage nach der Winterpause erst zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Anschließend wurde manuell Luft über die Kompressoren zugeführt, bis ein Druck von ca. vier Bar erreicht war. Erst dann wurden die Ventile zur Versorgung der Kleingärten geöffnet. Während des Betriebes war eine ständige Kontrolle der Anlage erforderlich. Bei zu starker Wasserabnahme wurde durch den Überdruck in den Kesseln Luft in die

Wasserleitungen gedrückt. Ein eigenständiges Wiederanlaufen des Systems war nicht möglich. Insgesamt war die Wasserversorgung der Gartenanlage unter diesen Bedingungen sehr störanfällig und unzuverlässig. Die unsymmetrische Verteilung der Kleingärten auf die Druckbehälter führte dazu, dass häufig nur ein Druckbehälter einsatzbereit war. Da nicht jeder Pächter Zugang zum Pumpenhaus hat und über das nötige Fachwissen des Systems verfügt, waren die ehrenamtlichen Anlagenbetreiber permanent im Einsatz, um das Bewässerungssystem in Gang zu halten.

Der Vorstand des Gartenvereines hat aus diesem Grund entschieden, die Steuerung der Druckerhöhungsstation im Jahr 2013 zu erneuern. Mit der Planung und Ausführung der dazu erforderlichen Arbeiten wurde die Firma EAT GmbH beauftragt. Im Jahr 2014 sollen dann noch die Wasserleitungen erneuert werden. Vorgaben zur technischen Umsetzung der neuen Steuerung gab es vom Auftraggeber nicht. Lediglich eine Anzeige- und Bedieneinheit sowie die Ablesbarkeit der Ströme der beiden Tiefbrunnenpumpen wurden gewünscht.

3.1.2 Aufteilung der Anlage in Funktionsbereiche

Aufgrund des Aufbaus der Anlage bietet es sich an, das System in einzelne Funktionsbereiche zu untergliedern. Damit lässt sich die Programmierung der Steuerung besser gliedern und man kann die Fehlerbeschreibung und Analyse strukturieren. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, besteht die Anlage aus dem Wasserspeicher mit den beiden Tanks und den beiden Brunnenpumpen sowie den zwei Druckkesseln mit jeweils drei Druckpumpen, einem Kompressor und dem Magnetventil.

Die Anlage wird in drei Funktionsbereiche untergliedert, die als eigenständige Einheiten stehen sollen. Die Steuerung der Anlage muss so gestaltet sein, dass ein Betreiben des Systems auch im Handmodus möglich ist.

Den ersten Funktionsbereich stellt der Wasserspeicher dar. Darin integriert sind die beiden Wassertanks, die beiden Tiefbrunnenpumpen und ein Sensor zur Füllstandmessung in den Tanks. In Abhängigkeit vom Füllstand sollen die beiden Brunnenpumpen gesteuert werden. Diese sollen wahlweise aber auch manuell betrieben werden.

Den zweiten Funktionsbereich bildet der Druckbehälter eins. Darin integriert sind die drei Druckpumpen, die Füllstandmessung und die Systemdruckmessung, sowie ein Überdruckschalter. Über den Systemdrucksensor sollen stufenweise die Druckpumpen gesteuert werden. Wahlweise soll aber auch eine Handbedienung der Pumpen möglich sein. Zusätzlich arbeiten in diesem Funktionsbereich noch ein Kompressor und ein Magnetventil. Auch diese beiden Komponenten sollen sich manuell bedienen lassen.

Den dritten Funktionsbereich bildet dann der Druckbehälter zwei. Der Aufbau ist identisch zum Funktionsbereich 2. Diese Unterteilung ist notwendig, da Funktionsbereich 2 und 3 jeweils einen eigenen Bereich der Gartenanlage mit Wasser versorgen und diese dafür unabhängig voneinander funktionieren müssen.

3.2 Anlagenkonzept

3.2.1 Spezifikation der Automatisierung

Der Grundaufbau der Druckerhöhungsstation soll aus Kostengründen erhalten bleiben. Da keine technischen Unterlagen zu den Aggregaten existieren, kann keine genaue Angabe zu den Fördermengen der Tiefbrunnenpumpen oder der Druckpumpen gemacht werden. Eine Garantie zur stabilen Versorgung der Gartenanlage unter Vollast kann daher nicht gegeben werden. Die Steuerung muss aber so ausgelegt werden, dass die Anlage auch nach einem Zusammenbruch der Wasserversorgung durch zu viel Abnahme wieder selbstständig anläuft.

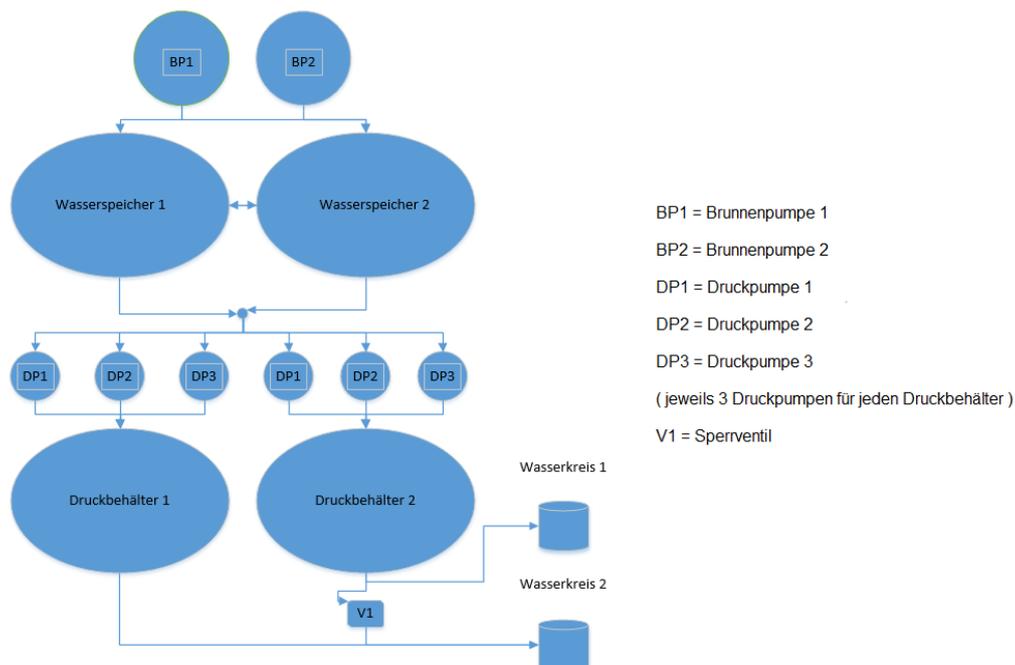


Abbildung 3.5: Darstellung Anlagenschema

Funktionsbereich 1 (Wasserspeicher)

Die Brunnenpumpen sollen über den Füllstand der Vorratsbehälter gesteuert werden. Um eine sinnvolle und auch ökologische Steuerung zu realisieren, werden für die Pumpensteuerung bei vier verschiedenen Füllständen Schaltpunkte benötigt. Zwischen einem minimalen und einem maximalen Füllstand gibt es zwei weitere Schaltpunkte. Wird der erste dieser Schaltpunkte unterschritten, schaltet die erste Pumpe ein, beim Unterschreiten des zweiten Schaltpunktes schaltet die zweite Pumpe ein. Wird der minimale Punkt unterschritten, müssen die Pumpen der Druckkessel abgeschaltet werden, damit diese keine Luft ansaugen. Mit der Überwachung des maximalen Füllstandes soll eine Überfüllung der Vorratsbehälter verhindert werden. Die Einstellung der vier Schaltpunkte erfolgt in vorgegebenen Grenzen über das Bedienpanel.

Um zu vermeiden, dass die Pumpen der beiden Tiefbrunnen in ungünstigen Betriebszuständen permanent zu- und abgeschaltet werden, muss eine Sollwerthysterese der Schaltpunkte definiert werden. Stellt man z.B. einen Schaltpunkt auf einen Füllstand von zwei Metern ein und wählt eine Hysterese von

0,05 Metern, schaltet die Pumpe bei einem Füllstand h kleiner 1,95 Meter ein und bei h größer zwei Meter wieder aus.

Die Füllstandmessung der Behälter soll hydrostatisch über einen Referenzdruckmesser erfolgen. Da die Behälter offen sind, dient als Referenzdruck der Umgebungsluftdruck.

Funktionsbereich 2 und 3 (Druckbehälter 1 und 2)

In jedem Druckbehälter werden zwei Drucksensoren verbaut. Ein Sensor wird im oberen Bereich der Kessel montiert und dient zur Druckerfassung in der Luftblase. Der zweite Sensor befindet sich am Kesselboden und erfasst somit den Schweredruck des Wassers und den Luftdruck. Über den zweiten Drucksensor wird somit der gesamte Systemdruck erfasst. Die beiden Druckschalter, die bereits vor dem Umbau der Anlage an den Druckbehältern verbaut waren, bleiben als zusätzliche Sicherheitsschalter ebenfalls erhalten. Damit wird jeder Druckbehälter einmal über die Software auf den eingestellten Maximalwert des neuen Drucksensors und über den alten Druckschalter auf Maximaldruck überwacht.

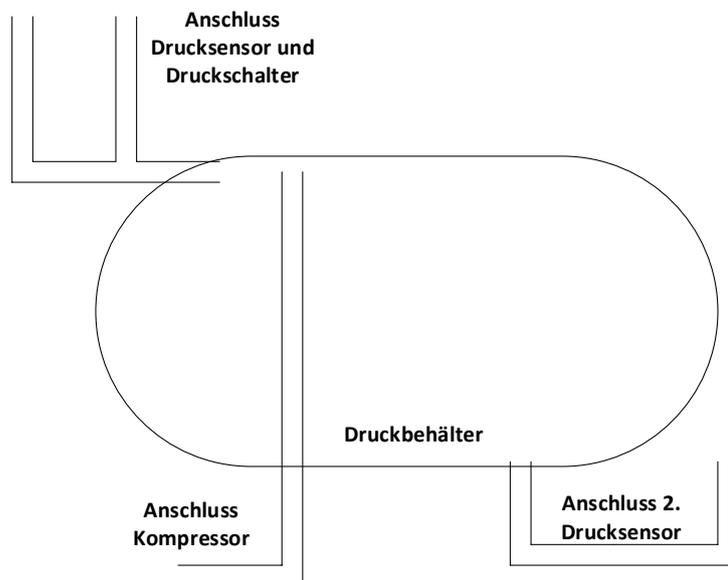


Abbildung 3.6: Darstellung Sensoranschlüsse Druckbehälter

Im Inneren der Druckbehälter ist keine Trennmembran verbaut. Aus diesem Grund muss auf das Verhältnis zwischen Wasser und Luft geachtet werden. Der Wasserstand im Druckbehälter muss sich stets in einem definierten Bereich bewegen. Bei der Berechnung der Füllstände ist zu beachten, dass die Druckbehälter nicht aufrecht stehen, sondern liegend montiert sind.

Die Pumpen sollen durch Schaltpunkte nacheinander einschalten, wenn es die Wasserabnahme erfordert. Dabei kann die Regelung entweder nach definierten Füllstands- oder nach Druckpunkten erfolgen. Um zu verhindern, dass der Behälter komplett mit Wasser gefüllt wird, muss der Füllstand auf ein festgelegtes Maximum überwacht werden.

Um eine wirksame Pumpensteuerung zu realisieren, sind fünf Schaltpunkte nötig. Drei Schaltpunkte werden für die Druckpumpen benötigt. Dazu sind ein minimaler

Füllstand und ein maximaler Füllstand zur Überwachung erforderlich. Zusätzlich wird auch in diesem Funktionsbereich wieder eine Sollwertysterese eingeführt, um unkontrollierte Schaltspiele der Pumpen zu verhindern.

Die Schaltungspunkte der Pumpensteuerung müssen für beide Druckbehälter separat angelegt und programmiert werden, da die Funktionsbereiche 2 und 3 autark voneinander arbeiten. Die Druckbehälter können damit im Einzelbetrieb getrennt voneinander betrieben werden.

In Abbildung 3.5 ist zu erkennen, dass die Druckbehälter am Ausgang zur Gartenanlage durch ein Ventil miteinander verbunden sind. Somit ist es möglich, bei geöffnetem Ventil die Druckbehälter parallel, also im Gruppenbetrieb zu betreiben. In diesem Fall ist eine symmetrische Belastung der beiden Funktionsbereiche gegeben und eine optimale Wasserversorgung für die gesamte Gartenanlage sichergestellt. Wenn beide Druckbehälter die Anlage versorgen, verhalten sich in beiden Behältern die Druckverhältnisse symmetrisch. Somit schalten auch die Druckpumpen gleichzeitig zu. Dadurch steigt bei geringer Wasserabnahme die Anzahl der Schaltspiele der Schütze unnötig an, da permanent zwei Druckpumpen angesteuert werden und diese sehr schnell den Abschaltdruck wieder erreichen.

In der Pumpensteuerung muss zwischen Einzelbetrieb und Gruppenbetrieb differenziert werden. Es ist effektiver die Schaltungspunkte beider Druckbehälter im Gruppenbetrieb zu staffeln. Dabei werden für die Pumpen nicht jeweils drei, sondern zusammen sechs Schaltungspunkte definiert. Diese Punkte werden dann abwechselnd auf die Druckbehälter verteilt. Die Druckabstände der unteren Schaltungspunkte werden sehr eng beieinander liegen, da bei diesen Zuständen offensichtlich eine starke Wasserabnahme erfolgt. Die Einstellung der Kesselbetriebsarten erfolgt über das Bedienpanel. Im Fehlerfall eines Druckbehälters schaltet die Steuerung die Anlage automatisch in den Einzelbetrieb. Dabei werden jedem Behälter wieder jeweils drei Schaltungspunkte zugeordnet. Fehlerfall eines Druckbehälters kann beispielsweise den Ausfall aller Druckpumpen bedeuten oder das Erreichen bzw. Überschreiten des maximalen Füllstandes durch Druckluftverlust. Das Verbindungsventil der Druckbehälter kann aber nur manuell geschlossen werden, somit bleibt der gestörte Druckbehälter ohne Eingriff des Bedieners am Wassernetz.

Sind die Druckbehälter der Druckerhöhungsstation dicht, kann aus dem System unter normalen Umständen kaum Druckluft entweichen. Die Praxis der vergangenen Jahre hat aber gezeigt, dass die Druckbehälter nicht komplett dicht sind. Dabei sind nicht die Behälter selbst das Problem, sondern eher die Zu- und Abgänge für Sensoren und Druckluft. Das lässt sich aber aus baulich gegebenen Gründen kaum vermeiden. Deshalb ist es erforderlich, die Druckluft im Behälter zu regeln. Dazu muss eine Variante mit den gegebenen Messmitteln gefunden werden. Grundlage zur Berechnung bildet das Boyle-Mariottesche Gesetz und wird in Kapitel 3.2.3. beschrieben.

Die Druckluftregelung der Anlage war ursprünglich so geplant, dass sofort mit dem Einschalten eines Kompressors Druckluft in den jeweiligen Druckbehälter gepumpt wird und bei Überdruck die überschüssige Luft über ein Magnetventil aus dem Druckbehälter entweichen kann. Die alten Kompressoren sind aber vom Anlagenwart gegen neue Modelle mit Druckspeicher ersetzt worden. Diese Kompressoren starten bei anliegender Spannung und füllen den eigenen Druckspeicher bis zu einem fest eingestellten Druck von acht Bar. Dann schalten sie selbstständig ab. Am Ausgang des

Druckluftspeichers ist lediglich ein einstellbarer Druckminderer montiert. Damit würde sich der Druckspeicher des Kompressors bei abgeschalteter Spannung mit Wasser füllen und diesen langfristig zerstören. Deshalb muss die Luftzufuhr zum Druckbehälter zukünftig über ein Magnetventil gesteuert werden. Da die Druckbehälter mehrfach gegen Überdruck abgesichert sind, wurde entschieden, die bislang zum Ablassen der Druckluft vorgesehenen Magnetventile zukünftig als Steuerventile für die Luftzufuhr zu verwenden. Da die vorhandenen Magnetventile durch ihre Bauart bedingt nur in eine Richtung druckbelastbar waren, konnten diese nicht, wie ursprünglich geplant, wieder verwendet werden. Stattdessen werden Ventile verbaut, die beidseitig druckbelastbar sind. Dazu muss aber die Spannungsversorgung von 230 Volt AC auf 24 Volt DC umgerüstet werden. Somit kann der Kompressor permanent eingeschaltet bleiben. Sowohl die Druckabweichung als auch die Ansteuerzeit der Ventile sollen variabel über das Bedienpanel in definierten Grenzen einstellbar sein.

Alternativ muss eine weitere Möglichkeit der Druckluftregelung entwickelt werden. Erfolgt die Regelung der Pumpen nach Druckschaltpunkten, schaltet die letzte Pumpe beim Erreichen des eingestellten oberen Schaltpunktes ab. Entweicht Luft aus dem Druckbehälter, steigt dabei der Füllstand sukzessive an, bei dem der Abschaltdruck erreicht wird.

Da sich an den Druckbehältern Schaugläser befinden, kann der Füllstand visuell abgelesen werden. Baut man in die Schaugläser ferromagnetische Schwimmer ein, kann der Füllstand durch einen induktiven Sensor erfasst werden. Der Sensor muss auslösen, wenn der normale Füllstand überschritten wird. Dann muss das Magnetventil angesteuert werden. Da der Vorratsbehälter des Kompressors wesentlich kleiner als ein Druckbehälter ist, muss das Magnetventil getaktet werden. Dafür müssen eine Ansteuerzeit und eine Pause definiert werden, damit der Kompressor den Speicher wieder befüllen kann. Die Phase der Luftbefüllung soll beim Unterschreiten der Schaltschwelle des Sensors oder beim Erreichen eines zusätzlich festgelegten Druckschaltpunktes beendet werden. Dabei muss aber überwacht werden, dass während der Luftbefüllung alle Druckpumpen abgeschaltet sind. Eine Überwachung auf Wasserentnahme kann aus technischen Gründen nicht sicher erfolgen. Zu diesem Zweck müssten Durchflussüberwachungen in den Wasserabgängen der Behälter installiert werden. Deshalb wird die Luftregelung in Zeiten mit geringer oder keiner Wasserabnahme erfolgen. Der Sensor muss eine breite Sensorfläche besitzen, damit er eindeutig schaltet und der ferromagnetische Schwimmer nicht so weit steigt, dass er über die Schaltfläche schwingt.

Die tatsächliche Funktion des Kompressors kann nicht direkt überwacht werden. Das heißt, dass die SPS zwar eine Laufmeldung durch den Schütz bekommt und die Sicherungen überwacht sind, es aber keine Rückmeldung darüber gibt, ob der Motor des Kompressors tatsächlich arbeitet und Druck im Speicher aufbaut. Um generell auszuschließen, dass Wasser in den Druckluftspeicher fließen kann, sind zusätzliche Rückschlagventile zwischen Kompressor und Wasserkessel erforderlich. Führt die Nachregelung von Luft durch mehrmalige Taktung des Magnetventils nicht zum Erfolg, wird ein Fehler im System generiert, der signalisiert, dass der Kompressor defekt oder der Druckverlust zu groß ist. Zu starker Luftverlust kann und soll mit dieser Regelung nicht ausgeglichen werden. Schafft es der Kompressor nicht, das Verhältnis von Wasser und Luft zu regulieren, wird erst ein Fehler wegen zu häufigen Nachregelns gesetzt, steigt der Füllstand weiter, schaltet der Druckbehälter wegen

3.2.2 Spezifikation der Steuerung

Aus den erläuterten Spezifikationen des vorhergehenden Kapitels können folgende Anforderungen für die Steuerung, Regelung und Bedienung zusammengefasst werden:

Anforderungen an die Pumpensteuerung

- Die Tiefbrunnenpumpen werden nach Füllstand des Wasserspeichers geregelt.
- Die Druckpumpen der Druckbehälter werden nach Systemdruck oder Füllstand geregelt.
- Die Steuerung wechselt regelmäßig, welche Brunnenpumpe zuerst angefordert wird.
- Im Fehlerfall einer Pumpe muss die Pumpenpriorität wechseln, um so lange wie möglich eine stabile Wasserversorgung zu sichern.
- Die Betriebsstunden der Pumpenaggregate müssen erfasst werden.
- Die Schaltspiele der Schütze müssen erfasst werden.
- Die Aggregate müssen auch im Handmodus betrieben werden können.
- Die Steuerung muss auch den Handbetrieb einzelner Aggregate erfassen und die anderen Aggregate weiterhin regeln.
- Auch im Handmodus muss ein sicherer Betrieb gewährleistet werden, das heißt, dass auch dabei die Aggregate bei Überdruck oder Überfüllung der Behälter abschalten.
- Die Fehlermeldung einer gestörten Pumpe setzt sich nicht automatisch zurück, sondern muss vom Bediener quittiert werden.
- Im Gruppenbetrieb müssen alle Druckpumpen gemeinsam arbeiten.
- Dazu wird ein spezielles Programm aufgerufen, welches die Schaltpunkte auf die Druckbehälter aufteilt.
- Die Priorität der Druckbehälter muss ebenfalls zyklisch wechseln, damit alle Aggregate gleich belastet werden.

Anforderungen an die Druckluftregelung

- Die Anlage muss in der Lage sein, kleine Druckluftverluste auszugleichen.
- Die Steuerung erfasst das Verhältnis Wasser zu Luft unter Betrachtung des Systemdruckes.
- Überschreitet der Füllstand eine parametrisierte Grenze, wird zyklisch Luft in den Kessel gepumpt.
- Magnetventile und Kompressoren müssen ebenfalls im Handmodus betreibbar sein.
- Auch im Handmodus werden die Grenzpunkte beachtet und die Anlage vor Überdruck geschützt.
- Führt das Nachregeln von Luft in einer definierten Anzahl von Zyklen nicht zum richtigen Wasser-Luft-Verhältnis, wird ein Fehler generiert,

der sich mit Erreichen des korrekten Verhältnisses automatisch zurücksetzt.

- Fehlermeldungen dieser Aggregate müssen durch den Bediener quittiert werden.
- Ein zyklischer Prioritätenwechsel erfolgt hier nicht, da die Komponenten für jeden Funktionsbereich nur einmal vorhanden sind.
- Die Betriebsstunden und Schaltspiele der Schütze werden erfasst.
- Die Luftsteuerung arbeitet nur, wenn keine Pumpenanforderung anliegt.

Anforderungen an das Bedienpanel

- Der Anlagenaufbau soll grob als Übersichtsbild dargestellt werden.
- Anzeige muss mit einer benutzerfreundlichen Bedienung möglichst selbsterklärend sein.
- Die Anlagenzustände wie Speicherfüllstand, Druck und Druckbehälterfüllstand müssen dargestellt werden.
- Alle Füllstandschaltpunkte des Wasserspeichers müssen in Abhängigkeit sowohl voneinander, als auch von der Geometrie der Behälter einstellbar sein.
- Alle Druckschaltpunkte für die Pumpen so wie minimaler und maximaler Füllstand der Druckbehälter müssen einstellbar sein.
- Eine Abhängigkeit und somit Plausibilität der Schaltpunkte ist ebenfalls erforderlich.
- Die einzelnen Funktionsbereiche sollen sowohl über die Bedientasten des Panels, als auch über das Berühren des jeweiligen Bereiches auf den Display wählbar sein.
- Das Panel soll visuell für alle zugänglich sein, die Bedienung aber nur autorisierten Personen gestatten.
- Eine Parametersicherung soll möglich sein.
- Das Laden von Default-Parametern soll möglich sein, wenn der Anlagenbediener keine passende Systemeinstellung findet.
- Fehlermeldungen müssen dem Bediener als Klartextmeldungen generiert werden.
- Lösungsvorschläge bei Fehlern werden aus Platzgründen nicht auf dem Display angezeigt.
- Die Betriebsarten und Zustände der Aggregate müssen erkennbar sein.
- Der Bediener soll möglichst im zweiten Bedienungsschritt das gewünschte Anzeigefeld erreichen

3.2.3 Mess- und Erfassungsgrundlagen

Der Füllstand des Wasserspeichers soll mittels hydrostatischem Druckmessverfahren erfasst werden. Das hydrostatische Druckmessverfahren arbeitet mit dem Schweredruck des Wassers. Dabei wird angenommen, dass eine Flüssigkeit inkompressibel ist. Der Druck, den die Flüssigkeit dabei auf eine Fläche ausübt, resultiert aus der Gewichtskraft.

Der Druck ergibt sich nach dem Pascalschem Gesetz als Produkt aus Dichte, Erdbeschleunigung und der Höhe der Flüssigkeit im Behälter. Die Vorratsbehälter sind im unteren Bereich miteinander verbunden. Dadurch sind die Füllstände immer gleich und es genügt die Füllstandserfassung eines Behälters.

Pascalsches Gesetz:

[HL01]

$$p(h) = \rho * g * h$$

ρ = Dichte der Flüssigkeit

g = Erdbeschleunigung

h = Füllstandshöhe

Gl. 3.1

Tabelle 3.1: Umrechnungstabelle für Druck und Füllstand

p				h
Bar	Pa	N/ m ²	kg/ m*s ²	WS
1	100000	100000	100000	10,1936799
0,000981	98,1	98,1	98,1	0,01
g= 9,81 m/s ²				
ρ= 1000 kg/ m ³				
p(h)= ρ*g*h		h=p(h)/(ρ*g)		

Damit der ermittelte Füllstand immer dem tatsächlichen Füllstand der Speicher entspricht, muss die Füllstandsonde immer in der gleichen Position montiert werden. Weiterhin könnte der Messwert beeinflusst werden, wenn gerade Wasser in den Speicher gefüllt oder abgepumpt wird. Aus diesem Grund wird die Messsonde in einem unten geschlitztem Rohr im Wasserspeicher so montiert, dass sie immer in der gleichen Höhe hängt.

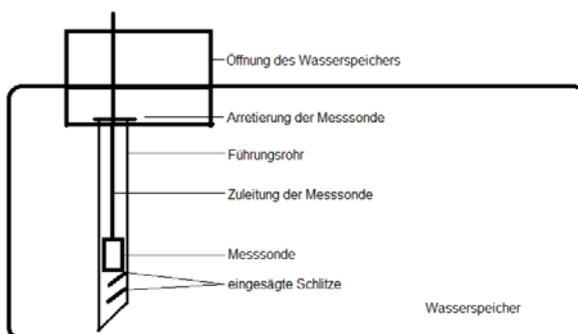


Abbildung 3.8: Darstellung Arretierung der Tauchsonde

In den Druckbehältern sollen jeweils ein Drucksensor oben und unten montiert werden. Wenn man vom Messwert des unteren Drucksensors, der dem Gesamtdruck entspricht, den Messwert des oberen Sensors subtrahiert, erhält man den Schweredruck des Wassers. Daraus lässt sich durch Umstellung der Gleichung 3.1 der Füllstand im Druckbehälter ermitteln. Aus dem Füllstand kann die Füllmenge des Druckbehälters ermittelt werden. Wie in Kapitel 3.2.1 "Spezifikation der Automatisierung" beschrieben, sind die Druckbehälter in beiden Funktionsbereichen liegend montiert. Jeder Behälter hat an den Rändern eine Form mit vielen verschiedenen Radien. Das Volumen der Auswölbungen ist bezogen auf das Gesamtvolumen des Behälters nicht sehr groß. Zur Vereinfachung der Volumenberechnung wird angenommen, dass die Druckbehälter die Form eines liegenden Zylinders haben.

Füllt man einen liegenden Zylinder mit Wasser, ergibt sich an den Seiten ein Kreissegment. Mit der allgemeinen Formel Grundfläche multipliziert mit der Länge kann das Volumen des gefüllten Druckbehältersegmentes berechnet werden.

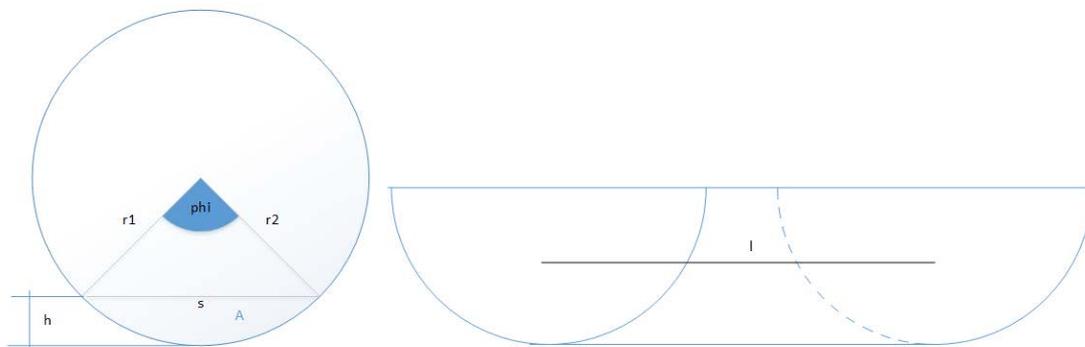


Abbildung 3.9: Darstellung Kreissegment und Ausschnitt liegender Zylinder

A	: Kreissegmentfläche	h	: Höhe des Kreissegmentes (=Füllstand)
s	: Sehnenlänge	l	: Länge des Behälters
r1/ r2	: Kreisradien	AKS	: Fläche Kreisabschnitt
Phi	: Mittelpunktswinkel	AD	: Fläche Dreieck
M	: Mittelpunkt des Kreises	V	: Volumen

Die Fläche des Kreissegmentes kann, wie in Abbildung 3.9 ersichtlich, ermittelt werden. Das aus den Radien (r_1 und r_2) mit dem Winkel Φ entstehende Dreieck ist immer gleichschenkelig. Daraus ergeben sich nachfolgende Gleichungen 3.2. zur Volumenberechnung.

Volumenberechnung liegender Zylinder:

[LP01], [WIK02]

$$A_{KS} = \frac{1}{2} * r^2 * \varphi$$

$$A_D = \frac{1}{4} * s * \sqrt{4 * r^2 - s^2}$$

$$A = \frac{1}{2} * r^2 * (\varphi - \sin\varphi)$$

Gl. 3.2

$$A = r^2 * \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h) * \sqrt{2r * h - h^2}$$

$$V = l * \left(r^2 * \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h) * \sqrt{2r * h - h^2} \right)$$

Die Volumenberechnungsformel wurde soweit umgestellt, dass nur noch bekannte Größen enthalten sind. Damit können die Volumenverhältnisse in den Druckkesseln berechnet werden. Diese Verhältnisse werden benötigt, um das Verhältnis von Wasser und Luft im Druckbehälter zu berechnen und damit eine Überfüllung der Druckbehälter zu verhindern.

Wie in Abschnitt 3.1.1 „Stand der Anlage vor dem Umbau“ beschrieben, wurden ursprünglich die Druckbehälter erst zur Hälfte mit Wasser gefüllt und dann durch Einfüllen von Druckluft zum gewünschten Systemdruck gebracht. Im neuen Steuerungskonzept soll keine zusätzliche Druckluft bei der Befüllung verwendet werden. Damit wird verhindert, dass bei übermäßiger Wasserabnahme Luft in die Wasserleitungen gelangt. Um trotzdem den nötigen Systemdruck zu erreichen, müssen die Druckbehälter dann wesentlich mehr gefüllt werden. Zur Prüfung der Praktikabilität des dargestellten Konzeptes, müssen die Druckverhältnisse bezogen auf den Füllstand theoretisch hergeleitet werden. Dazu kann das Boyle-Mariottesche Gesetz angewendet werden. Dieses besagt, dass das Produkt aus Volumen und Druck eines eingeschlossenen Gases bei gleicher Temperatur einen konstanten Wert besitzt.

Boyle-Mariottesches Gesetz:

[HL01]

$$p * V = \textit{konstant}$$

Gl. 3.3

Bei der Befüllung des Behälters nimmt das Luftvolumen ab und das Wasservolumen steigt. Gleichzeitig steigt der Druck im Behälter. Die Boyle-Mariottesche Konstante (BM-Konstante) wird vom leeren Druckbehälter ermittelt. Der Druck im Behälter entspricht dann dem Luftdruck, der mit ca. 1 Bar angenommen wird. Ein Druckkessel hat ein Volumen von 630 Litern. Damit beträgt die Ausgangskonstante 630. Zur Überwachung im laufenden Betrieb muss darauf geachtet werden, dass die Drucksensoren nur Druckdifferenzen erfassen. Der normale Luftdruck muss also aufaddiert werden. Das Wasservolumen wird mittels der Gleichung 3.2 aus dem durch den Wasserdruck ermittelten Füllstand berechnet. Subtrahiert man das Wasservolumen vom Behältervolumen, ergibt sich das Luftvolumen. Zur Veranschaulichung der Druck- und Füllstandentwicklung wird eine Tabelle erstellt. Um die ermittelte Volumenformel zu kontrollieren, werden Proberechnungen vorgenommen. Außerdem muss die verwendete Behälterlänge so angepasst werden,

dass sich annähernd das vom Hersteller angegebene Gesamtvolumen von 630 Litern ergibt.

Formeln		
1. $V = A_g \cdot l$	2. $A_g = \pi/4 \cdot d^2$	3. $V = l \cdot (r^2 \cdot \arccos((r-h)/r) - (r-h) \cdot \sqrt{2r \cdot h - h^2})$

Behältermaße:		
d =	0,8 m	1m ³ ^ 1000L
l =	1,25 m	
r =	0,4 m	

Behältervolumen:		
nach 1.	nach 3.	1/2-Volumen nach 3.
0,62831853 m ³	0,62831853 m ³	0,31415927 m ³
628,318531 L	628,318531 L	314,159265 L

Abbildung 3.10: Darstellung Volumenberechnung mit MS Excel

Die Berechnungen der Behältervolumen wurden mit unterschiedlichen Gleichungen durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die Gleichung 3 (Gl. 3.2) korrekt ist. Die Behälterlänge l wurde soweit angepasst, dass die Berechnungen dem angegebenen Volumen entsprechen, die restliche Abweichung kann vernachlässigt werden.

Die Abbildung 3.11 zeigt die mit MS Excel berechneten Druckentwicklungen im Druckbehälter. Im Diagramm ist zu erkennen, dass der Luftdruck ähnlich einer Parabelfunktion mit steigendem Füllstand zunimmt. Das ist damit zu begründen, dass die Luft erst ein großes Volumen unter geringem Druck einnimmt und dann durch das Wasser zusammengedrückt wird. Die Messpunkte des Diagramms ergeben sich dabei aus dem Quotienten von Boyle-Mariotte-Konstante und dem abnehmenden Luftvolumen im Behälter. Die Grafik zeigt, dass ab einem Füllstand von ca. 0,6 Metern ein Systemüberdruck von ca. 4,5 Bar erreicht wird. Damit ist theoretisch bewiesen, dass ein Befüllen der Behälter ohne Druckluftzufuhr möglich ist. Allerdings zeigt die Grafik auch, dass der Systemdruck in diesem Bereich bei geringer Füllstandsänderung stark variiert.

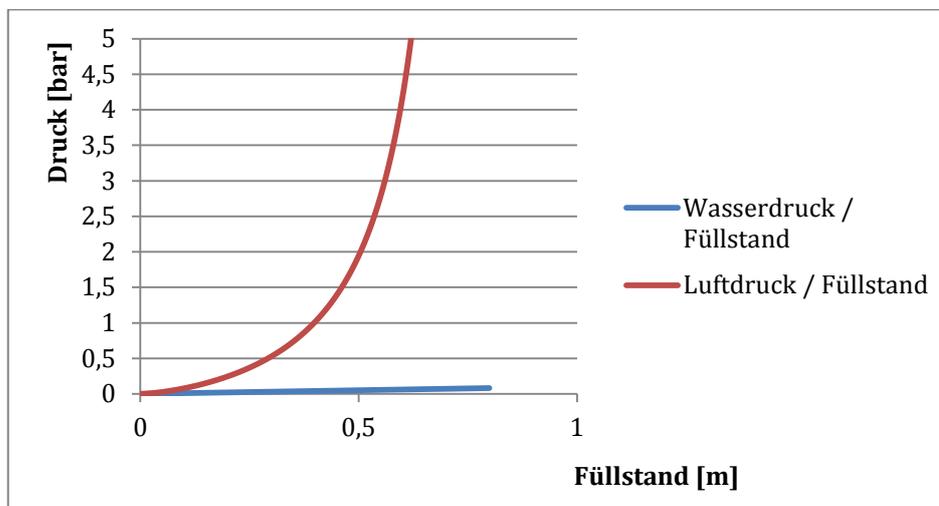


Abbildung 3.11: Darstellung Druckentwicklung

Aus diesem Grund ist eine Schaltung der Pumpen nach Füllstand nicht sinnvoll. Diese muss stattdessen vom Systemdruck gesteuert erfolgen. Um ein Überfüllen der Behälter bei Druckverlust zu verhindern, wird ein maximaler Füllstandspunkt benötigt. Es müssen für die Funktion sowohl der Druck, als auch der Füllstand in die Steuerung einbezogen werden. Der eigentliche Wasserdruck ist bedingt durch den geringen Behälterdurchmesser sehr gering. Bei der Erfassung des relevanten Bereiches liegen aber an Drucksensoren deutlich höhere Drücke an und der Füllstand wird rechnerisch ermittelt. Die Messabweichungen werden deshalb zwar kleiner, fallen aber insgesamt trotzdem relativ groß aus. Das ist damit zu begründen, dass zwei Drucksensoren verwendet werden, die den Umgebungsdruck als Referenzwert messen und nicht ein Differenzdrucksensor.

Mit einem Differenzdrucksensor könnte die Druckdifferenz zwischen oberen und unteren Behälteranschluss direkt erfasst werden. Damit ergibt sich durch Berechnung der Füllstand mit geringerer Messabweichung. Der zweite Drucksensor wird am oberen Messanschluss zur Erfassung des Luftdruckes benötigt.

Den Ansatz für die Druckluftregelung bildet wieder das Boyle-Mariottesche Gesetz. Mit dem über den Wasserdruck gegebenen Füllstand kann das Wasservolumen nach Gleichung 3.2 berechnet werden. Bei bekanntem Gesamtbehältervolumen kann damit auch das vorhandene Luftvolumen berechnet werden. Mit der im Vorfeld berechneten BM-Konstante kann mittels des gemessenen Luftdruckes ein Sollvolumen der Luft bestimmt werden. Durch einen Soll-Ist-Vergleich der beiden Volumen ergibt sich dann gegebenenfalls eine Abweichung.

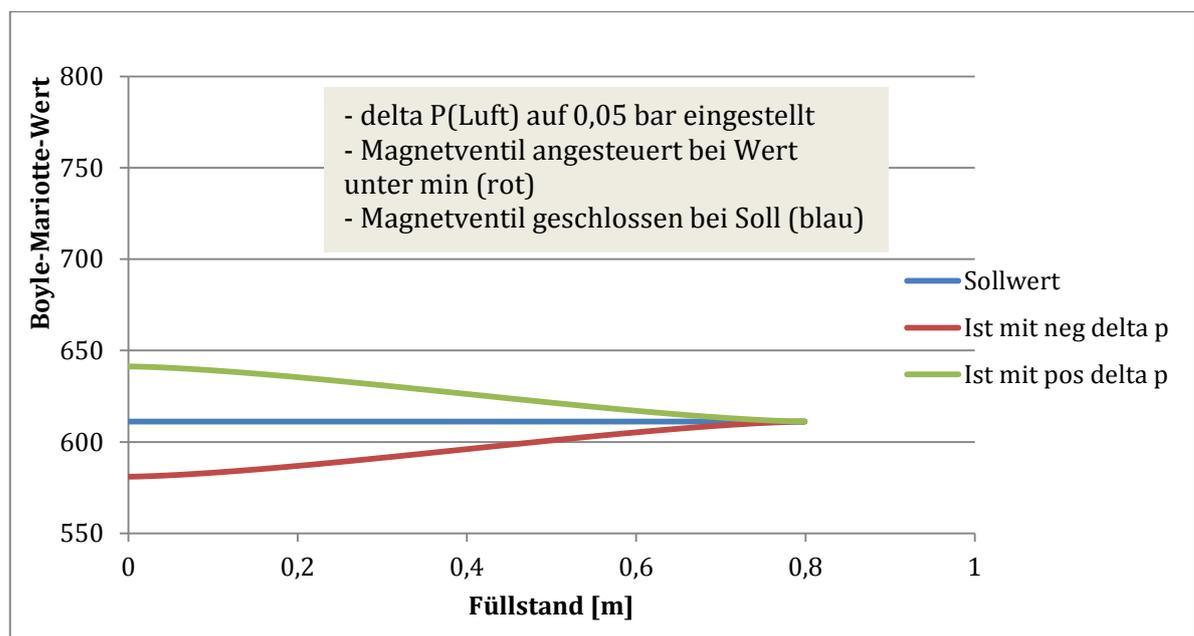


Abbildung 3.12: Darstellung Druckabweichung nach Boyle-Mariotte

In Abbildung 3.12 sind drei Kurven dargestellt, welche die BM-Konstante bezogen auf den Füllstand darstellen. Die blaue Kurve zeigt den Sollwert der BM-Konstante. Somit ergibt sich eine Gerade. Bei den beiden anderen Kurven wurden jeweils 0,05 Bar vom berechneten Sollwert des Luftdruckes abgezogen, bzw. aufaddiert. An den Verläufen der Kurven kann man erkennen, dass sich die Druckabweichungen bezogen auf den Füllstand unterschiedlich auf den Wert nach Boyle-Mariotte auswirken und dieser

dann nicht mehr konstant ist. Man kann also bei der Überwachung nicht starr auf die Konstante achten, sondern muss diese an Hand einer definierten Druckabweichung für jeden Füllstand berechnen und anschließend mit dem Sollwert vergleichen.

Der Tabelle 3.1 ist zu entnehmen, dass der Wasserdruck im Druckbehälter bei einer Bauhöhe von 80 cm sehr gering ist. Das Messsignal wird sich kaum so dämpfen lassen, dass der berechnete Füllstand nicht im Zentimeterbereich schwankt. Bei zu großer Dämpfung wird die Verzögerung zu groß und die Anlage reagiert nicht mehr zuverlässig auf die angefahrenen Druckpunkte.

3.2.4 Benötigte Signale der Anlage

Die Aufstellung der benötigten Signale wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in Tabellenform verfasst. Die Syntax- Bezeichnungen der Signale ergeben sich aus der Aufteilung der Anlage in die einzelnen Funktionsbereiche. Der grundsätzliche Aufbau der Syntaxbezeichnungen entspricht dem Standard der Firma EAT. Im Fehlerfall der Anlage müssen auch andere Außendienstmitarbeiter des Unternehmens mit dem SPS-Programm umgehen können.

Tabelle 3.2: Ein- und Ausgangssignale

Funktion	Syntax	In	Out	Analog In	Analog Out
Datenmodell		43	25	7	0
Hardwareausbau		46	26	8	
Allgemein					
Netzausfall	Allg_I_Netzausfall	1			
Sicherungsfall	Allg_I_Sicherungsfall	1			
OUT Störmeldeleuchte (Aussen)	Allg_O_Stoermeldeleuchte		1		
Temperaturschalter (außen)	Allg_I_Aussentemp	1			
Druckbehälter 1 (DB1)					
Laufmeldung Druckpumpe 1	DB1_DP1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 1	DB1_DP1_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 1	DB1_DP1_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 1	DB1_DP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 1	DB1_DP1_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Druckpumpe 2	DB1_DP2_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 2	DB1_DP2_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 2	DB1_DP2_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 2	DB1_DP2_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 2	DB1_DP2_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Druckpumpe 3	DB1_DP3_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 3	DB1_DP3_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 3	DB1_DP3_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 3	DB1_DP3_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 3	DB1_DP3_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Kompressor 1	DB1_KP1_I_Laufmeldung	1			

Funktion	Syntax	In	Out	Analog In	Analog Out
Druckbehälter 1 (DB1)					
Automatik Kompressor 1	DB1_KP1_I_Automatik	1			
Störung Kompressor 1	DB1_KP1_I_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Kompressor 1	DB1_KP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Kompressor 1	DB1_KP1_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Magnetventil 1	DB1_MV1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Magnetventil 1	DB1_MV1_I_Automatik	1			
Störung Magnetventil 1	DB1_MV1_I_Stoerung	1			
OUT öffnen Magnetventil 1	DB1_MV1_O_AUF		1		
OUT Störmeldung Magnetventil 1	DB1_MV1_O_Stoerung		1		
Max Luftdruck von Druckmessung 1 (Schaltfunktion)	DB1_DM1_I_Maxdruck	1			
Max Luftdruck von Druckmessung 3 (Alter Druckschalter)	DB1_DM3_I_Maxdruck	1			
Luftdruck von Druckmessung 1	DB1_DM1_AI_Luftdruck			1	
Wasserdruck von Druckmessung 2	DB1_DM2_AI_Wasserdruck			1	
Druckbehälter 2 (DB2)					
Laufmeldung Druckpumpe 1	DB2_DP1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 1	DB2_DP1_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 1	DB2_DP1_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 1	DB2_DP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 1	DB2_DP1_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Druckpumpe 2	DB2_DP2_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 2	DB2_DP2_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 2	DB2_DP2_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 2	DB2_DP2_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 2	DB2_DP2_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Druckpumpe 3	DB2_DP3_I_Laufmeldung	1			
Automatik Druckpumpe 3	DB2_DP3_I_Automatik	1			
Störung Druckpumpe 3	DB2_DP3_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Druckpumpe 3	DB2_DP3_O_Start		1		
OUT Störmeldung Druckpumpe 3	DB2_DP3_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Kompressor 1	DB2_KP1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Kompressor 1	DB2_KP1_I_Automatik	1			
Störung Kompressor 1	DB2_KP1_I_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Kompressor 1	DB2_KP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Kompressor 1	DB2_KP1_O_Stoerung		1		
Laufmeldung Magnetventil 1	DB2_MV1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Magnetventil 1	DB2_MV1_I_Automatik	1			
Störung Magnetventil 1	DB2_MV1_I_Stoerung	1			
OUT öffnen Magnetventil 1	DB2_MV1_O_AUF		1		
OUT Störmeldung Magnetventil 1	DB2_MV1_O_Stoerung		1		

Funktion	Syntax	In	Out	Analog In	Analog Out
Druckbehälter 2 (DB2)					
Max Luftdruck von Druckmessung 1 (Schaltfunktion)	DB2_DM1_I_Maxdruck	1			
Max Luftdruck von Druckmessung 3 (Alter Druckschalter)	DB2_DM3_I_Maxdruck	1			
Luftdruck von Druckmessung 1	DB2_DM1_AI_Luftdruck			1	
Wasserdruck von Druckmessung 2	DB2_DM2_AI_Wasserdruck			1	
Tiefbrunnen 1 (TB1)					
Laufmeldung Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_I_Automatik	1			
Störung Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_O_Stoerung		1		
Strom Brunnenpumpe 1	TB1_BP1_AI_Strom			1	
Tiefbrunnen 2 (TB2)					
Laufmeldung Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_I_Laufmeldung	1			
Automatik Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_I_Automatik	1			
Störung Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_I_E_Stoerung	1			
OUT Startbefehl Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_O_Start		1		
OUT Störmeldung Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_O_Stoerung		1		
Strom Brunnenpumpe 1	TB2_BP1_AI_Strom			1	
Wasserspeicher (WS1)					
Messwert Drucksonde Speicher	WS1_FS1_AI_Fuellstand			1	

4 Lösungskonzept der Hardware

4.1 Bestandteile des Automatisierungsgerätes

4.1.1 Zentrale Steuereinheit

Die Steuerung, Regelung und Überwachung des Brauchwassersystems soll im Normalbetrieb automatisch funktionieren. Das bedeutet, dass die Anlage selbstständig nach einem definierten Prozess in Abhängigkeit von bestimmten Umgebungsbedingungen arbeiten muss. Um das zu gewährleisten, setzt man speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) als Automatisierungsgeräte ein. Für dieses Projekt kommen zwei Modelle verschiedener Hersteller in die engere Auswahl. Das erste Modell ist von Panasonic aus der FP-G Baureihe, das zweite Modell ist die Siemens Simatic S7 1200.

Die Panasonic-SPS ist eine der flexibelsten und kompaktesten Steuerungen, die derzeit auf dem Markt ist. Sie verfügt wahlweise über RS 232- bzw. RS 485-Schnittstellen, die modular in Form einer Kassette aufgesteckt werden können. Durch Potentialtrennung sind die Kassetten unempfindlich gegenüber Störungen und ermöglichen einen schnellen Datenaustausch. Grundsätzlich ist die Steuerung durch Zusatzmodule erweiterbar auf bis zu 384 Ein- bzw. Ausgänge, hat eine Bearbeitungsgeschwindigkeit von 0,32 μs / Basisbefehl. Die Ausgänge sind kurzschlussicher und der Datenspeicher ist bis zu 2Mbyte groß. Zusätzlich besitzt die SPS zwei integrierte analoge Potentiometer mit einer Auflösung von 10 Bit. Die Erweiterungsmodule der Ein- und Ausgangsbaugruppen werden via parallelem oder seriellem Bus-System mit der Steuerung verbunden. Die maximale Auflösung der analogen Erweiterungsmodule beträgt 12 Bit. [PSPS01]

Die Baureihe der Simatic S7 1200 ist ebenfalls eine modulare Kompaktsteuerung. Sie ist geeignet für eine hohe Bandbreite an Applikationen und damit insbesondere für kleinere Automatisierungssysteme. Das System ist in fünf verschiedenen Modellen erhältlich, wobei diese sich in der Leistung und Ausbaufähigkeit unterscheiden. Ab dem Modell 1214C können bis zu 8 Signalmodule angebracht werden. Die Module der S7 1200 Baureihe haben eine sehr kompakte Bauweise. Die Signalmodule werden direkt aneinander gesteckt, somit ist das System flexibel an die Anforderung aufbau- und erweiterbar. In den Steuerungsmodulen sind Arbeitsspeicher von 50 bis 100KB integriert. Dazu kommen noch bis zu 4 MB Ladespeicher und 2 KB remanenter Datenspeicher. Weiterhin sind die Steuerungen mit einem Kartenslot ausgestattet. So kann das Programm auf einer Speicherkarte gesichert und in andere Steuerungen übertragen werden. Die Datenrate beträgt 10 MB/s. Die Kommunikation ist ebenfalls über die Schnittstellen RS 232 und RS485 möglich.

Für die Automatisierungsaufgabe der Druckerhöhungsstation kommt auf Grund der benötigten Signaleingänge die S7 1214C in Frage. Die zentrale Baugruppe verfügt über 14 digitale Eingänge und 10 digitale Ausgänge. Zusätzlich sind noch zwei analoge Eingänge vorhanden, deren maximale Auflösung 12 Bit beträgt. Die Auflösung kann aber durch die Erweiterung analoger Eingangsmodule auf 16 Bit gesteigert werden.

Durch die Möglichkeit der höheren Auflösung wird die SPS von Siemens interessant. Dadurch können die Druckwerte genauer eingeteilt werden und somit kann eine genauere Steuerung und Regelung erfolgen.

Ein weiterer Vorteil der S7 ist die bessere Verfügbarkeit auf dem freien Markt und der höhere Bekanntheitsgrad bei nicht professionellen Anwendern. Das Panasonic-System ist zweifellos genauso leistungsfähig, kommt aber eher im industriellen Bereich zur Anwendung. Der Auftraggeber möchte jedoch die Komponenten nicht zwingend immer über EAT beziehen. Deshalb fällt die Entscheidung auf eine Simatic S7 1214C. Entsprechend kommen auch die Signalbaugruppen und das HMI dieses Herstellers zum Einsatz. [SSPS01], [SSPS03], [SSPS04]

Tabelle 4.1: Vergleichstabelle Bitauflösung zu Füllstandsauflösung

Druckbereich	Auflösung/bit	Druckbereich/ Auflösung	Füllstand (m)/ Auflösung	Füllstand (mm)/ Auflösung
10	12	0,002441406	0,023942017	23,9420166
10	15	0,000305176	0,002992752	2,992752075

1 Bar = 100000 Pa	= 1,02 WS	1 WS = 98066,5 Pa
g= 9,80665	m/s ²	

Die Tabelle 4.1 zeigt, dass mit der höheren Auflösung der Siemens-SPS der Füllstand fast um das zehnfache genauer eingeteilt werden kann.

4.1.2 Eingangsbaugruppen

Der Tabelle 3.2 ist zu entnehmen, dass zur Automatisierung 43 digitale Eingänge benötigt werden. Siemens bietet eine Reihe von Eingangsbaugruppen zum S7 1200 System an. Die CPU selbst stellt bereits 14 Eingänge zur Verfügung. Die restlichen 29 Eingänge müssen also extern angeschlossen werden. Als erstes Modul wird ein reiner Eingangsbaustein gewählt. Das Modul 6ES7221-1BH32-0XB0 bietet 16 Eingänge, damit fehlen noch 13 Eingänge. Um nicht unnötig viele Module zu verbauen wird als nächstes ein E/A- Modul ausgesucht. Die Wahl fällt dabei auf das Modul 6ES7223-1PL32-0XB0. Damit erhält das System nochmals 16 digitale Eingänge und die Gesamtanzahl beträgt 46.

Die Anzahl der benötigten Analogeingänge beträgt sieben Stück. Das Modul 6ES7231-5ND32-0XB0 bietet 4 Analogeingänge mit einer Auflösung von 16 Bit. Dabei ist ein Bit aber das Vorzeichenbit. Damit sind bei der Verwendung von zwei Analogmodulen die Analogeingänge ausreichend abgedeckt. [SSPS01], [SSPS03]

4.1.3 Ausgangsbaugruppen

Zur Realisierung des Systems werden 25 Ausgänge benötigt, die alle digital schalten müssen. Zur Ansteuerung der Leistungsschütze sind Relaisausgänge erforderlich. Das Modul 6ES7223-1PL32-0XB0 enthält bereits 16 Relaisausgänge. Mit den 10 Ausgängen der CPU ist die Summe der Ausgänge für das Projekt ausreichend.

Da die zentrale Steuereinheit um vier Signalmodule erweitert werden muss, ist bei einer maximalen Erweiterungsmöglichkeit auf acht Module noch genügend Ausbaureserve des Steuerungssystems vorhanden. [SSPS01], [SSPS03]

4.1.4 Visualisierung

Die Steuerung der Druckerhöhungsstation soll in bestimmten Parametern vom Bediener einstellbar sein und muss das System ausreichend klar visualisieren. Um die Anlage nach dem heutigen Stand der Technik aufzubauen, soll dazu ein Touchpad mit Farbdisplay verwendet werden. Die SPS stellt hier eine Profinet-Kommunikationsschnittstelle bereit. Siemens bietet Touchpanels in verschiedenen Größen und Optionen an. Als sinnvoller Kompromiss zwischen Preis und Leistung wird ein HMI KPT 600 mit der Identnummer 6AV6647-0AD11-3AX0 in den Schaltschrank integriert. Das Panel besitzt einen 6" Farbmonitor mit Touch-Eigenschaften und zusätzlichen Softkeytasten. Damit lässt sich eine Menüauswahl sowohl über die Tasten, als auch direkt über das Display realisieren. [SSPS01], [SSPS04]

4.2 Sensoren und Aktoren

4.2.1 Drucksensoren

Zur Füllstanderfassung im Wasserspeicher soll das hydrostatische Druckmessverfahren eingesetzt werden. Dazu wird eine Tauchsonde verwendet. Die Speicherbehälter haben einen maximalen Durchmesser von ca. zwei Metern. Eine Sonde, die für einen Füllstandbereich von null bis vier Metern geeignet ist, erfüllt die Anforderungen. In den Speicherbehälter wird eine Sonde von Nöding Typ P133-E03-1015-01 eingebaut. Dem Datenblatt der Tauchsonde ist zu entnehmen, dass diese einen Messbereich von 0-400mBar hat und ein Ausgangssignal von 4-20 mA liefert. Durch eine keramische Messzelle und ein Edelstahlgehäuse sind die Messsonden von Nöding sehr robust und auch resistent gegen aggressivere Flüssigkeiten. Das Messsystem ist lediglich gegen Stoßbelastung empfindlich. Darauf ist bei der vor jedem Winter notwendigen Demontage der Sonde unbedingt zu achten. Alternativ kann z. B. auch eine Tauchsonde der Firma Vega eingesetzt werden. Dieser Hersteller bietet für diesen Bereich z.B. das Modell Vegawell 52 an. [DSN01], [DSV01]

Als Referenzdruck dient bei diesen Sonden der Umgebungsluftdruck. Dazu ist im Anschlusskabel ein Luftschlauch integriert. Bei der Montage ist darauf zu achten, dass in diesen Schlauch keine Flüssigkeit gelangt. Als Steckverbindung wird ein vierpoliger Harting-Stecker gewählt, der an der Seite mit einer Bohrung zum Druckausgleich versehen wird. Der Stecker wird außerhalb des Wasserbehälters montiert und mit einem Gummi gegen Regenwasser geschützt.

Zur Druckerfassung in den Druckkesseln werden Sensoren mit einem maximalen Arbeitsdruck von 10 Bar benötigt. Damit ist eine ausreichende Sicherheit gegen Überlast gegeben und die Belastbarkeit stimmt mit der des Druckbehälters überein. Der Hersteller Balluff bietet für den Einsatz mit dem Modell BSP B010-EV002-A02A0B-S4 das passende Produkt. Der Drucksensor liefert ebenfalls ein Ausgangssignal von 4-20 mA und zusätzlich einen einstellbaren Schaltkontakt. Damit kann eine zusätzliche Sicherheit direkt über den Sensor aktiviert werden. Um das System mit möglichst identischen Komponenten auszustatten, werden vier dieser Sensoren an den dafür vorgesehenen Stellen der Druckbehälter montiert. Der Hersteller bietet diese Sensoren auch mit einem Maximaldruck von fünf Bar an. Da das Rohrsystem veraltet ist, soll derzeit ein maximaler Wasserdruck von 5,5 Bar nicht überschritten werden. Sollte das Rohrsystem erneuert werden, besteht die

Möglichkeit, den Wasserdruck weiter zu erhöhen. Deshalb werden die Sensoren für 10 Bar ausgelegt, womit dann auch die zulässige Systemgrenze abgedeckt wird. Die Sensoren besitzen einen vierpoligen M12x1 Schraubanschluss für die Verkabelung und einen ¼ Zoll Innengewindeanschluss an der Messstelle. Die Messzelle ist wie beim Nöding-Sensor keramisch. Die Sensoren sind mit einer kleinen Digitalanzeige und zwei Bedientasten ausgestattet, über welche die Einstellungen von Schaltpunkten und Anzeigen direkt vorgenommen werden. [DSB01]

Die bereits vor der Umrüstung vorhandenen Druckschalter sind von der Firma Mertik Typ 654. Diese Schalter arbeiten mit einer Spannung von 230 V und können wahlweise als Öffner oder Schließer angeschlossen werden. Zur Sicherung gegen Leitungsunterbrechung werden diese als Schließer geschaltet. Die Auslöseschwelle liegt bei 6,4 Bar Überdruck gegenüber dem Umgebungsluftdruck.

4.2.2 Temperatursensoren

Für die Anlage sind zwei Temperatursensoren vorgesehen. Der erste Sensor schaltet die Heizung des Schaltschranks, um diesen vor Frost zu schützen, der zweite soll den Bediener vor Frostgefahr bei Außentemperaturen unter 5°C warnen. Es werden hier digitale Schaltelemente benötigt. Zur Vereinfachung werden identische Elemente eingebaut. Das Modell Siemens 8MR2170 bietet die nötigen Funktionen. Da ein Temperaturschalter im Außenbereich montiert wird, der aber nicht die benötigte Schutzart besitzt, muss dieser durch ein extra Gehäuse geschützt werden. Dafür ist eine Aufputzdose mit der Schutzklasse IP65 ausreichend, da diese Schutz gegen Staub und Strahlwasser gewährt.

4.2.3 Kompressoren

Die Kompressoren wurden vom Anlagenbetreiber selbst beschafft. Es handelt sich dabei um Einzylinder-Kompressoren der Firma Herkules. Diese sind mit einem 24 Liter Speicher ausgerüstet und bauen einen Druck von maximal acht Bar auf. Druckausgangsseitig befindet sich ein einstellbarer Druckminderer mit einem Manometer. Die Kompressoren werden mit 230 Volt betrieben. Dabei hat jeder Kompressor eine Leistung von 1100 Watt und liefert effektiv ca. 115 Liter Luft pro Minute.

4.2.4 Magnetventile

Wie bereits unter Punkt 3.2.1 „Spezifikation der Automatisierung“ beschrieben, sind die ursprünglich verwendeten Ventile nicht beidseitig druckbelastbar. Die Abbildung 4.1 zeigt in drei Bildern den Aufbau des Magnetventils. Der Kanal in der Mitte des 3. Bildes ist mit dem oberen Ventilanschluss verbunden. Dieser Kanal wird durch den in Bild 2 dargestellten Stößel mittels einer Feder verschlossen. Wird dieser Ausgang mit Druck belastet, öffnet der Stößel. Außerdem ist auf den Bildern zu erkennen, dass die Komponenten des dargestellten Ventils stark korrodiert sind. In diesem Zustand kann keine Gewährleistung für eine Standsicherheit gegeben werden und Ersatzteile für diese Bauelemente sind nicht mehr erhältlich.



Abbildung 4.1: Darstellung Magnetventil

Alternativ sollen Gasabsperrentile aus dem Flurförderzeug-Bereich oder Festo-Ventile aus dem Industriebereich eingesetzt werden. Festo bietet bei seinen Ventilen ein komplettes Stecksystem inklusive Schlauchleitungen, Kupplungen und Adaptern an. Die Gasabsperrentile sind in den Fahrzeugen anders verbaut und für den Zweck in der Gartenanlage nicht direkt vorgesehen. Es müssten individuelle Anschlüsse und Kupplungen organisiert werden. Deshalb ist die Variante, die Luftsteuerung durch die Festo-Ventile zu betreiben, einfacher. Weiterhin sind diese Komponenten bei Ausfall leichter zu ersetzen. Daher wird das Ventilsystem der Firma Festo favorisiert. In der Druckerhöhungsstation werden magnetisch betätigte 5/3-Wegeventile mit Federrückstellung verbaut. Diese Ventile haben zwar deutlich mehr Funktionen als benötigt, sind aber leichter verfügbar. Für den Zweck wären prinzipiell auch federrückgestellte 2/2-Wegeventile ausreichend.

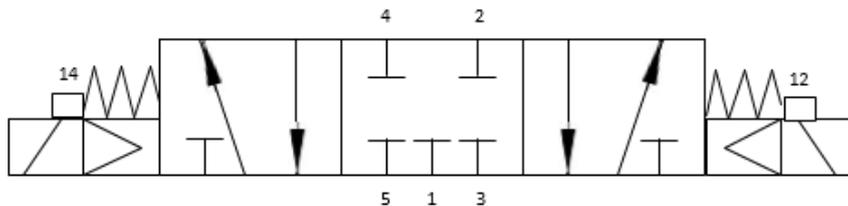


Abbildung 4.2: Darstellung Schaltbild 5/3 Wegeventil

Die Abbildung 4.2 zeigt das Schaltschema des verwendeten Festo Magnetventiles. Das Ventil ist in Ruhestellung gesperrt und beidseitig magnetisch betätigt mit Federrückstellung. Damit befindet sich das Ventil im stromlosen Zustand immer in der gesperrten Mittelstellung. An den Anschluss eins wird der Kompressor angeschlossen. Der Ausgang zum Druckbehälter kann wahlweise an den Anschluss zwei oder vier angeschlossen werden. Die offenen Anschlüsse drei und fünf des Magnetventils werden nicht benötigt. Die Positionen 12 und 14 sind die elektrischen Anschlüsse des Ventils. Wird Anschluss vier belegt, muss der elektrische Anschluss an Stecker 14 erfolgen, anderenfalls an Stecker 12. Diese Magnetventile sind im Inneren mit einem Steuerkolben ausgestattet, der durch die Magnetspulen nach rechts oder links verschoben wird. Durch die Federn wird der Kolben wieder in die Mittelstellung zurückgedrückt. Dadurch ist eine beidseitige Druckbelastung der Anschlüsse möglich, ohne dass das Ventil an einer Seite undicht wird. Beim Ausfall des Magnetventils wird durch ein Rückschlagventil zwischen Druckbehälter und Magnetventil ein Rückfluss des Wassers verhindert und damit werden die Komponenten vor Zerstörung geschützt.

[MVF01], [MVF02]

5 Lösungskonzept der Software

Die für die Automatisierung der Druckerhöhungsstation verwendeten Komponenten werden vom Hersteller Siemens gewählt. Daraus ergibt sich, dass auch die verwendete Software von diesem Hersteller stammt. Siemens bietet dazu das TIA-Portal. Mit dieser Programmiersoftware lässt sich sowohl die CPU als auch das HMI einrichten und programmieren. Das in diesem Kapitel beschriebene Automatisierungskonzept wird mit der Applikation TIA-Portal V12 umgesetzt. Als Programmiersprache wird KOP nach IEC 61131-3 gewählt. Alternativ kann das Programm in dieser Applikation auch in FUP erstellt werden.

Als Informationsquelle für dieses Kapitel wurden hauptsächlich die Hilfestellung des TIA-Portals und das Buch "Automatisieren mit SIMATIC S7-1200: Programmieren, Projektieren und Testen mit STEP 7 BASIC V11, Visualisieren mit WINCC BASIC V11" von Hans Berger verwendet. [HBR01]

5.1 Einrichtung der Applikation

Bei der Erstellung eines neuen Projektes im TIA-Portal ist es erforderlich, alle Hardwarekomponenten des Automatisierungsgerätes anzulegen. In der derzeitigen aktuellen Version 12 sind die im Projekt verwendeten Komponenten mit Bestellnummern im Auswahlkatalog hinterlegt. Das zeigt beispielhaft die Abbildung 5.1.

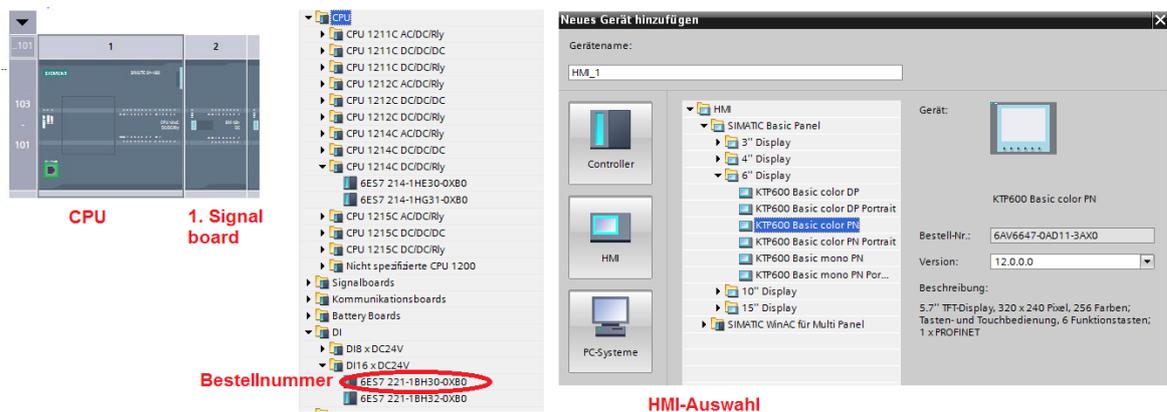


Abbildung 5.1: Darstellung Hardwarekonfiguration TIA-Portal

Beim Anlegen der Signalmodule ist darauf zu achten, dass diese auch in der Reihenfolge aufgerufen werden, wie sie tatsächlich im Schaltschrank verbaut sind. Nur so ist die korrekte Belegung der Ein- und Ausgänge bezogen auf Hardware bzw. Schaltplan zu Software gegeben.

Das Bedienpanel wird unter der Option „Neues Gerät hinzufügen“ als HMI angelegt. Auch an dieser Stelle werden dem Programmanwender bereits die verschiedenen Panelmodelle zur Auswahl angeboten. Im Erstellungsprozess des passenden Panels besteht die Möglichkeit, dieses mit einem Vorlagebild anzulegen. Das vom Programm vorgeschlagene Grundbild dient in angepasster Variante als Bildvorlage des Panels. Die Erstellung der Vorlage wird zu Beginn des Abschnittes 5.3 "Visualisierung" näher beschrieben. Auch bestimmte Systemfunktionen können bereits als Vorgaben erstellt bzw. angelegt werden. Die Anpassung der Funktionen an das gesamte System werden ebenfalls in Abschnitt 5.3 "Visualisierung" näher erläutert.

Damit das HMI mit der CPU kommuniziert, müssen die beiden Komponenten miteinander vernetzt werden. In der Applikation des TIA-Portals können die Steuerungsteilnehmer unter dem Punkt „Geräte und Netze“ mit der Maus verbunden werden. Das Programm legt dann eine Industrial Ethernetverbindung an. Dabei wird die Subnetz-ID automatisch vergeben.

Sowohl das HMI als auch die CPU benötigen zur eindeutigen Identifizierung eine IP-Adresse. Die Verbindung der Geräte erfolgt über einen Switch, an den auch der Computer zum Laden des Programms angeschlossen wird. Die Adressen werden an die gängigen Routeradressen angepasst. So erhält die CPU die Adresse 192.168.0.10 und das HMI die Adresse 192.168.0.11. Die Subnetzmasten werden auf die Werte 255.255.255.0 eingestellt. Somit erfolgt der Vergleich nur auf die letzte Stelle und die Komponenten können miteinander kommunizieren.

5.2 Steuerungsprogramm

Um möglichst effektiv zu programmieren, werden die Schritte, die im Programm häufiger vorkommen, als komplexe Funktionen zusammengefasst. Somit müssen aber die Ein- und Ausgangsbeschreibungen möglichst allgemein gültig und verständlich sein. Um diese Programmteile auch für andere Aufgaben und Projekte nutzen zu können, dürfen beispielsweise die Ein- und Ausgangsvariablen nicht an anlagenspezifische Bedingungen gebunden sein. Damit können archivierungsfähige Funktionsblöcke entstehen, mit denen spätere Projekte mit vergleichbaren Aufgaben schneller umgesetzt werden können. Diese Anforderung entspricht der IEC 61131.

5.2.1 Signaleingänge und Signalausgabe

Die Eingangssignale werden am Anfang eines jeden Programmzyklus eingelesen und gespeichert. Damit ist sichergestellt, dass im Programm keine Unstimmigkeiten entstehen können, wenn sich während der Programmabarbeitung die Zustände der erfassten Signale ändern. Die Eingänge müssen in jedem Programmteil denselben Wert haben. Digitale und analoge Signale müssen differenziert betrachtet werden. Nach jedem Programmdurchlauf werden alle Ausgänge an die Schnittstellen der Hardware übergeben. Alle externen Signale, werden in einer PLC-Tabelle erfasst und bekommen zur besseren Verwendung im Programm einen Namen. Die vergebenen Adressen ergeben sich dabei aus den Eingängen bzw. Ausgängen, an denen die entsprechenden Leitungen der Sensoren bzw. Aktoren angeschlossen sind und bei den Analogsignalen aus der Größe des Datensatzes. Zur Erklärung eines Signals kann bei Bedarf ein Kommentar angehängt werden, der aber für den Programmablauf unbedeutend ist.

Name	Variablen-tabelle	Datentyp	Adresse	Rema...	Sichtb..	Erreic...	Kommentar
↳ TB1_BP1_I_Laufmeldung	Standard-Variablen...	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laufmeldung Brunnenpumpe 1
↳ TB1_BP1_I_E_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Störung Brunnenpumpe 1
↳ TB2_BP1_I_Automatik	Standard-Variablen...	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Automatik Brunnenpumpe 2
↳ TB2_BP1_I_Laufmeldung	Standard-Variablen...	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laufmeldung Brunnenpumpe 2
↳ TB2_BP1_I_E_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Störung Brunnenpumpe 2
↳ DB1_DP1_I_Automatik	Standard-Variablen...	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Automatik Druckpumpe 1 DB1
↳ DB1_DP1_I_Laufmeldung	Standard-Variablen...	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Laufmeldung Druckpumpe 1 DB1
↳ WS1_FS1_AI_Fuellstand	Standard-Variablen...	Int	%IW84	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Messwert Füllstand Speicher
↳ TB1_BP1_AI_Strom	Standard-Variablen...	Int	%IW86	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Strom Brunnenpumpe 1
↳ TB2_BP1_AI_Strom	Standard-Variablen...	Int	%IW88	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Strom Brunnenpumpe 2
↳ Reserve(S)	Standard-Variablen...	Int	%IW90	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Reserve
↳ DB1_DM2_AI_Wasserdruck	Standard-Variablen...	Int	%IW92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wasserdruck von Druckmessung 2 DB1
↳ DB2_DM2_AI_Wasserdruck	Standard-Variablen...	Int	%IW94	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Wasserdruck von Druckmessung 2 DB2
↳ DB1_DM1_AI_Luftdruck	Standard-Variablen...	Int	%IW96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Luftdruck von Druckmessung 1 DB1
↳ DB2_DM1_AI_Luftdruck	Standard-Variablen...	Int	%IW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Luftdruck von Druckmessung 1 DB2
↳ TB1_BP1_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q3.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ TB2_BP1_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q3.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP1_O_Start	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP2_O_Start	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP3_O_Start	Standard-Variablen...	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP1_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP2_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q2.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB1_DP3_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q2.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB2_DP1_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q3.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
↳ DB2_DP2_O_Stoerung	Standard-Variablen...	Bool	%Q3.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Abbildung 5.2: Darstellung PLC-Variablen

Die Abbildung 5.2 zeigt auszugsweise die Signaltabelle. Dabei befinden sich im oberen Teil die digitalen Eingänge mit einer Größe von einem Bit. Acht Bit ergeben ein Byte, deshalb werden die Eingänge von 0 bis 7 gezählt. Im mittleren Teil werden die Analogsignale adressiert. Diese haben eine Länge von 16 Bit, daraus ergeben sich die Folgeadressen. Der untere Teil stellt einen Auszug der Ausgangssignale dar. Diese sind alle digital und verhalten sich daher wie die digitalen Eingänge. Die Adressbereiche der angeschlossenen Signalbaugruppen können im TIA-Portal unter der Gerätekonfiguration als Kanaladressen geprüft werden.

Alle analogen Signale werden der Steuerung in Form von Strömen zur Verfügung gestellt. Diese Signale müssen dann erst normiert, anschließend skaliert werden. Dabei ist zu beachten, dass auf Grund unterschiedlicher Baugruppen zwischen den Wertebereichen 0-20 mA und 4-20 mA unterschieden werden muss. Alle verwendeten Sensoren werden auf den Bereich 4-20 mA eingestellt. Damit kann eine Überwachung auf Leitungsunterbrechung oder Kurzschluss durch die Steuerung erfolgen. Zur effektiveren Abarbeitung wiederkehrender Prozesse ist die Verwendung von Bausteinen sinnvoll. Deshalb bietet sich an, eine Funktion zu entwickeln, bei der die unterschiedlichen Signalpegel variiert werden können. Die verwendete SPS kann maximal 27648 Werte auflösen. Bei einer Baugruppe mit einem Strombereich von 4-20 mA kann der volle Wertebereich von null bis 27648 verwendet werden. Bei einer Baugruppe, die nur 0-20 mA auswerten kann, steht nicht der vollständige Wertebereich zur Verfügung, da das Minimum der Eingangssignale, bedingt durch die Sensorik, 4 mA beträgt. Dazu folgt in Tabelle 5.1 eine Berechnung, welches der minimal gültige Prozesseingangswert für diese Baugruppe ist.

Tabelle 5.1: Tabelle Messwertauflösung

	Eingangssignal	Wertebereich	Eingangssignal	Wertebereich
min	0	0	4	5529,6
max	20	27648	20	27648

Die Tabelle zeigt, dass für die Signalbaugruppe mit Messbereich 0-20 mA der Mindestwert 5529 ist. Wie diese Differenzierung im Programm erfolgt, zeigt die Abbildung 5.3.

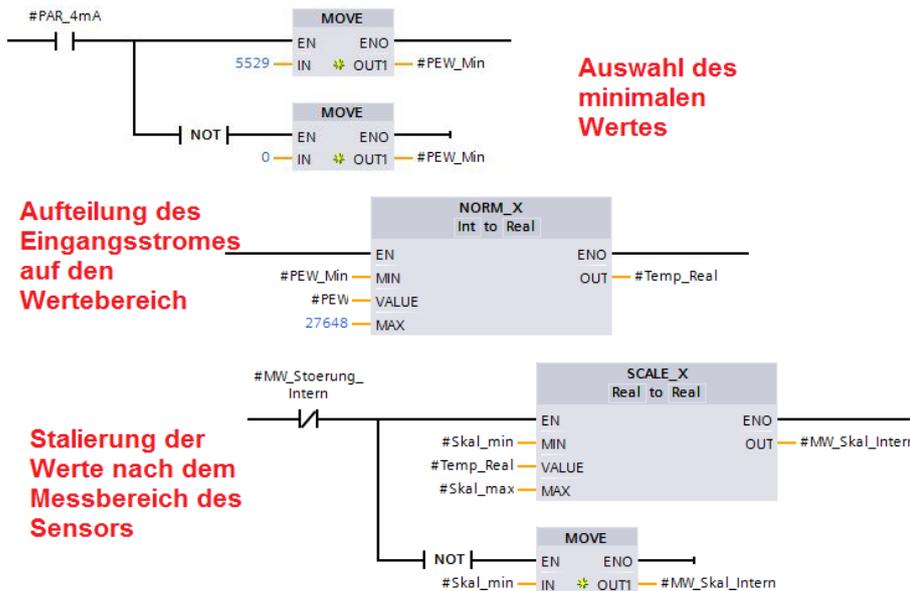


Abbildung 5.3: Darstellung Einlesen der Analogmesswerte

Durch die gegebenen Grenzwerte kann bei Abweichungen eine Messwertstörung generiert werden. Dazu werden die normierten Werte in Bezug auf die oberen und unteren Grenzen verglichen.

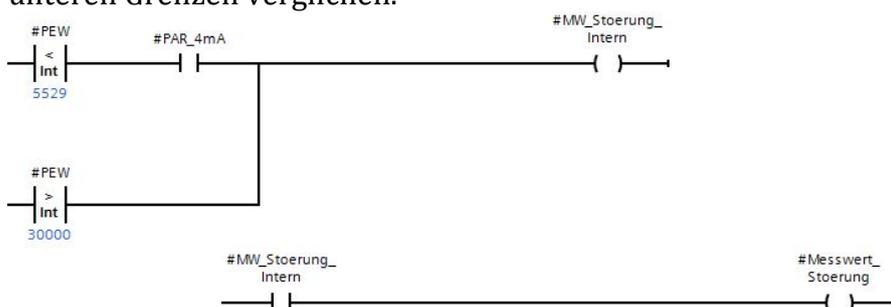


Abbildung 5.4: Darstellung Einlesen der Analogmesswerte

Wie in Abbildung 5.4 zu erkennen ist, muss bei der Fehlerüberwachung eine Differenzierung des Messbereiches der Baugruppe vorgenommen werden. Der obere Grenzwert 30000 hat sich durch einen Funktionstest ergeben, indem das Messsignal unterbrochen wurde. Dann setzt die Steuerung einen Wert größer 30000, obwohl sie nur 27648 Werte auflösen kann und signalisiert somit ein fehlerhaftes Messsignal.

Analogwertdämpfung

Die analogen Eingangssignale unterliegen technisch bedingten Schwankungen. Da die Signale in sehr geringen Abstufungen unter anderem den Füllstand widerspiegeln sollen, müssen sie gedämpft werden. Eine geringe Dämpfung lässt sich bereits an der Eingangsbaugruppe einstellen. Um sprunghafte Änderungen des Signales zu glätten, wird eine Messwertintegration in das Programm eingefügt. Dabei soll sich das Ergebnis des Messwertes kontinuierlich auf den Messwertsprung anpassen. Ein Nachteil der Integration ist aber die Verzögerung der Anzeige des realen Messwertes je nach Dämpfung. Die Abbildung 5.5 zeigt die Bildung des Integrationsfaktors.

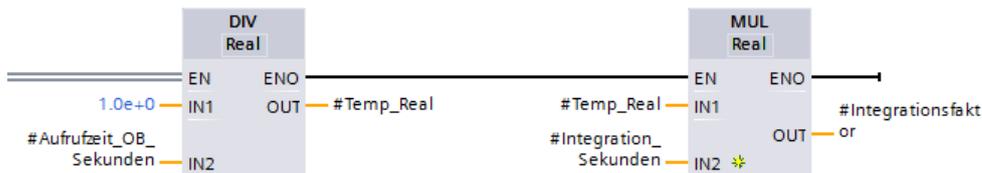


Abbildung 5.5: Darstellung Integrationsfaktorbildung

In Abbildung 5.6 ist die Umsetzung der Messwertintegration des Programms zu sehen.

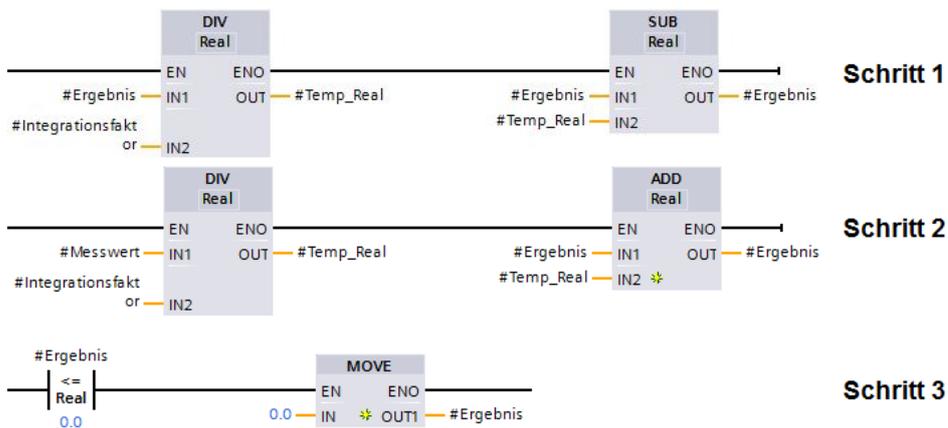


Abbildung 5.6: Darstellung Messwertintegration

Im ersten Schritt wird vom gespeicherten Ergebnis ein Teil gebildet, beispielsweise 10 Prozent. Dieser Teil wird vom Ergebnis subtrahiert und es entsteht ein neues Teilergebnis. Im 2. Schritt wird vom aktuellen Messwert der gleiche Teil gebildet, in diesem Fall ebenfalls 10 Prozent. Anschließend wird dieser Messwertteil auf das gebildete Teilergebnis addiert. Springt ein Messwert also von null Bar auf fünf Bar, beträgt die Ergebnisänderung im ersten Zyklus nur 0,5 Bar. Die Anzahl der bis zum Erreichen des gemessenen Wertes benötigten Zyklen ist vom Integrationsfaktor abhängig. Der 3. Schritt vermeidet negative Messwtergebnisse.

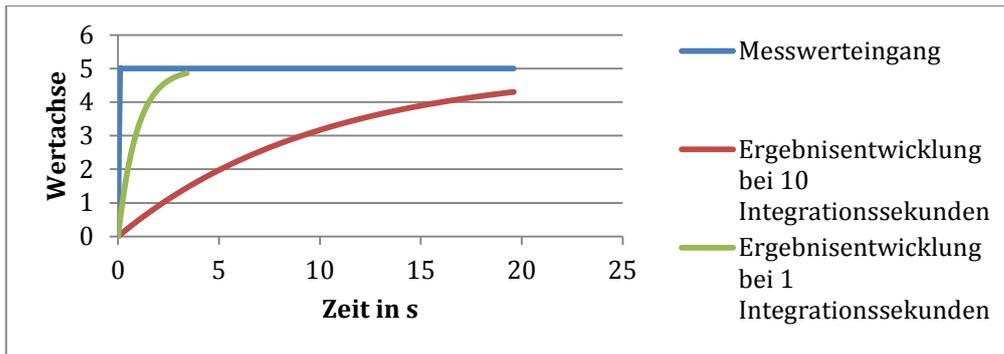


Abbildung 5.7: Darstellung Ergebnisdämpfung

Die Abbildung 5.7 zeigt die Ergebnisentwicklung der analogen Eingangssignale mit unterschiedlichen Integrationsfaktoren. Dabei sind auf der X-Achse die benötigte Zeit in Sekunden und auf der Y-Achse der Signalpegel dargestellt. Je größer der Integrationsfaktor gewählt wird, desto mehr Zyklen werden benötigt, bis das vom Programm zur Weiterberechnung verwendete Ergebnis dem am Eingang anliegenden Messwert entspricht. Das Teilprogramm wird alle 100 ms aufgerufen. Bei der Einstellung der Messwertdämpfung muss ein Kompromiss zur Verzögerung gefunden werden. Deshalb bleibt der Integrationsfaktor für den Anlagenbediener einstellbar. Als Empfehlung wird dem Anlagenbediener ein Wert von 15 Integrationssekunden für den Wasserspeicher bzw. 20 Integrationssekunden für die Druckbehälter gegeben.

Eine alternative Möglichkeit der Glättung von Messwertschwankungen wäre die Bildung eines gleitenden arithmetischen Mittelwertes. Dabei wird die Summe einer bestimmten Anzahl von Messwerten x gebildet. Anschließend wird die Summe der Messwerte durch die Anzahl x geteilt. Die Weiterberechnung erfolgt mit diesem gebildeten Mittelwert. Die Größe x ergibt damit den Parameter der Glättung. Die Funktion dieses „Average-Bausteins“, in der Abbildung 5.8 dargestellt, kann über den Siemens-Support direkt aus dem Internet geladen und im TIA-Portal integriert werden.

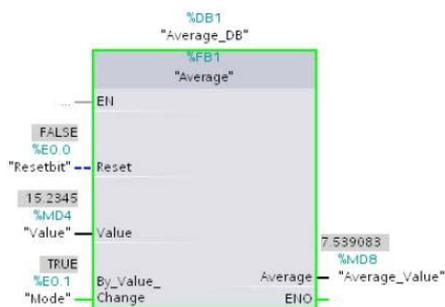


Abbildung 5.8: Darstellung gleitende Mittelwertbildung

Einlesen der Digitalen Signale

Die Binäreingänge werden vor dem Aufruf des OB1 vom Betriebssystem in das PAE kopiert. Um zu vermeiden, dass bei der Verwechslung eines Signals an jeder Stelle, an der das Signal im Anwenderprogramm verwendet wird, eine Änderung erfolgen muss, werden die Digitaleingänge zusätzlich in einen Datenbaustein kopiert. Im

Fehlerfall muss dann nur einmal das entsprechende Signal beim Einlesen in den Datenbaustein geändert werden. Zudem können so beispielsweise Signale schon beim Einlesen generell negiert werden. Dies muss dann nicht bei jeder Verwendung erfolgen. Die zusätzliche Speicherung der digitalen Signale ist aber nicht zwingend erforderlich.

Das Einlesen der digitalen Signale ist sehr aufwändig, wenn man jeden Eingang einzeln durch ein Netzwerk beschreibt. Deshalb wurde eine Variante gewählt, bei der die Digitaleingänge byteweise zusammengefasst werden.

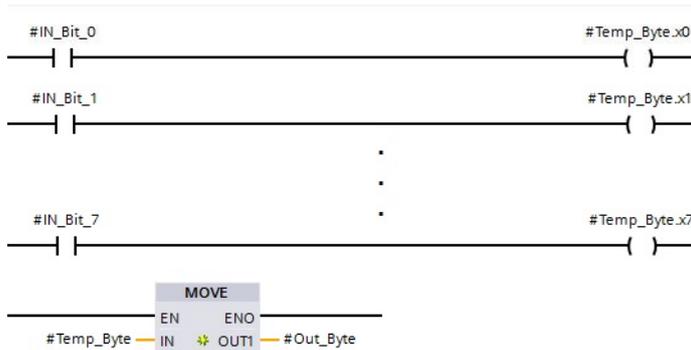


Abbildung 5.9: Darstellung Funktion Bit to Byte

Die Abbildung 5.9 zeigt, wie acht Bit zu einem Byte zusammengefasst und anschließend ausgegeben werden. Diese neun Netzwerke sind in einem Funktionsbaustein zusammengefasst und können so für jedes Eingangsbyte aufgerufen werden. Damit müssen diese Netzwerke nicht für jedes Bit einzeln geschrieben werden.

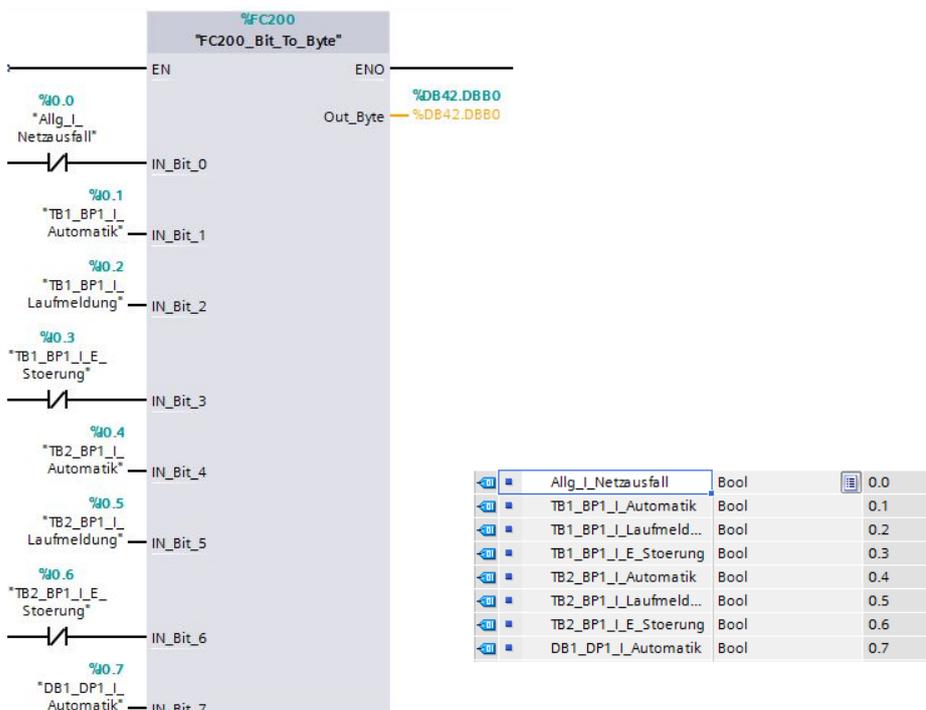


Abbildung 5.10: Darstellung Digitaleingänge in DB schreiben

Ruft man den Baustein in einer neuen Funktion auf, erscheint er im TIA-Portal, wie in Abbildung 5.10 zu erkennen ist. Die Eingänge können einzeln aus der PLC-Tabelle gewählt werden. Anschließend werden die Daten als Byte x im gewünschten Datenbaustein gespeichert. Somit sind alle Eingänge 0.x im Byte 0 gespeichert.

5.2.2 Pumpenregime

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die Verteilung der Pumpenaggregate in einem Funktionsbereich abläuft. Anforderung an die Steuerung ist, alle Pumpen möglichst gleich zu belasten. Aus diesem Grund muss die durch einen Schaltpunkt angesteuerte Pumpe zyklisch gewechselt werden.

Der zyklische Wechsel kann entweder bei einer festgelegten Betriebsstundendifferenz oder zu einer bestimmten Uhrzeit erfolgen. Wenn ein Aggregat wegen eines Defektes ersetzt wird, muss die Option bestehen, die gezählten Betriebsstunden zurückzusetzen. Erfolgt der Regimewechsel in Abhängigkeit der Betriebsstundendifferenz, würde das neue Aggregat immer an erster Stelle angefordert werden. Ein zyklischer Wechsel erscheint also sinnvoller. Fällt ein Aggregat aus, darf dieses natürlich nicht gerade an erster Stelle stehen. In diesem Fall käme es auch bei geringer Wasserabnahme sofort zu einem Druckabfall des Systems bis auf den eingestellten Wert des zweiten Schaltpunktes. Zu diesem Zweck muss die Steuerung ein gestörtes Aggregat immer möglichst an die hinterste Stelle schieben. Um diesen Regimewechsel zu realisieren, werden Pumpenindizes vergeben. Da in einem Funktionsbereich maximal drei Pumpen zusammen arbeiten, müssen also maximal drei Indizes vergeben werden. Diesen Indizes werden dann Zahlenwerte von eins bis drei zugeordnet. Dabei entsprechen die Pumpenindizes den angeforderten Schaltpunkten und der Zahlenwert des jeweiligen Index gibt die Pumpennummer an. Ist also der Pumpenindex eins mit dem Zahlenwert eins geladen und schaltet beim Erreichen des ersten Schaltpunktes die Pumpe eins an.

Eine Initialisierung der Pumpenindizes wird beim Neustart der SPS nach Abbildung 5.11 vorgenommen. Damit ist eine Definition der Werte zum Beispiel nach einem Stromausfall oder der Wiederinbetriebnahme nach der Winterpause sichergestellt.

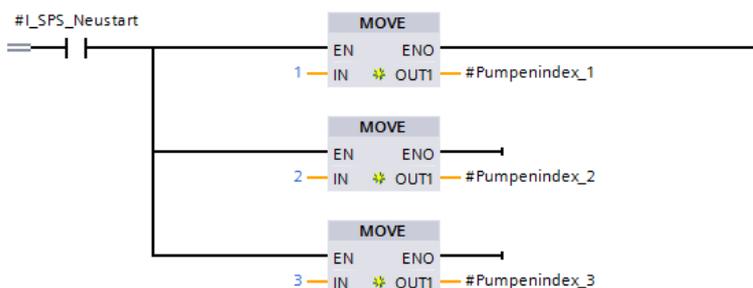


Abbildung 5.11: Darstellung Pumpeninitialisierung

Der zyklische Wechsel der Pumpenindizes erfolgt primär alle 24 Stunden mit dem Tageswechsel. Dabei wird der Flankenwechsel auf 0 Uhr als Auslöser verwendet. Mit dieser Flanke erfolgt eine Verschiebung der Werte unter den Pumpenindizes. In Abbildung 5.12 ist zu erkennen, dass der Wechsel vom höheren zum niedrigeren Pumpenindex erfolgt und der Pumpenindex eins den Wert des letzten Pumpenindex erhält. Damit schaltet die zuerst angeforderte Pumpe nach dem Indexwechsel als letzte Pumpe ein.

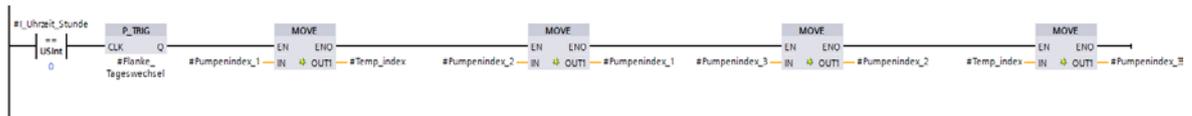


Abbildung 5.12: Darstellung zyklischer Regimewechsel

Ist eine Pumpe gestört, sollte diese möglichst an letzter Anforderungsstelle stehen.

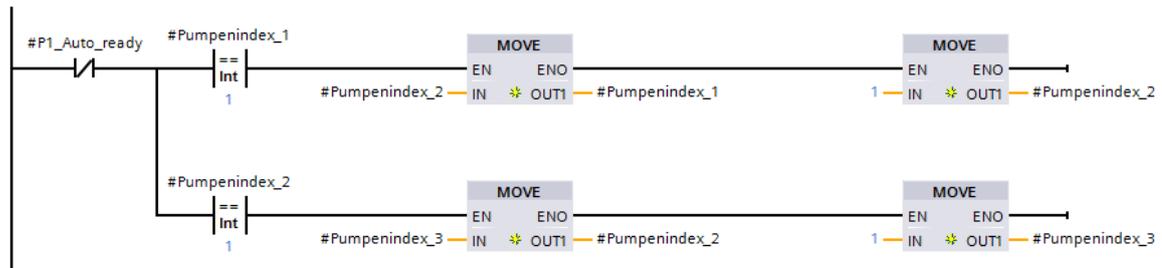


Abbildung 5.13: Darstellung Regimewechsel bei Störung Pumpe 1

Das in Abbildung 5.13 dargestellte Schema zeigt die Indexverschiebung beim Ausfall der Pumpe eins. Der negierte Schaltkontakt „P1_Auto_ready“ bleibt in diesem Fall gesetzt. Die Steuerung vergleicht, ob der Pumpenindex eins den Wert eins besitzt. Ist das der Fall, wird der Wert von Pumpenindex zwei in Pumpenindex eins geschoben und der Wert eins in Pumpenindex zwei geschrieben. Anschließend wird Pumpenindex zwei auf den Wert eins verglichen. Trifft dies zu, wird der Wert des Pumpenindex drei in Pumpenindex zwei geschoben und der Wert eins in Pumpenindex drei geschrieben. Da dann Pumpenindex drei den Wert eins besitzt, steht die Pumpe eins an letzter Stelle.

Fällt Pumpe zwei aus, werden die Indizes auf den Wert zwei verglichen und durch Verschieben der Werte versucht, den Wert zwei auf Pumpenindex drei zu schieben. Ist Pumpe drei defekt, passiert dasselbe mit dem Wert drei.

Sind zwei Pumpen gleichzeitig gestört, tauschen die defekten Pumpen immer zwischen Wert zwei und drei, aber keine der beiden Aggregate erhält den Wert eins. Fallen drei Pumpen aus, wird der Funktionsbereich außer Betrieb genommen. Mit diesen Verschiebungen der Indizes kann der Betrieb der Funktionsbereiche längst möglich aufrechterhalten werden, bevor es zu einer kompletten Störung kommt. Natürlich ist eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit des Systems damit nicht zu verhindern.

Die Betriebsstunden der Aggregate sollen erfasst werden. Dazu werden Laufmeldungen der Maschinen generiert und die Zeit, in der Aggregate angefordert werden, wird über eine Hertzflanke erfasst. Dabei entsprechen 3600 Flankenimpulse dann einer Betriebsstunde des Motors.

Die Abbildung 5.14 zeigt die Betriebsstundenerfassung des Programms. Wurden 3600 Impulse der Hertzflanke gezählt, muss nicht nur der Stundenzähler erhöht, sondern auch der Sekundenzähler wieder zurückgesetzt werden.

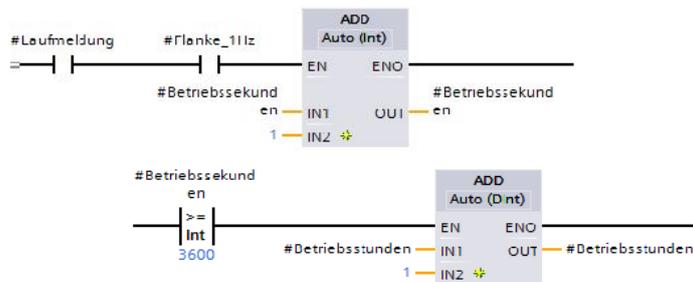


Abbildung 5.14: Darstellung Betriebsstundenerfassung

Es erscheint auch als sinnvoll, die Schaltspiele der Leistungsschütze zu erfassen. Daraus lässt sich eventuell später eine Tendenz der Haltbarkeit der Komponenten ermitteln und man kann verfolgen, ob das SPS-Programm die Anlage sinnvoll steuert. Die Schaltspiele sind vor allem für die Magnetventile von Bedeutung, da diese nur sehr kurz angesteuert werden. Wie in Abbildung 5.15 zu sehen ist, muss dazu jeweils nur ein Zähler für das entsprechende Aggregat erhöht werden, wenn die Laufmeldung einer Maschine mit steigender Flanke anliegt.

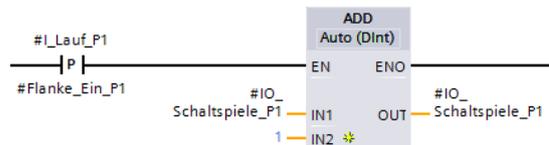


Abbildung 5.15: Darstellung Schaltspielerfassung

Die Generierung der Laufmeldung erfolgt durch die Rückmeldung des Leistungsschützes. Eine Erkennung, ob beispielsweise eine Pumpe wirklich dreht, kann nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand durch das Programm erfolgen. Dazu müssten entweder Drehzahlen erfasst werden oder Druckzustandsänderungen bezogen auf die Zeit kontrolliert werden. Das würde aber bei geringen und langandauernden Wasserabnahmen zu ungewollten Fehlermeldungen führen.

5.2.3 Bildung der Pumpenstörmeldungen

Durch die verbauten Komponenten des Systems können folgende Störungen der Pumpenaggregate registriert werden:

- Elektrostörungen
- Laufzeitstörungen
- Sammelstörungen

Die Elektrostörung des Pumpenaggregates erfolgt durch die Rückmeldung des Sicherungsautomaten. Ist die Sicherung gefallen, wird eine Fehlermeldung generiert.

Die Laufstörung der Pumpe wird durch das Pumpenschütz ausgelöst. Die Fehlergenerierung erfolgt nach dem in Abbildung 5.16 zu erkennenden Schema. Die Pumpe muss bei entsprechender Stellung des Wahlschalters an der Schalttafel im Automatikmodus stehen und eine Anlauffreigabe durch das Programm bekommen. Zudem darf keine Laufmeldung durch das Schütz erfolgen. Das heißt, dass das Schütz trotz Ansteuerung nicht geschlossen ist. Die Fehlermeldung wird zeitverzögert ausgelöst. Die Sammelstörung wird sowohl bei der Elektrostörung, als auch bei der

Laufzeitstörung ausgegeben. Durch die Sammelstörung werden die Leuchtmelder der Schalttafel und die Außenleuchte gesetzt.

Die Rücksetzung von Elektro- und Laufstörung erfolgt mit der Nullstellung des Wahlschalters der entsprechenden Pumpe.

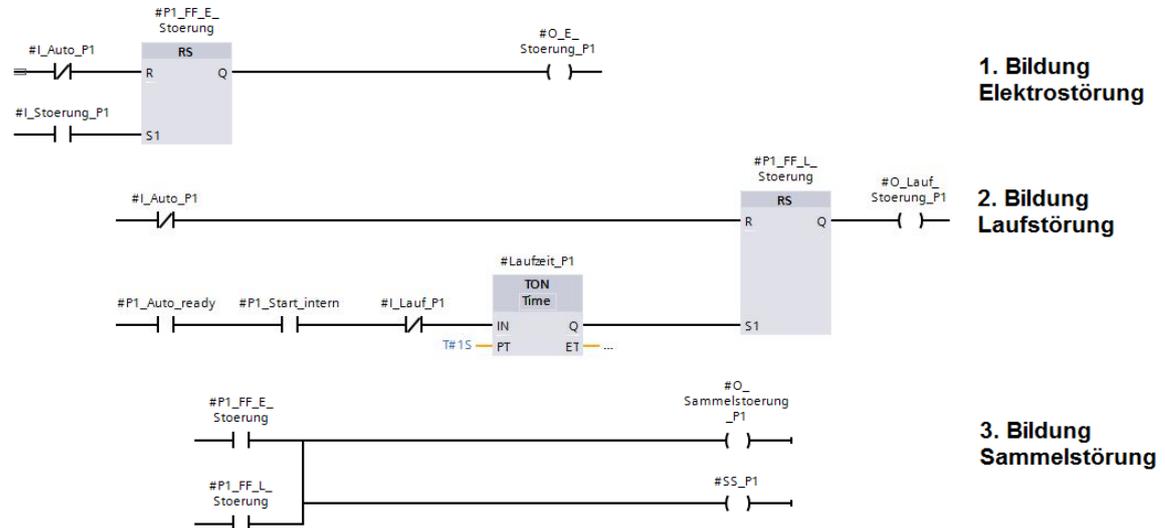


Abbildung 5.16: Darstellung Störmeldungsbildung am Beispiel Pumpe 1

Der in Bild 3 der Abbildung 5.16 dargestellte temporäre Ausgang „SS_P1“ dient nur zur Unterdrückung einer Warnung beim Kompilieren. Ein Ausgang darf in einem anderen Netzwerk desselben Bausteines kein Eingang sein. Die Meldung wird aber als Eingang bei der Kontrolle auf Automatikfreigabe benötigt. Die Erstellung zusätzlicher temporärer Ausgangsvariablen wird auch an anderen Stellen im Programm angewendet. Dadurch wird zwar die Übersichtlichkeit der Parameter etwas schlechter, aber es treten keine Warnungen beim Übersetzen und Laden des Programms in die CPU auf. Die Auflistung weiterer Fehler, die von der Steuerung überwacht werden, erfolgt in Kapitel 5.4 „Störungen“.

5.2.4 Bildung der Grenzpunkte

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Bildung der minimalen und maximalen Grenzpunkte der einzelnen Funktionsbereiche.

Für jeden Bereich des Systems müssen Grenzen festgelegt werden, in denen ein sicherer Betrieb der Druckerhöhungsstation gegeben ist. Beim Erreichen bestimmter Grenzwerte werden Funktionsbereiche aus Sicherheitsgründen außer Betrieb genommen. Für den Funktionsbereich „Wasserspeicher“ müssen folgende Grenzen festgelegt werden:

- Minimaler Füllstand
- Maximaler Füllstand
- Minimaler Strom Brunnenpumpe 1
- Maximaler Strom Brunnenpumpe 1
- Minimaler Strom Brunnenpumpe 2
- Maximaler Strom Brunnenpumpe 2

Der minimale Füllstand beeinflusst dabei die Funktionsbereiche der Druckbehälter. Ab Erreichen dieses Punktes kann nicht mehr sichergestellt werden, dass die Druckpumpen keine Luft ansaugen. Damit würden die Pumpen auf Dauer Schaden nehmen und auch die Wasser-Luftverhältnisse der Druckbehälter negativ beeinflussen.

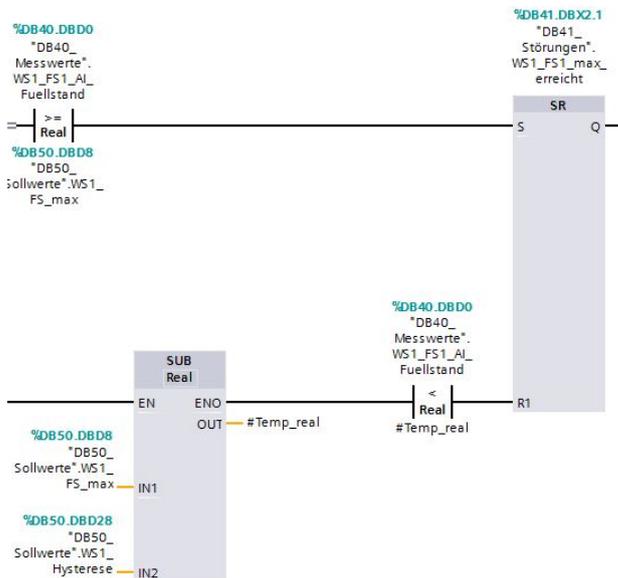


Abbildung 5.17: Darstellung Grenzwertbildung maximaler Füllstand

Die Abbildung 5.17 zeigt die Bildung des maximalen Füllstandes. Das dabei verwendete Flipflop wird gesetzt, wenn der Messwert größer oder gleich der eingegebenen Grenze ist. Die Rücksetzung erfolgt erst, wenn der Messwert kleiner als die maximale Grenze minus der eingestellten Hysterese ist. Sowohl Grenzwert als auch Hysterese werden für den Bediener einstellbar gestaltet. Die Bildung der Minima erfolgt in ähnlicher Weise, nur mit umgekehrten Vergleichen.

Die Stromgrenzen der Brunnenpumpen zeigen Defekte der Aggregate an und lösen entsprechende Fehlermeldungen aus. Sinnvolle Grenzwerte ergeben sich dabei aus der Leistung der Motoren. Die Erfassung der Ströme der Brunnenpumpen war eine Anforderung des Anlagenbetreibers. Laut Kundenaussage steigt vor dem Ausfall einer Pumpe häufig die Stromaufnahme sukzessive an. Damit lassen sich Systemausfälle vorbeugend minimieren.

Die Abbildung 5.18 stellt die Ermittlung des maximalen Stromes dar. Zur Vermeidung von ungewollten Fehlern bei Einschalten der Aggregate, wird ein Zeitfenster eingebaut, welches einen erhöhten Anlaufstrom erlaubt. Die Rücksetzung der Fehlermeldung erfolgt bei Unterschreitung des Maximalwertes minus einer konstanten Hysterese.

Die Überwachung des minimalen Stromes erfolgt nur bei angefordertem Aggregat. Zur Sicherheit wird ebenfalls eine Verzögerung eingebaut. Bei der Verwendung der Einschaltverzögerung „TON“ ist darauf zu achten, dass diese Zeitglieder einen eigenen Datenbaustein, im Programm als Instanzbaustein bezeichnet, benötigen. Darauf wird aber bei der Erstellung des entsprechenden Bausteins hingewiesen.

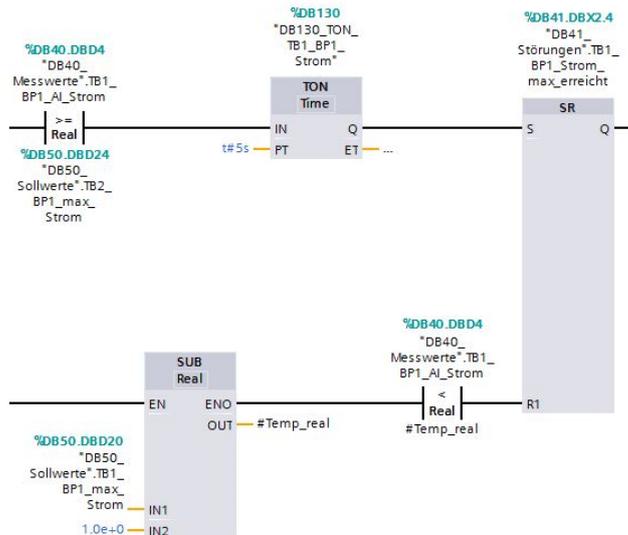


Abbildung 5.18: Darstellung Grenzwertbildung maximaler Strom

Für den Funktionsbereich Druckspeicher werden folgende Grenzpunkte benötigt:

- Maximaler Wasserdruck
- Maximaler Luftdruck
- Maximaler Wasserstand
- Minimaler Wasserstand

Diese Grenzpunkte werden jeweils für beide Druckbehälter benötigt.

Die Messwerte werden durch die Drucksensoren der Firma Balluff an den Behältern geliefert. Dabei misst der erste Drucksensor den Luftdruck und der zweite Sensor den Systemdruck, welcher sich aus dem Wasserdruck und dem Luftdruck zusammensetzt. Der Programmaufbau der Druckpunktgenerierung für die Minima und Maxima ist identisch zum Programmaufbau der Füllstandpunktermittlung. Auch an diesen Stellen wird auf Über- oder Unterschreitung eines eingestellten Sollwertes verglichen. Die Rücksetzung der Meldung erfolgt ebenfalls unter Berücksichtigung einer durch den Bediener einstellbaren Hysterese.

Als zusätzliche Sicherheit vor Fehlbedienung der Anlage, wird zur Vermeidung einer Überfüllung der Druckbehälter, eine Sperre programmiert. Diese verhindert, dass der eingegebene maximale Füllstand größer als 70 cm ist. Aus der Abbildung 5.19 ist erkennbar, dass in diesem Fall der Maximalwert automatisch auf 70cm gesetzt wird.

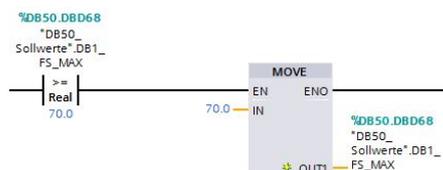


Abbildung 5.19: Darstellung Maximalwertbegrenzung Behälterfüllstand

Diese Einschränkung ist notwendig, da die Behälter nur einen Durchmesser von 80 cm besitzen. Würden sich die Druckkessel komplett mit Wasser füllen, steigt der

Systemdruck schlagartig an, da sich Flüssigkeiten kaum komprimieren lassen. Die Trägheit der Aggregate könnte dann zur Zerstörung der Schaugläser führen.

5.2.5 Bildung der Schaltpunkte

Die Schaltpunkte dienen dem Programm dazu, die Anzahl der benötigten Pumpen zu bestimmen. Damit soll ein ökonomischer Betrieb realisiert werden, der den Pumpeneinsatz nach Wasserabnahme regelt.

Die erste Überlegung war, die Schaltpunkte des Systems füllstandabhängig zu unterteilen. Dann müssten dem Bediener allerdings theoretische Druckreferenzwerte zur Verfügung stehen. Ein viel größeres Problem ist aber die Druckabstufung bezogen auf den Füllstand. Wie das Diagramm in Abbildung 3.11 darstellt, ist die Druckänderung im Arbeitsbereich bezogen auf kleinste Füllstandänderungen enorm.

Wie bei der Analogwertermittlung bereits beschrieben wurde, ist ein Schwanken der Messsignale kaum vermeidbar. Beim Test der Eingangssignale mit einem Kalibrator der Firma Agilent Technologies, konnten Schwankungen der Messwerte registriert werden. Trotz Dämpfung der Signale konnte ein Schwanken des ermittelten Füllstandes um etwa drei Zentimeter nicht verhindert werden. Diese Höhenabweichung entspricht etwa einer Stromschwankung von fünf Mikroampere.

$$\begin{aligned} \Delta P / \Delta I &= 10 \text{ bar} / 16 \text{ mA} = 0,003 \text{ bar} / x \mu\text{A} \\ x &= (0,003 \text{ bar} \cdot 16 \text{ mA}) / 10 \text{ bar} \\ x &= 4,8 \mu\text{A} \end{aligned}$$

Abbildung 5.20: Darstellung Stromschwankungsberechnung

Die Abbildung 5.20 zeigt die Berechnung der Stromschwankung bezogen auf die Füllstandschwankung. Dabei wird die Grundlage daraus gebildet, dass der verwendete Sensor bei einem Messbereich von 0-10 Bar ein Stromsignal von 4-20 mA liefert.

Die Tabelle 5.2 zeigt auszugsweise die theoretische Systemdruckentwicklung bei der Befüllung eines Druckkessels. Dabei wurde der Wasserdruck nach dem Pascalschen Gesetz (Gl. 3.1) ermittelt und der Luftdruck aus dem Gesetz von Boyle-Marriotte (Gl. 3.3) berechnet. Möchte man den Systemdruck der Anlage im Bereich zwischen 4,5 Bar und 3,5 Bar regeln, liegen die drei Schaltpunkte etwa drei Zentimeter auseinander. Die Messwertschwankung würde also über alle Schaltpunkte reichen. In ungünstigen Fällen schalten dann alle Pumpen permanent ein und aus.

Sinnvoller erscheint deshalb die Schaltpunktbildung nach dem Druck. Damit lässt sich eine wesentlich größere Differenz zwischen den einzelnen Punkten einstellen und somit auch eine sinnvolle Schaltpunkthysterese festlegen. Die mit dem Kalibrator festgestellten Druckschwankungen, die von den Sensoren angezeigt werden, liegen bei etwa 0,01 Bar. Damit ergeben sich beispielsweise bei einer Hysterese von 0,2 Bar keine unnötigen Schaltspiele der Aggregate durch Messwertschwankungen. Eine tatsächlich auftretende derartige Füllstandschwankung im Arbeitsbereich ist nicht zu erwarten, da bei einer Druckdifferenz von 0,2 Bar eine Volumendifferenz von etwa 10 Litern entstehen würde.

Tabelle 5.2: Tabelle Schaltpunktermittlung

r = 0,4m l = 1,25m V=628L $l \cdot (r^2 \cdot \arccos((r-h)/r) - (r-h) \cdot \sqrt{2r \cdot h - h^2})$						
h-Wasser/m	V-Wasser/L	Systemdruck/bar	Schaltpunkte	V-Luft/L	P-Luft/ bar	P-Wasser/ bar
0	0	0		628,319	0	0
0,05	16,350591	0,031816633		611,968	0,02672	0,005098581
0,1	45,331175	0,087953866	FS_min	582,987	0,07776	0,010197162
0,15	81,554865	0,164455006		546,764	0,14916	0,015295743
0,2	122,83697	0,263404118		505,482	0,24301	0,020394324
0,25	167,75305	0,389725694		460,565	0,36423	0,025492905
0,3	215,21092	0,551547572		413,108	0,52096	0,030591486
0,35	264,28978	0,76170355		364,029	0,72601	0,035690067
0,4	314,15927	1,040788649		314,159	1	0,040788649
0,45	364,02875	1,423272119		264,29	1,37738	0,04588723
0,5	413,10761	1,970533403		215,211	1,91955	0,050985811
0,51	422,75664	2,108596042		205,562	2,05659	0,052005527
0,52	432,33415	2,258987488		195,984	2,20596	0,053025243
0,53	441,83302	2,42330692		186,486	2,36926	0,054044959
0,54	451,24597	2,60343214		177,073	2,54837	0,055064676
0,55	460,56548	2,801581311		167,753	2,7455	0,056084392
0,56	469,78385	3,020391578		158,535	2,96329	0,057104108
0,57	478,89308	3,263020084		149,425	3,2049	0,058123824
0,58	487,8849	3,533275139	SP_3	140,434	3,47413	0,05914354
0,59	496,75072	3,835788374		131,568	3,77563	0,060163257
0,6	505,48156	4,176243458	SP_2	122,837	4,11506	0,061182973
0,61	514,06802	4,56168393	SP_1	114,251	4,49948	0,062202689
0,62	522,50022	5,000933522		105,818	4,93771	0,063222405
0,63	530,76774	5,505179263		97,5508	5,44094	0,064242121
0,64	538,85949	6,088794679	FS_max	89,459	6,02353	0,065261838

Die Auflösung der Füllstandhöhe entspricht nicht der Auflösung des Systems. Aus Platzgründen wurden die Füllstandstufen sehr grob eingeteilt.

Die Bildung der Schaltpunkte eins bis drei erfolgt nach dem Schema in Abbildung 5.21. Unterschreitet der Messwert des Druckes einen eingestellten Sollwert abzüglich einer Hysterese wird nach einer Verzögerung von einer Sekunde ein Flipflop gesetzt. Die Rücksetzung des Flipflops erfolgt im Normalfall dann, wenn der Messwert wieder gleich oder größer dem Sollwert ist. Das Rücksetzen kann aber auch bei SPS-Neustart, bei fehlender Anlauffreigabe, bei Ausfall aller Pumpen des gleichen Funktionsbereiches oder bei Messwertstörungen erfolgen. Die Auswahl, ob der Messwert des Luftdruckes oder der des Systemdruckes verwendet wird, ist bei dem geringen Behälterdurchmesser belanglos. In diesem Fall wird der gemessene Luftdruck als Analogsignal gewählt.

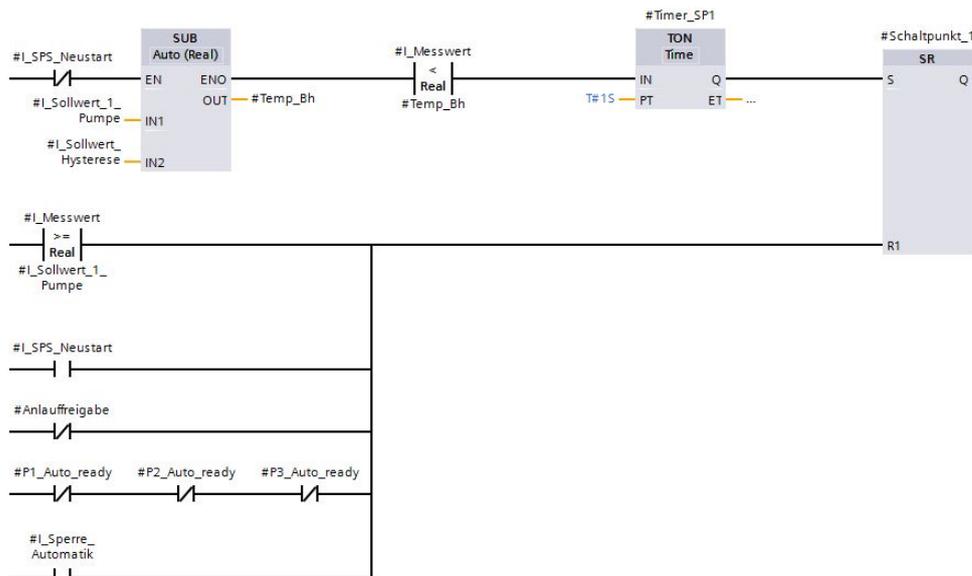


Abbildung 5.21: Darstellung Schaltpunktbildung

Ist das Flipflop für den ersten Schaltpunkt gesetzt, bedeutet das, dass eine Anforderung für eine Pumpe vorliegt. Im nächsten Schritt muss ausgewählt werden, welche der zur Verfügung stehenden Pumpen anlaufen muss.

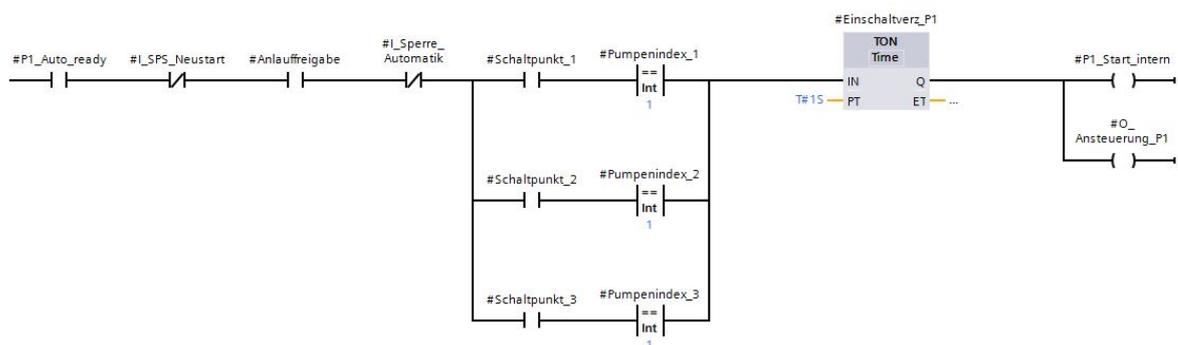


Abbildung 5.22: Darstellung Pumpenansteuerung

In Abbildung 5.22 ist zu sehen, wie die Auswahl der Pumpe eins erfolgt. Zunächst werden die Grundvoraussetzungen sichergestellt.

Dazu gehören folgende Punkte:

- Die Pumpe eins muss bereit sein, das heißt, die Pumpe befindet sich im Automatikmodus und es liegen keine Störungen des Aggregates vor.
- Es liegt kein SPS-Neustart vor.
- Die Anlauffreigabe wurde erteilt.
- Kein Messwert ist gestört.

Anschließend wird unterschieden, welche Priorität die Pumpe eins besitzt. So kann sie als erste, zweite oder dritte Pumpe angefordert werden, abhängig davon, welcher Pumpenindex den Wert eins trägt. Die Pumpe eins schaltet also als erste Pumpe zu, wenn Schaltpunkt eins angefordert wird und der Pumpenindex eins auch den Wert eins besitzt. Der Startbefehl wird wieder mit einer Verzögerung ausgelöst.

Für die anderen Pumpen ist das Steuerungsprogramm identisch aufgebaut, die Abfragen der Grundvoraussetzungen erfolgen dann für Pumpe zwei oder Pumpe drei. Ebenso erfolgt dann die Prüfung der Pumpenindizes auf den Wert zwei beziehungsweise drei.

Um zu vermeiden, dass alle Aggregate nach einem Netzausfall gleichzeitig anlaufen, wird eine Anlaufverzögerung nach einem Netzausfall programmiert. Dabei erhält jeder Funktionsbereich eine andere Verzögerungszeit, so dass alle Pumpen nacheinander wieder zuschalten. Die Umsetzung im Programm erfolgt nach der Darstellung in Abbildung 5.23.

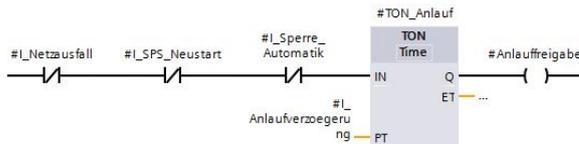


Abbildung 5.23: Darstellung Anlaufverzögerung

5.2.6 Sonderprogramm Gruppenbetrieb

Sind die beiden Druckbehälter aus Funktionsbereich zwei und drei miteinander verbunden, arbeiten die sechs Druckpumpen parallel. Die einzelnen Schaltpunkte der Druckbehälter würden nahezu zur gleichen Zeit erreicht werden. Damit laufen immer zwei Druckpumpen zur gleichen Zeit an. Bei geringer Wasserabnahme bedeutet das für die jeweiligen zuerst angesteuerten Pumpen eine hohe Anzahl von Schaltspielen. Die Pumpen würden gemeinsam permanent ein- und ausschalten.

Um das zu vermeiden, besteht die Möglichkeit, die Druckbehälter als Gruppe gemeinsam zu betreiben. Dabei werden die Schaltpunkte beider Behälter so verschoben, dass die oberen Schaltpunkte nicht mehr parallel liegen. Die unteren Schaltpunkte können dann sehr eng beieinander liegen, da bei Erreichen dieser Punkte davon auszugehen ist, dass eine hohe Wasserabnahme erfolgt.

Um einen sicheren Gruppenbetrieb zu realisieren, muss jeder Druckbehälter auf Verfügbarkeit geprüft werden.

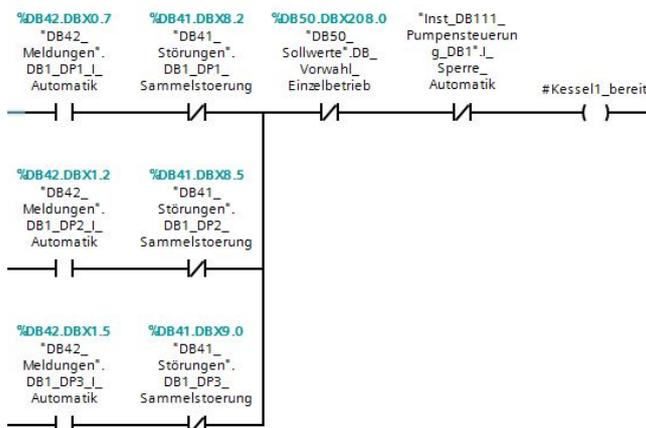


Abbildung 5.24: Darstellung Gruppenbereitschaft

Dabei gelten nach Abbildung 5.24 folgende Punkte als Freigabekriterien:

- Mindestens eine Druckpumpe muss im Automatikmodus und ungestört sein.
- Der Bediener muss den Gruppenbetrieb aktiviert haben.
- Es dürfen keine Messwertstörungen vorliegen.

Sind beide Funktionsbereiche bereit für den Gruppenbetrieb, muss natürlich auch in diesem Modus ein Wechsel der Prioritäten der Kessel erfolgen. Damit wird wieder eine symmetrische Belastung realisiert. Dazu wird der Wert eines Behälterindexes zyklisch geändert. Behälterindex null bedeutet Einzelbetrieb, Behälterindex eins bedeutet Behälter eins hat die Priorität, bei Wert zwei hat der zweite Behälter die Priorität. Die Abbildung 5.25 zeigt, wann der Behälterindex geändert wird.

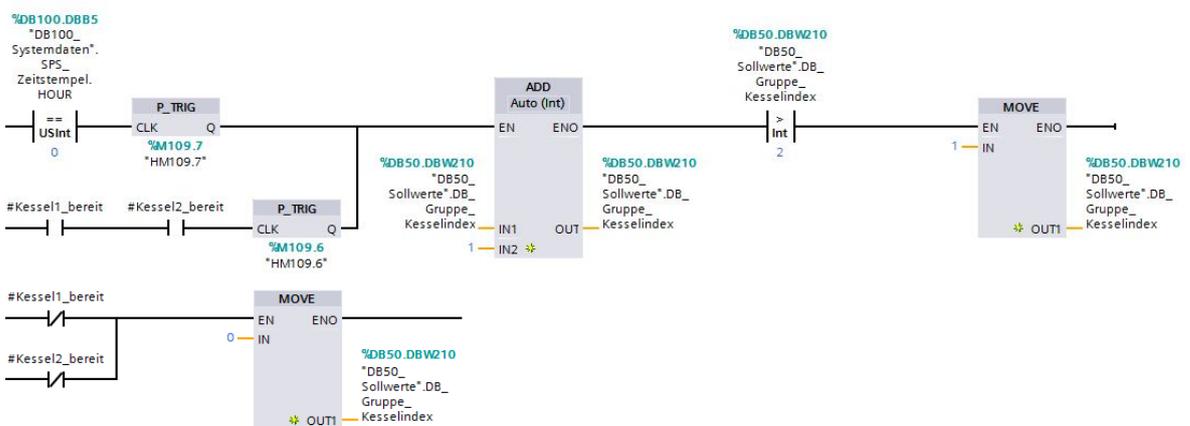


Abbildung 5.25: Darstellung Gruppenwechsel

Ist der Gruppenbetrieb aktiv, erfolgt die neue Schaltpunktverteilung. Dabei werden auf den Behälter mit der Priorität die ungeraden Schaltpunkte verteilt. Der andere Druckbehälter erhält die geraden Schaltpunkte. Die Sollwerte für Gruppenbetrieb müssen separat vom Bediener eingegeben werden. Dabei werden die Sollwerte für Einzelbetrieb nicht geändert.

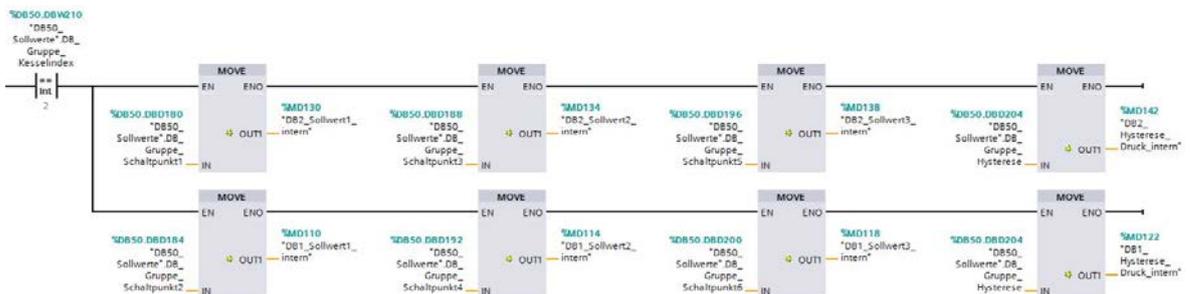


Abbildung 5.26: Darstellung Schaltpunktvergabe Gruppenbetrieb

In Abbildung 5.26 wird die Schaltpunktvergabe bei aktivem Gruppenbetrieb dargestellt. Dabei trägt der zweite Druckbehälter die Priorität und erhält somit die Schaltpunkte eins, drei und fünf. Zusätzlich wird auch noch eine andere Hysterese geladen, da diese ja von den gewählten Schaltpunktabständen abhängig sein muss.

Ist kein Gruppenbetrieb gewählt, werden die Schaltpunkte nach Abbildung 5.27 verteilt.

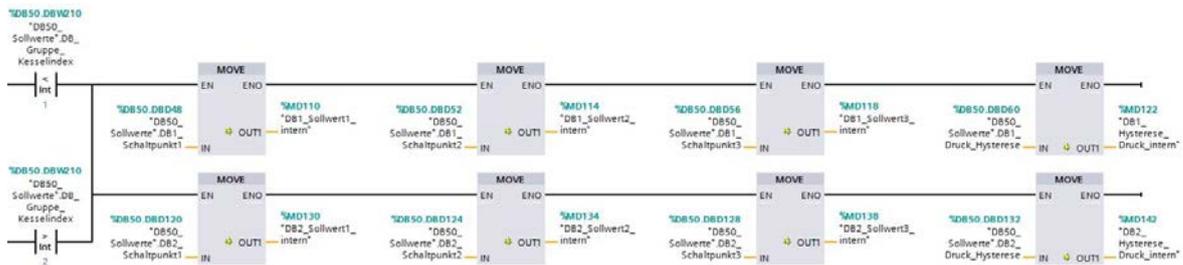


Abbildung 5.27: Darstellung Schaltpunktvergabe Einzelbetrieb

Die Funktion des Gruppenbetriebes ist ein völlig separater Programmbaustein. Bei der Erstellung wurde der Funktionsbaustein für die Pumpensteuerung nicht geändert. Es muss lediglich beim Aufruf darauf geachtet werden, dass an die Sollwertgänge des Funktionsbausteins die intern gebildeten Sollwerte angebunden werden.

5.2.7 Füllstands- und Volumenberechnung

Wie bereits beschrieben, kann durch Differenzbildung des gemessenen Luftdrucks vom Systemdruck der Füllstand in den Druckbehältern ermittelt werden.

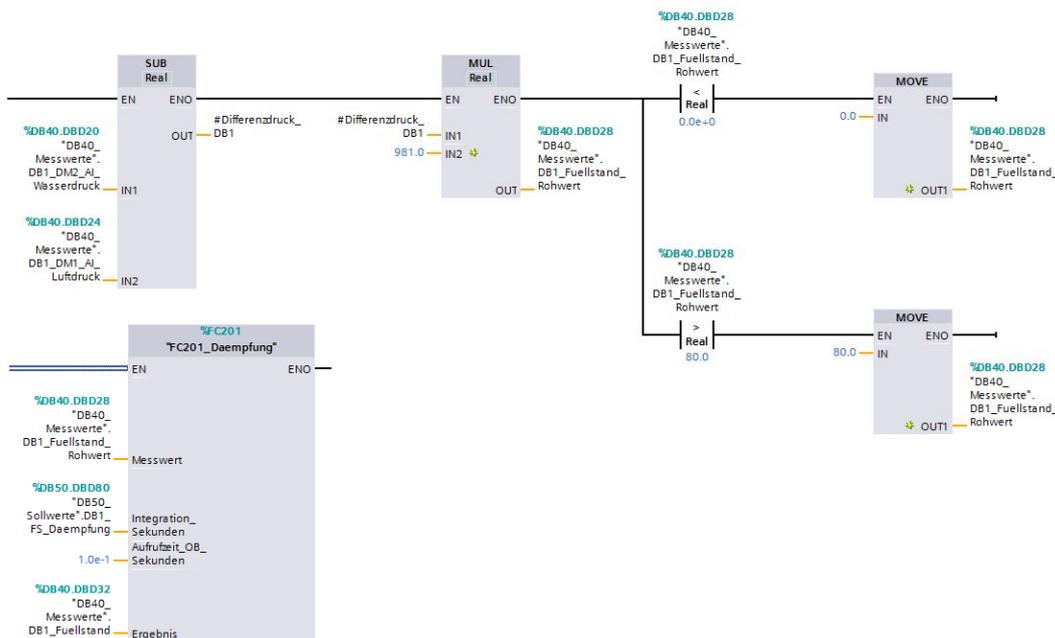


Abbildung 5.28: Darstellung Füllstandberechnung

Die Abbildung 5.28 zeigt die Berechnung des Füllstandes in Zentimetern. Da ein Druck von einem Bar etwa 9,81 mWs entspricht, muss zur Messwertangabe in Zentimetern der Differenzdruck mit dem Wert 981 multipliziert werden. Dieser Wert ergibt sich aus der Konstanten für die Fallbeschleunigung und dem Faktor 100. Der minimale und maximale Wert werden nach den Behältermaßen begrenzt. Anschließend wird der Rohwert des Füllstandes gedämpft. Somit steht dem Programm ein „beruhigter“ Messwert zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Mittels der Formel für liegende Zylinder (Gl. 3.2) kann aus dem Füllstand das Volumen berechnet werden.

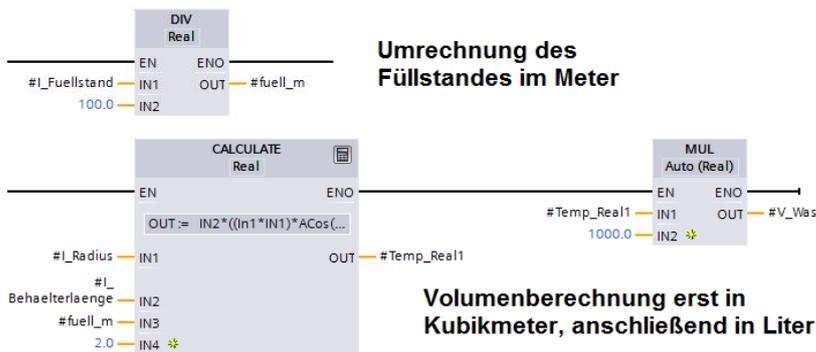


Abbildung 5.29: Darstellung Volumenberechnung

In dem in Abbildung 5.29 gezeigten Calculate-Baustein ist die Gleichung zur Volumenberechnung integriert. Die CPU ist mit dieser Funktion in der Lage, auch die Arcuscosinus- Funktion zu verarbeiten. Somit kann nicht nur der Füllstand angezeigt, sondern auch das Wasservolumen und daraus auch das Luftvolumen im Druckbehälter angegeben werden.

5.2.8 Magnetventilsteuerung

Druckluftregelung nach Boyle-Mariotte-Konstante

Auf Grund von baulich bedingten Undichtigkeiten entweicht aus den Druckbehältern Luft. Damit schaltet die Anlage regelmäßig ab, wenn der maximale Füllstand der Druckbehälter erreicht ist. Das richtige Verhältnis von Wasser und Luft bezogen auf den Systemdruck soll mit der Konstanten nach Boyle-Mariotte (Gl. 3.3) überwacht werden. Dazu berechnet das Programm die Konstante nach Abbildung 5.30.

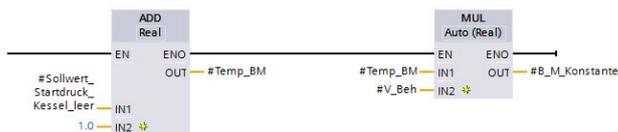


Abbildung 5.30: Darstellung Konstantenberechnung nach Boyle-Mariotte

Die Voraussetzung dafür ist, dass im leeren Druckbehälter der Umgebungsluftdruck herrscht. Im allgemeinen Fall also ein Bar. Zu beachten ist aber, dass die Balluff-Sensoren nur Druckdifferenzen anzeigen. Aus diesem Grund muss der normale Luftdruck zur Druckdifferenz addiert werden. Das Luftvolumen im Druckbehälter ist bekannt. Damit kann nach Abbildung 5.31 der Luftdruck berechnet werden, der theoretisch im Druckbehälter herrschen muss. Zu beachten dabei ist, dass beim Vergleich mit dem Messwert der Umgebungsdruck abgezogen werden muss.

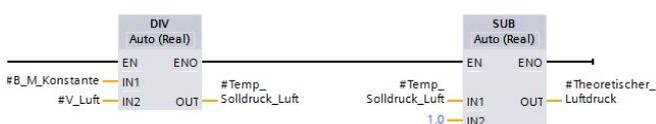


Abbildung 5.31: Darstellung Berechnung theoretischer Luftdruck

Damit ist ein Referenzwert gegeben, durch den erkannt werden kann, ob sich in dem Druckbehälter zu viel oder zu wenig Druckluft befindet.

Der Messwert wird durch Signalschwankungen und die ungenaue Volumenberechnung dem theoretischen Wert kaum entsprechen. Aus diesem Grund muss ein Fenster parametriert werden, im dem der Luftdruck bezogen auf das berechnete Volumen vom Idealwert abweichen kann, bevor eine Fehlermeldung generiert wird und die Druckluftregelung eingreift.

Auf Grund des geänderten Anlagenaufbaus kann automatisch aus dem System keine Druckluft abgelassen werden. Deshalb ist für die Regelung des Magnetventiles nur der Fall interessant, wenn sich im Druckbehälter zu wenig Luft befindet. Dabei findet ein Soll-Ist-Vergleich nach Abbildung 5.32 statt, mit dem bei Unterschreitung der Toleranz der Schalterpunkt für das Ventil aktiviert wird. Der Schalterpunkt setzt das Flipflop für den Arbeitsbereich. Die Deaktivierung des Arbeitsbereiches erfolgt bei folgenden Systemzuständen:

- Der theoretische Druck wird erreicht oder überschritten.
- Der minimale Füllstand des Behälters ist erreicht.
- Das Ventil besitzt keine Automatikfreigabe.
- Der Kompressor besitzt keine Automatikfreigabe.
- Es werden Messwertfehler der Sensoren registriert.

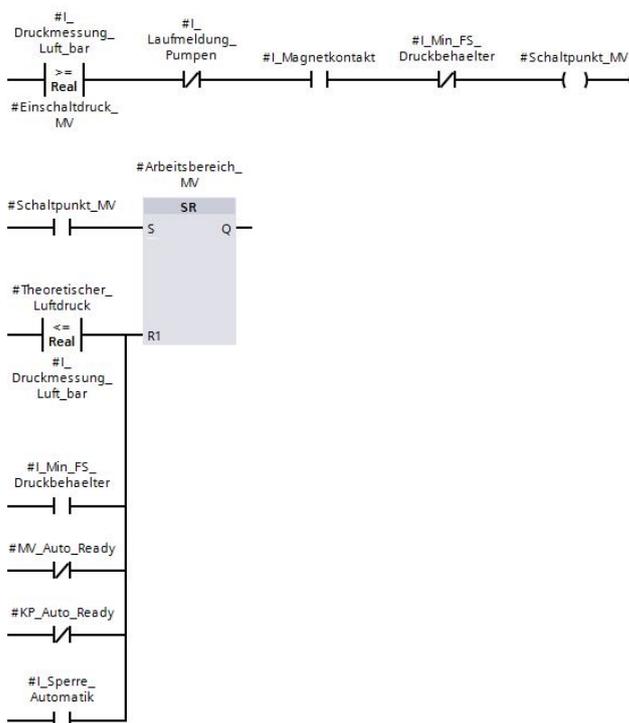


Abbildung 5.32: Darstellung Schaltpunktermittlung und Arbeitsbereich

Befindet sich zu viel Luft im Kessel, muss eine Fehlermeldung generiert werden. Bei der Ansteuerung des Magnetventiles muss beachtet werden, dass der Kompressor eine gewisse Zeit benötigt, bis der Druckluftspeicher gefüllt ist.

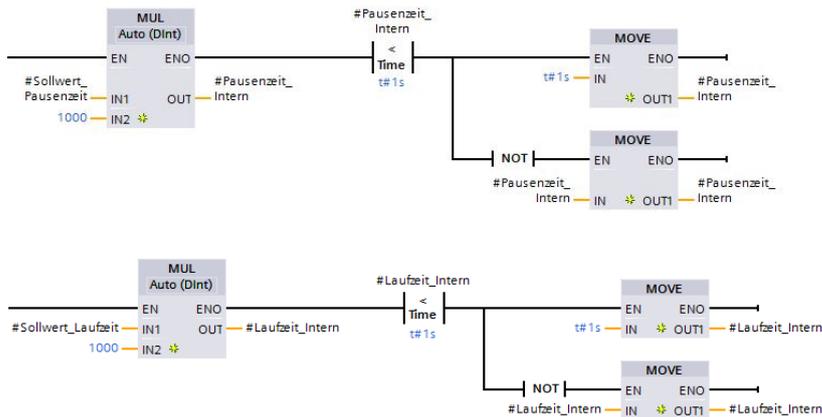


Abbildung 5.33: Darstellung Plausibilität Ventiltaktung

Aus diesem Grund muss eine Taktung des Magnetventiles erfolgen. Die Lauf- und Pausenzeiten des Ventils werden variabel gestaltet.

Um die Trägheit des Ventils zu überwinden, sollten die Zeiten für Ansteuerung und Pause mindestens eine Sekunde betragen. Daher wird diese Zeit nach Abbildung 5.33 automatisch gesetzt, wenn die Eingabewerte kleiner gewählt werden.

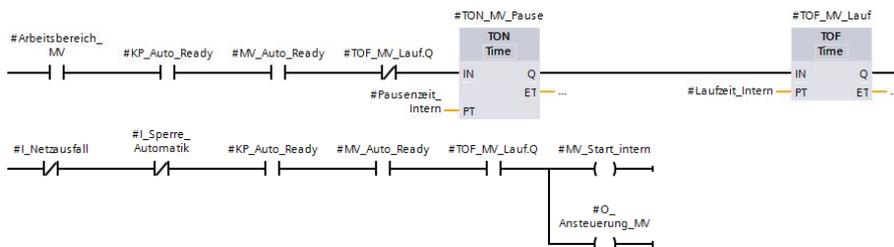


Abbildung 5.34: Darstellung Intervallsteuerung und Start Magnetventil

In Abbildung 5.34 wird ersichtlich, dass die Pausenzeit als Anlaufverzögerung und die Laufzeit als Abschaltverzögerung arbeiten. Dadurch ergibt sich eine Intervallsteuerung des Magnetventils.

Die Abbildung 5.35 erläutert die Bildung des Toleranzfensters bei Luftdruckabweichung vom theoretischen Druckwert.

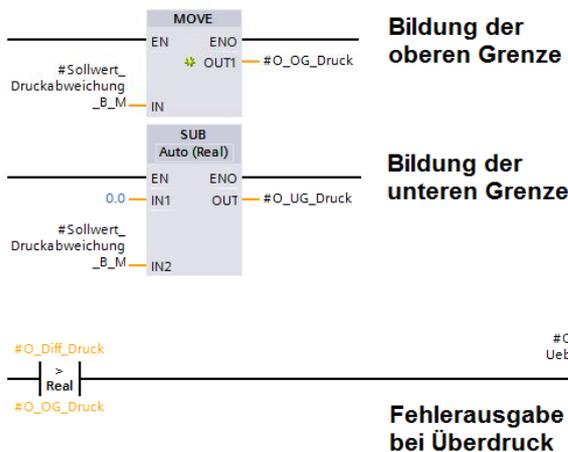


Abbildung 5.35: Darstellung Fensterbildung Druckabweichung

Die Fehlerausgabe des Programmes ist nicht korrekt programmiert. Beim Übersetzen wird eine Warnung ausgegeben. Der Grund dafür ist, dass Ausgänge eines Netzwerkes nicht als Eingänge eines anderen Netzwerkes im selben Baustein verwendet werden sollen. Das wurde aber an der Stelle getan. Deshalb sind die Eingänge des zuletzt gezeigten Netzwerkes orange dargestellt. Um diese Warnungen zu vermeiden, werden für mehrmals benötigte Signale temporäre Variablen gebildet.

Druckluftregelung mit induktivem Näherungsschalter

Auf Grund der starken Füllstandschwankungen von bis zu drei Zentimetern, ist die Überwachung des Luftpolsters nach der Boyle-Mariottischen Konstante nicht fehlerfrei möglich. Damit während des Betriebes keine sporadischen Störungen eintreten, muss die Toleranzschwelle sehr hoch eingestellt werden. Aus dem Grund ist mit dieser Methode keine sichere Funktion der Regelung gegeben und die Programmentwicklung wird an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

Alternativ soll eine optische Überwachung des Füllstandes am Schauglas erfolgen. Daraus ergeben sich aber zusätzlich zwei neue Digitaleingänge, welche für die induktiven Sensoren benötigt werden. Der Tabelle 3.2 ist zu entnehmen, dass der gewählte Hardwareausbau diese Eingänge zur Verfügung stellt.

Bei der Regelung des Magnetventils muss differenziert werden, in welchem Betriebsmodus die Anlage momentan gefahren wird. Der Einschaltdruck des Magnetventils soll immer dem ersten Schaltpunkt des Behälters entsprechen. Die Schaltpunkte variieren aber zwischen Einzelbetrieb und Gruppenbetrieb. In Abbildung 5.36 ist zu erkennen, dass im Einzelbetrieb der erste Schaltpunkt jedes Druckbehälters ausgewertet wird und im Gruppenbetrieb der erste Schaltpunkt der Gruppe den Parameter liefert.

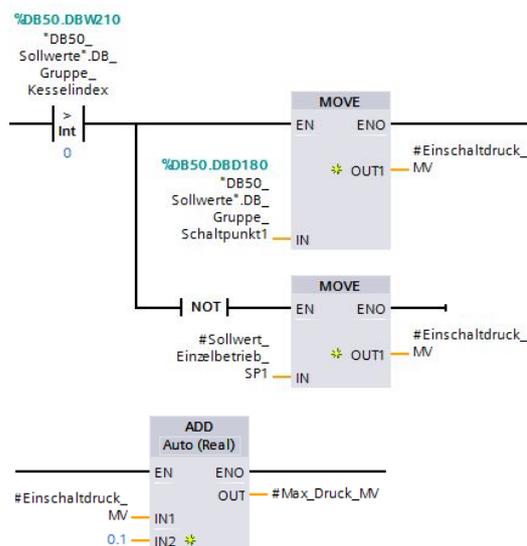


Abbildung 5.36: Darstellung Schaltdruckgenerierung Magnetventil

Weiterhin zeigt die Abbildung 5.36 die Generierung des Maximaldruckes. Wird dieser im System durch Druckluftzufuhr erreicht, schaltet das Magnetventil ab. Die Druckbildung erfolgt, indem konstant 0,1 Bar auf den Einschaltdruck addiert wird. Damit bleibt das Programm auch bei Erhöhung des Systemdruckes einsatzbereit. Die Freigabe des Ventilschaltpunktes erfolgt nach Abbildung 5.37.

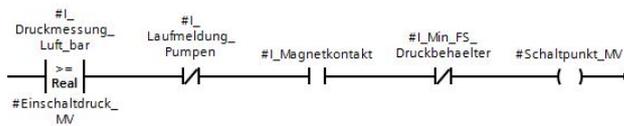


Abbildung 5.37: Darstellung Schaltpunktgenerierung Magnetventil

Der Schaltpunkt wird gesetzt, wenn keine Druckpumpe läuft, der Einschaltdruck erreicht ist und der Magnetkontakt ausgelöst hat. Zur Sicherheit wird noch der minimale Füllstand als negierte Freigabebedingung eingebaut. Die Schaltpunktfreigabe nach Abbildung 5.37 setzt den Arbeitsbereich des Magnetventils.

Die Rücksetzung des Arbeitsbereiches wird bei folgenden Systemzuständen ausgelöst:

- Der Luftdruck unterschreitet den Einschaltdruck des Magnetventils.
- Der Luftdruck erreicht den Maximaldruck.
- Der induktive Schaltkontakt ist nicht aktiviert.
- Eine Druckpumpe wird gestartet.
- Der minimale Füllstand im Behälter des Behälters wird erreicht.
- Die Automatikfreigabe des Magnetventils fehlt.
- Die Automatikfreigabe des Kompressors fehlt.
- Ein Messwert ist gestört.

Zur Überwachung der Verbesserung des Druckluftzustandes im Behälter wird ein zusätzlicher Schaltspielzähler für das Magnetventil programmiert. Kann der Druckluftverlust in zehn Schaltzyklen nicht ausgeglichen werden, generiert das Programm eine Fehlermeldung, die nach Abbildung 5.38 nur durch die Betätigung des Automatikschalters des Magnetventils zurückgesetzt werden kann. Der Zähler setzt sich sowohl mit dem Automatikschalter, als auch mit dem Erreichen des Einschaltdruckes des Magnetventils ohne Betätigung des Magnetkontaktes auf den Wert null zurück.

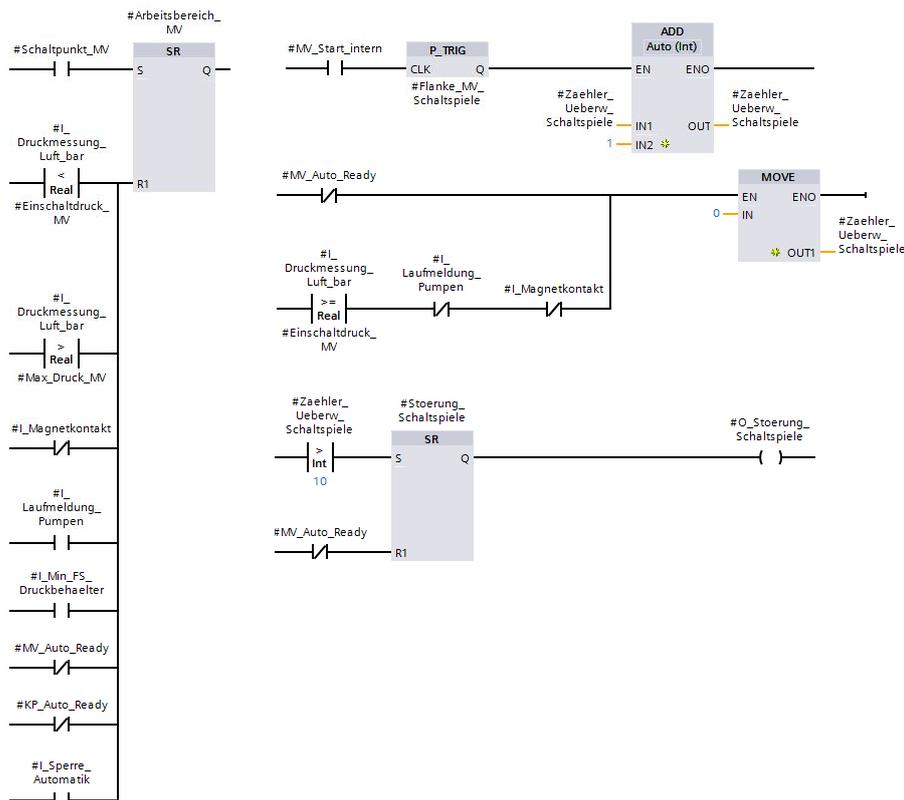


Abbildung 5.38: Darstellung Arbeitsbereich und Impulsüberwachung Magnetventil

Die Programmteile der Ventilintervallsteuerung und des Ventilstarts bleiben nach Abbildung 5.33 und Abbildung 5.34 bestehen. Das Magnetventil wird mit einstellbaren Lauf- und Pausenzeiten getaktet.

5.2.9 Nachtbetrieb

Viele Kleingärtner haben sich nach 1990 Swimmingpoolanlagen in ihren Gartenparzellen aufgebaut. Diese müssen aber angemeldet werden und dürfen laut Kleingartenverordnung eine bestimmte Größe nicht übersteigen. Nicht alle Pächter haben sich an diese Regeln gehalten und befüllen die Pools vorwiegend über Nacht mit Brauchwasser. Die Folge daraus ist, dass die Druckerhöhungsstation auch nachts stark beansprucht wird und entsprechend Energie benötigt. Die Kosten dafür müssen alle Pächter tragen. Um das zu vermeiden, kam nachträglich die Anfrage, ob eine Abschaltung der Pumpen über Nacht möglich wäre.

Eine komplette Abschaltung der Anlage erscheint nicht sinnvoll. Die Druckbehälter würden bei Wasserabnahme geleert werden und jeder Einschaltvorgang am Morgen käme einer Inbetriebnahme gleich. Zudem gäbe es auch Einschränkungen für die Pächter, die zeitweise in der Gartenanlage übernachten. Bei Abschaltung der Druckerhöhung wäre auch die Versorgung der Toiletten nicht mehr sichergestellt. Geeignet erscheint die Variante einer Druckabsenkung und Reduzierung der Anzahl der steuerbaren Druckpumpen. Dabei soll das Zeitfenster des Nachtbetriebes für den Bediener variabel einstellbar sein. Der dazu benötigte Programmabschnitt wird in die Funktion „Gruppenbetrieb“ integriert. In dieser Funktion findet die Sollwertzuweisung der Schaltpunkte statt, die um die Option Nachtbetrieb erweitert wird.

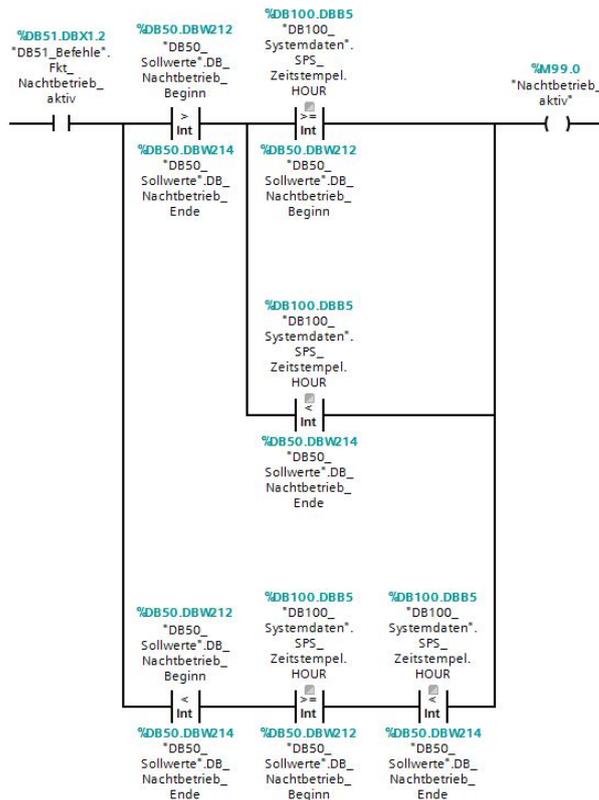


Abbildung 5.39: Darstellung Aktivierung Nachtbetrieb

Die Abbildung 5.39 zeigt den Parameter des Nachtbetriebes und die Abfragen des Zeitfensters der gewünschten Aktivierung. Dabei ist zu beachten, dass die Funktion vor dem Tageswechsel oder erst danach eingestellt werden kann. Danach müssen die Abfragekriterien unterschiedlich ausgelegt werden.

Variante 1:

- Beginn-Zeit ist größer als Ende-Zeit.
- Nachtbetrieb wird aktiviert, wenn die tatsächliche Uhrzeit größer oder gleich der Beginn-Zeit ist.
- Die tatsächliche Uhrzeit ist kleiner als die Ende-Zeit.

Variante 2:

- Die Beginn-Zeit ist kleiner als die Ende-Zeit.
- Die tatsächliche Uhrzeit ist größer oder gleich der Beginn-Zeit.
- Die tatsächliche Uhrzeit ist kleiner als die Ende-Zeit.

Die Eingabe der Zeiten erfolgt nur in vollen Stunden. Anschließend muss die Auswahl des Schaltpunktes erfolgen. Dabei wird zwischen Gruppen- und Einzelbetrieb unterschieden. In Abbildung 5.40 sind die Schaltpunktzuweisungen zu erkennen. Im Nachtbetrieb werden jeweils nur die ersten Schaltpunkte mit Werten geladen. Alle weiteren Schaltpunkte werden konstant auf null Bar gesetzt. Im Gruppenbetrieb wird der erste Schaltpunkt des sekundären Druckbehälters aus der Differenz der Hysterese vom Schaltpunkt des primären Druckbehälters gebildet.

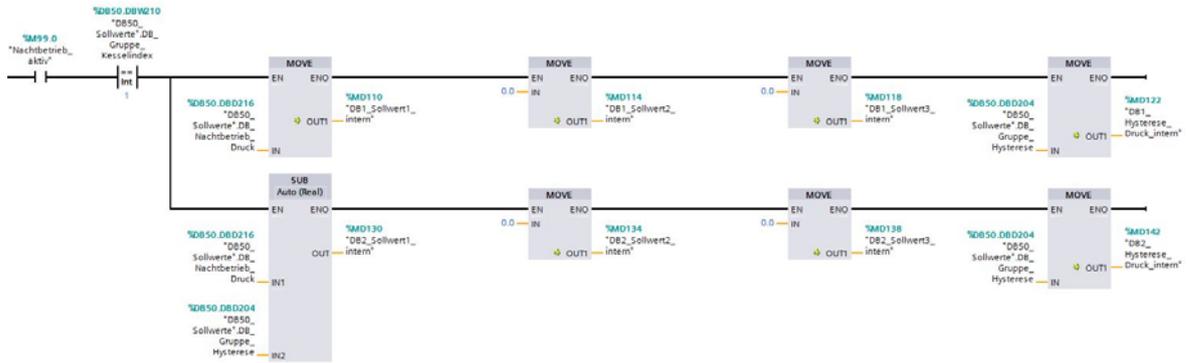
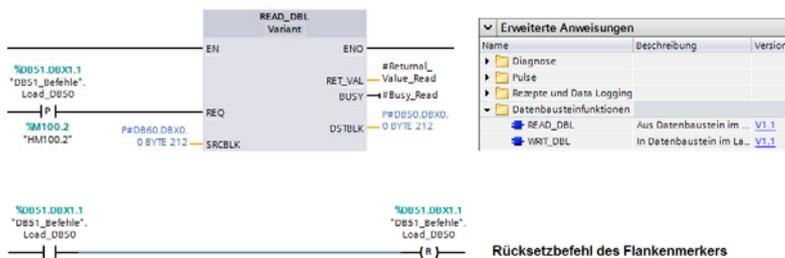


Abbildung 5.40: Darstellung Schaltpunktbelegung Nachtbetrieb

5.2.10 Lade- und Speicherfunktion

Die verbaute SPS besitzt einen Steckplatz für eine Speicherkarte. Auf diesem externen Speicher wird zusätzlich das Programm gespeichert. Um zu vermeiden, dass bei einem Steuerungsausfall auch alle eingestellten Parameter gelöscht sind, muss die Möglichkeit der Datensicherung geschaffen werden. Das TIA-Portal bietet zum Austausch von Datenbausteinen zwei Datenbausteinfunktionen. Mit dem READ_DBL-Baustein können Daten unzyklisch aus dem Ladespeicher, also der Speicherkarte, kopiert werden. Der WRIT_DBL-Baustein kopiert Daten in den Ladespeicher. Diese Prozesse benötigen mehrere Aufrufe und eignen sich daher nicht zur zyklischen Anwendung. In Abbildung 5.41 wird die Programmstruktur zum Laden gezeigt. Wird der Ladebefehl gesetzt, spricht der positive Flankenmerker an und aktiviert somit den Prozess.



Anschlussbeschreibung READ_DBL aus Systemhilfe

Parameter	Deklaration	Datentyp	Speicherbereich	Beschreibung
REQ	Input	BOOL	E, A, M, D, L oder Konstante	REQ = 1: Anforderung zum Lesen
SRCBLK	Input	VARIANT	D	Zeiger auf den Datenbaustein im Ladespeicher, aus dem gelesen wird
RET_VAL	Return	INT	E, A, M, D, L	Fehlerinformation
BUSY	Output	BOOL	E, A, M, D, L	BUSY = 1: Der Lesevorgang ist noch nicht beendet
DSTBLK	Output	VARIANT	D	Zeiger auf den Datenbaustein im Arbeitsspeicher, in den geschrieben werden soll

Abbildung 5.41: Darstellung Datensicherung

Die Anschlussbedeutungen des Bausteins wurden der Systemhilfe des Programms entnommen. Die Größe des zu kopierenden Datensatzes wurde an Hand des Datenbausteines 50 ermittelt. Bei eventuellen Programmiererweiterungen muss darauf geachtet werden, den Speicherbereich eventuell anzupassen. Nach Abschluss des Vorganges muss der Flankenmerker zurückgesetzt werden.

5.2.11 Uhrzeit der SPS

Die Uhrzeit des Systems wird im Display angezeigt und ist für die richtige Funktion der Nachtschaltung erforderlich. Das Auslesen der aktuell in der CPU gespeicherten Zeit erfolgt über einen vom Programm zur Verfügung gestellten Baustein. Dieses Element namens „Read Local Time“ ist unter den Uhrzeitfunktionen zu finden. Die Zeit wird in einem Systemdatenbaustein hinterlegt. Umgekehrt wird eine neue Systemzeit mit dem Baustein „Write Local Time“ in das System geladen.

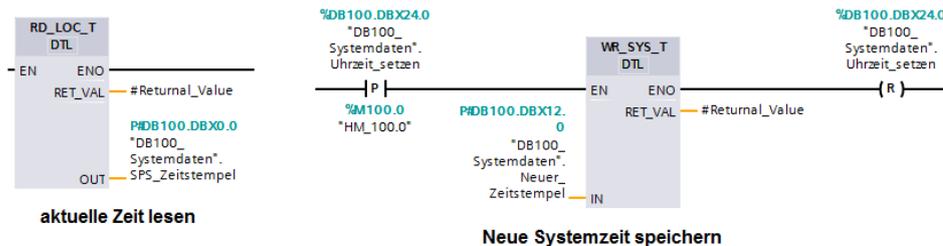


Abbildung 5.42: Darstellung SPS-Uhrzeit lesen und speichern

Die neue Uhrzeit wird in die SPS geladen, wenn der Flankenmerker gesetzt ist. Dieser wird durch Betätigen der Speichertaste aus Abbildung 5.72 aktiviert und nach der Speicherung zurückgesetzt. Der Uhrzeitdatensatz stammt dabei aus den Systemdaten des DB 100. Der Zugriff auf den Datenbaustein erfolgt über das Eingabefeld der Systemdaten am Panel. In Abschnitt 5.3.10 „Animation der Systemfunktionen“ folgt die Beschreibung der zugehörigen Panelanimation.

5.3 Visualisierung

Die Visualisierung des Systems ist neben der korrekten Funktion der wichtigste Punkt eines Automatisierungsprojektes dieser Art. Die Gestaltung der Bedienoberfläche und die sinnvolle Aufteilung und Darstellung der Funktionen und Optionen des Systems, sind für die Kundenzufriedenheit von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund ist der Abschnitt Visualisierung sehr anspruchsvoll. Das System muss einfach und eindeutig bedienbar sein und auf einem kleinen Panel übersichtlich dargestellt werden.

Alle im Panel gespeicherten Systembilder, die dem Bediener im Display angezeigt werden können, sind im Anhang unter dem Gliederungspunkt „D: Systembilder“ zusammengefasst. Ziel der Navigation ist, dass der Bediener in wenigen Schritten und ohne komplizierte Untermenüs den gewünschten Funktionsbereich der Anlage auf der Bedienoberfläche erreicht.

Da alle Panelbilder den gleichen Grundaufbau besitzen sollen, wird im TIA-Portal eine Bildvorlage nach Abbildung 5.43 erstellt. Bei jedem neuen Anlagebild kann diese Vorlage geladen und entsprechend weiter gestaltet werden. Das Vorlagebild enthält oben links den Firmennamen EAT und rechts werden Datum und Uhrzeit angezeigt. Zwischen den beiden Feldern wird der Name des jeweiligen Bildes eingetragen.

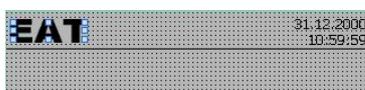


Abbildung 5.43: Darstellung Bildvorlage

Mit der einmaligen Erstellung der Vorlage lassen sich die unterschiedlichen Panelbilder schneller erstellen. Der obere Teil jedes Panelfensters besitzt dadurch immer sowohl die gleiche Größe als auch die gleiche Position auf dem Display. Die Verwendung der Bildvorlage lässt sich in den allgemeinen Grundeinstellungen jedes Bildes unter dem Punkt „Vorlage“ wählen. Unter dem Punkt 5.1 „Einrichtung der Applikation“ wurde die Erstellung des HMI im Programm beschrieben. Dabei besteht die Möglichkeit, eine Bildvorlage zu wählen. Diese dient als Grundlage für die in diesem Programm verwendete Bildvorlage.

5.3.1 Belegung der Softkeytasten

Das verwendete Panel bietet dem Bediener an der Unterseite sechs Schnellwahltasten. Mit diesen Tasten sollen die wichtigsten Grundfunktionen des Systems erreichbar sein. Folgende Tastenaufteilung wird gewählt:

- Taste F1: Anlagenübersicht
- Taste F2: Wasserspeicher
- Taste F3: Druckbehälter 1
- Taste F4: Druckbehälter 2
- Taste F5: Login
- Taste F6: Störungen

Mit dieser Tastenbelegung sind alle Funktionsbereiche direkt erreichbar. Über die Taste F5 können sich autorisierte Personen durch Pin-Eingabe anmelden, um Einstellungen zu ändern. Mit der Betätigung der Taste F6 werden alle aktiven Störungen der Anlage angezeigt und die Taste F1 führt aus allen Unterfenstern zurück zur Hauptansicht der Anlage. Wie in Abbildung 5.44 ersichtlich, werden die Tastenfunktionen in der Einstellung des globalen Bildes hinterlegt.

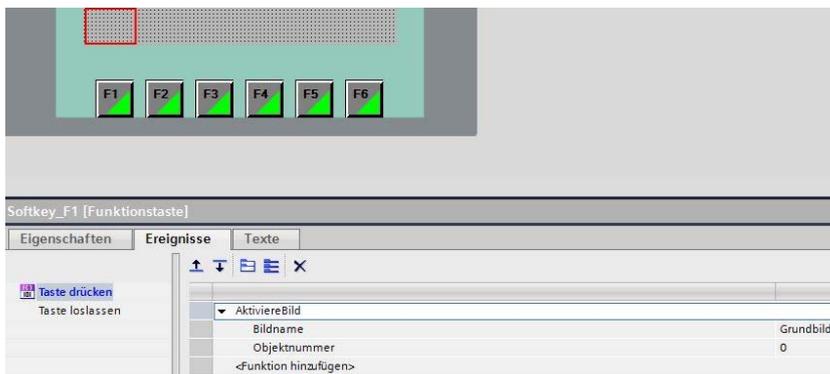


Abbildung 5.44: Darstellung Funktionsbelegung Softkeytasten

5.3.2 Animation der Behälter

Alle drei Funktionsbereiche der Druckerhöhungsstation bestehen unter anderem aus Speicherbehältern. Aus diesem Grund muss eine geeignete Darstellung der Speicher gefunden werden, die möglichst für alle Bereiche verwendbar ist. Das TIA-Portal bietet unter der Grafikoption verschiedene Auswahlmöglichkeiten von Tanks. Die im Projekt verwendeten Speicherbilder stammen aber aus dem Internet und wurden in das Programm geladen.



Abbildung 5.45: Darstellung Speicherbehälter [DBG001]

Nachdem der Speicher in das Anzeigefeld des Panels gebracht wurde, sind, wie in Abbildung 5.45 rechts zu erkennen, ein E/A-Feld, ein Balkendiagramm und ein Textfeld über das Bild gelegt worden. Durch Gruppieren der Darstellungen verschiedener Animationen kann das Bild anschließend als gesamtes Objekt verschoben und kopiert werden. Die Anzeigen müssen zur Animation mit den entsprechenden Signalen aus den Datenbausteinen der CPU verknüpft werden. In Abbildung 5.46 ist zu sehen, dass alle verwendeten Variablen im HMI eingetragen sein müssen, damit man in den Anzeigeelementen darauf zugreifen kann.

HMI-Variablen	Instanz	Datentyp
Alle Variablen anzeigen	Inst_FB114_Magnetventil_DB1...	Standard-Variablen-tabelle
Neue Variablen-tabelle hinzufügen	Inst_FB114_Magnetventil_DB1...	Bool
Standard-Variablen-tabelle [181]	Inst_FB115_Magnetventil_DB2...	Standard-Variablen-tabelle
Variablen-tabelle_1 [0]	Inst_FB115_Magnetventil_DB2...	Bool
	SPS_Uhrzeit	Standard-Variablen-tabelle
		DTL

Abbildung 5.46: Darstellung HMI-Variablen

Der in Abbildung 5.45 verwendete Füllstandbalken muss definiert werden, damit eine füllstandabhängige Darstellung erfolgt. Dazu werden nach Abbildung 5.47 die Anzeigegrenzen festgelegt und der Datenbereich aus den HMI-Variablen angetragen.

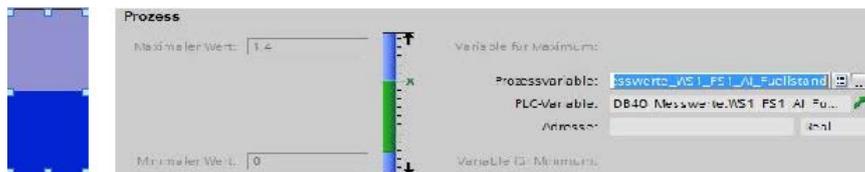


Abbildung 5.47: Darstellung Balkendefinition

In den Auswahloptionen wurde die Skalierung deaktiviert und stattdessen ein weiteres Anzeigefeld in die Behälterdarstellung integriert. Dadurch wird erreicht, dass der Anlagenbediener in diesem Beispiel den genauen Füllstand in Meter ablesen kann und einen Überblick erhält, wie voll der Speicher ist. Die Einheit ist in der Gestaltung des E/A-Feldes wählbar. Zudem muss auch allgemein eingestellt werden, dass es sich in diesem Fall nur um eine Anzeige handelt. Dazu wird der Modus auf „Ausgabe“ gesetzt.



Abbildung 5.48: Darstellung Anzeigengestaltung

Der Hintergrund des Anzeigefeldes kann, wie die Abbildung 5.48 zeigt, variabel gestaltet werden. Mit der Zustandsabfrage einer weiteren Variable wird das Fenster weiß oder rot angezeigt. Es findet eine Wertabfrage auf Zustand null oder eins statt. Das Textfeld kennzeichnet den Funktionsbereich der Anlage und besitzt keine weiteren Animationen. Damit nicht jeder Systemparameter vor der Verwendung erst in die Variablen-tabelle des HMI geschoben werden muss, kann nach Abbildung 5.49 bei der Auswahl der Prozessvariablen auch auf die Datenbereiche der CPU zugegriffen werden. Im Programm ist darauf zu achten, dass sich bei jedem neuen Aufruf der Variablenauswahl immer erst die HMI-Variablen öffnen. Die CPU-Variablen müssen immer neu angewählt werden.

Beim Kopieren der kompletten Behälterdarstellung werden auch die Prozessvariablen mit kopiert. Für die nächste Verwendung muss eine entsprechende Anpassung an den Funktionsbereich erfolgen.

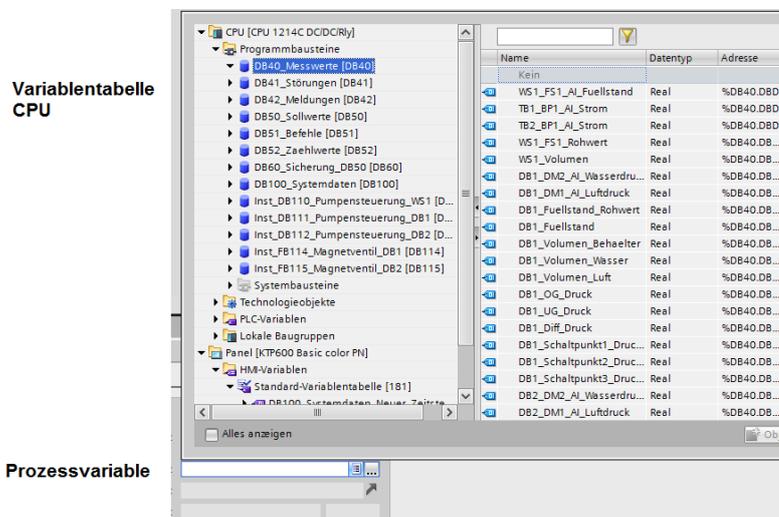


Abbildung 5.49: Darstellung Variablenauswahl aus CPU

5.3.3 Animation der Aggregate

Zur Darstellung der Pumpenaggregate muss eine Animation gewählt werden, die alle möglichen Zustände anzeigen kann. Zu diesem Zweck werden zwei Rechteckflächen unterschiedlicher Größe übereinander gelegt.



Abbildung 5.50: Darstellung Pumpenaggregate

Die Flächen in Abbildung 5.50 werden in unterschiedlichen Ebenen angezeigt. Dadurch wirkt die hintere Fläche wie ein Rand der vorderen, kleineren Fläche. Auf diese Weise können die Flächen unabhängig voneinander ihre Darstellung ändern und somit alle Funktionszustände abdecken. Die große Rechteckfläche ist so animiert, dass diese bei Automatismeldung schwarz angezeigt wird. Befindet sich das entsprechende Aggregat im Handmodus oder ist abgeschaltet, wechselt die Animation zu rosa. Die Einstellung der Animation nach Abbildung 5.51 erfolgt in der

Funktion „Gestaltung“ ebenso durch eine Wertabfrage wie in Abbildung 5.48. Die Variable ist durch das CPU-Programm bereits existent und im Datenbereich 42 zu finden.

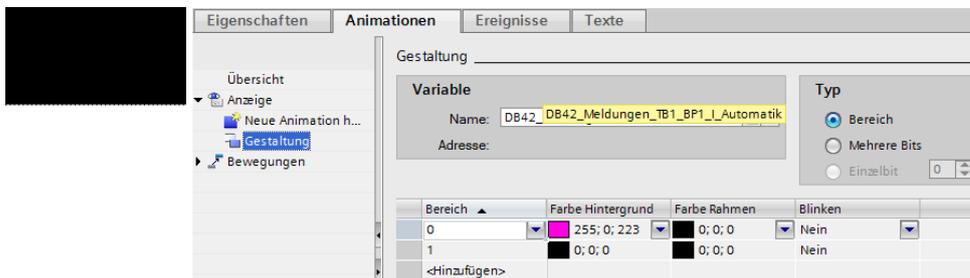


Abbildung 5.51: Darstellung Automatikmodus Pumpenaggregat

Die Animation des inneren Rechteckes muss drei verschiedenen Zustände verdeutlichen:

- Aggregat ist abgeschaltet -> Darstellung in weiß.
- Aggregat ist eingeschaltet -> Darstellung in grün.
- Aggregat ist gestört -> Darstellung in rot.

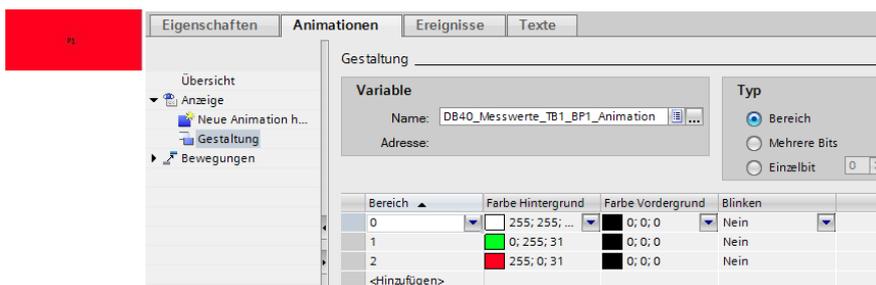


Abbildung 5.52: Darstellung Betrieb Pumpenaggregat

Ein Parameter, dessen Wert sich nach den Betriebszuständen in Abbildung 5.52 ändert, existiert im Programm noch nicht und muss daher neu eingefügt werden. Zur Realisierung wird eine zusätzliche Funktion nach Abbildung 5.53 entworfen und für jedes Aggregat in den Pumpenbaustein eingefügt.

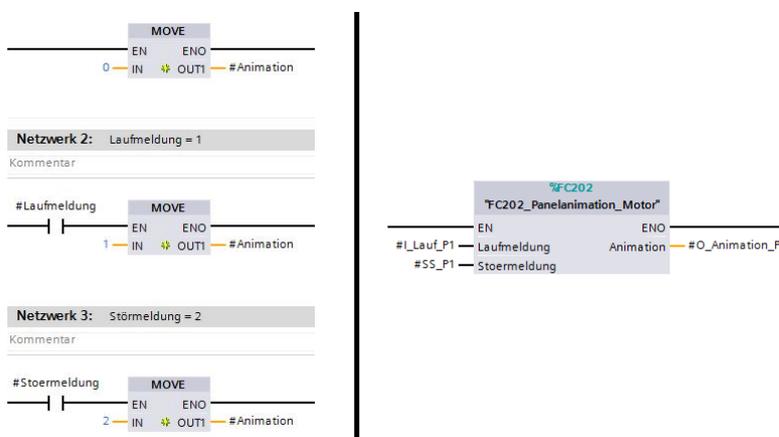


Abbildung 5.53: Darstellung Animationsbit Pumpenaggregat

Die Eingangsmeldungen „Lauf“ und „Sammelstörung“ sind im Pumpenbaustein bereits vorhanden. Sind die Signale aktiv, werden die entsprechenden Werte in den Animationsparameter geschrieben. Für jede Pumpe muss dazu ein zusätzlicher Parameter im Datenbaustein 40 angelegt werden, der die Werte null bis zwei annehmen kann. Das Panel greift auf diesen Parameter zu und so erfolgt, je nach Wert, der Farbwechsel des angezeigten Rechteckes. Damit die kleine Fläche nicht von der größeren überdeckt wird, muss definiert werden, welche der Flächen im Vordergrund dargestellt wird. Klickt man über dem Anzeigefeld die Rechte Maustaste, kann unter der Funktion „Reihenfolge“ die Anzeigebene der Felder bestimmt werden.

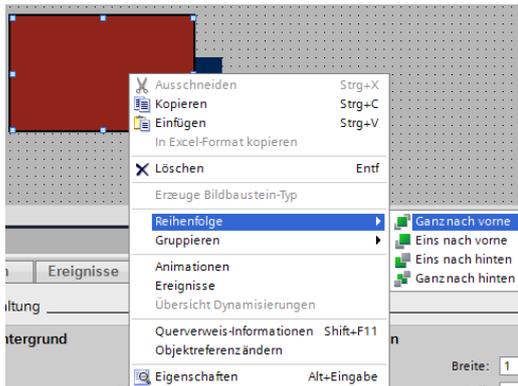


Abbildung 5.54: Darstellung Anzeigereihenfolge

Die Abbildung 5.54 zeigt dazu ein Beispiel. Zu sehen ist, dass in diesem Fall das rote Rechteck im Vordergrund ist und somit das blaue Textfeld überdeckt.

5.3.4 Animation der Anzeigeflächen

Bestimmte Felder der Anzeige dienen als Indikatoren bestimmter Zustände und sollen somit auch nicht immer sichtbar sein. Beispiele dafür sind im Übersichtsbild der Abbildung 5.55 durch weiße Umrandungen markiert.

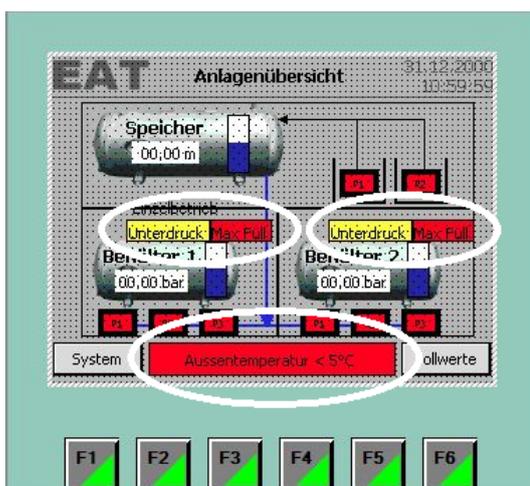


Abbildung 5.55: Darstellung Meldefenster Anlagensübersichtsbild

Diese gekennzeichneten Felder erscheinen nur auf der Anzeige, wenn die beschriebenen Zustände anliegen. Als Beispiel wird die Warnung der

Außentemperatur beschrieben. Im Außenbereich der Anlage ist ein Temperaturfühler angebracht, der auf eine Schaltschwelle von fünf Grad eingestellt ist. Wird diese Temperatur unterschritten, öffnet ein Schaltkontakt. Unter dem Punkt „Animation“ im TIA-Portal kann die Anzeige des Textfeldes festgelegt werden. Die Abbildung 5.56 zeigt, dass als Variable der Kontakt des Temperaturegebers aus dem Datenbaustein „Meldungen“ gewählt wird. Besitzt dieser den Zustand eins, ist also der Kontakt geschlossen, wird das Fenster sichtbar. Die Beschreibung widerspricht sich an der Stelle gegenseitig. Das liegt daran, dass der Schaltkontakt beim Einlesen in die CPU negiert wird. Der Kontakt ist ein Öffner, damit wird auch die Leitungsunterbrechung als Warnung erfasst. Durch die Negierung des Einganges kann das Signal wieder als Schließer weiterverwendet werden.

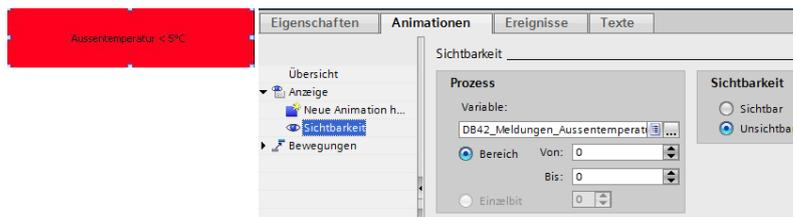


Abbildung 5.56: Darstellung Meldewindow Außentemperatur

Der Text im rot dargestellten Rechteck wird im Programm unter „Allgemeine Einstellungen“ definiert.

Wie bereits im Gliederungspunkt 5.3.2 „Animation der Behälter“, können gespeicherte Grafiken direkt im TIA-Portal in das Panel integriert werden. Das gilt auch für erstellte Grafiken aus dem Programm „MS-VISIO“. Mit dieser Software wurden die Symbole für die Nachtbetriebsschaltung aus Abbildung 5.57 erstellt. Der Halbmond soll in der Anzeige erscheinen, wenn der Nachtbetrieb eingeschaltet ist. Ist kein Nachtbetrieb vorgewählt, erscheint das Sonnensymbol. Beide Bilder müssen aus Platzgründen übereinander positioniert werden. Die Animation wird so eingestellt, dass das eine Bild mit dem Parameter „Nachtbetrieb aktiv“ sichtbar wird, bei dem anderen Bild ist diese Einstellung negiert.

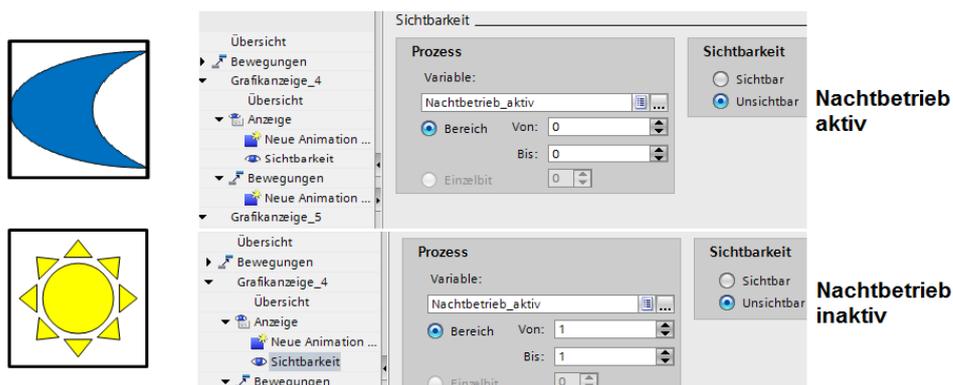


Abbildung 5.57: Darstellung Sichtbarkeit Nachtbetriebsgrafik

Um die Bilder genau übereinander zu legen müssen Sie zuerst auf die gleiche Größe gebracht werden. Diese Einstellung ist im Menü „Darstellung“ vorzunehmen. Mit der Markierung beider Bilder kann über die rechte Maustaste eine Gruppierung vorgenommen werden. Mit der Bearbeitung der Gruppierung ist die Positionierung

möglich und die Bilder ergeben eine Einheit. In diesem Zustand können diese gemeinsam verschoben oder kopiert werden.

5.3.5 Animation der Touchtasten

Das verwendete HMI ist mit einem Touchdisplay ausgestattet. Damit können Funktionen nicht nur durch die Softkeytasten, sondern auch über entsprechend angelegte Felder auf dem Display aktiviert werden. Die animierten Bedientasten werden als Schaltflächen angelegt. Die Bezeichnung der Fläche erfolgt unter dem Punkt „allgemeine Einstellungen“. Auf Grund der Darstellung des schwarzen Randes um die Schaltfläche, entsteht für den Bediener ein 3D-Effekt. Diese Option kann auch deaktiviert werden. Der Unterschied wird in Abbildung 5.58 deutlich.



Abbildung 5.58: Darstellung 3D-Effekt Touchtaste

Unter dem Menüpunkt „Ereignisse“ in Abbildung 5.59 wird festgelegt, bei welcher Bedienung, welches Fenster geöffnet wird. Mit Bedienung „Klicken“, erfolgt der Bildwechsel mit dem Berühren der Schaltfläche

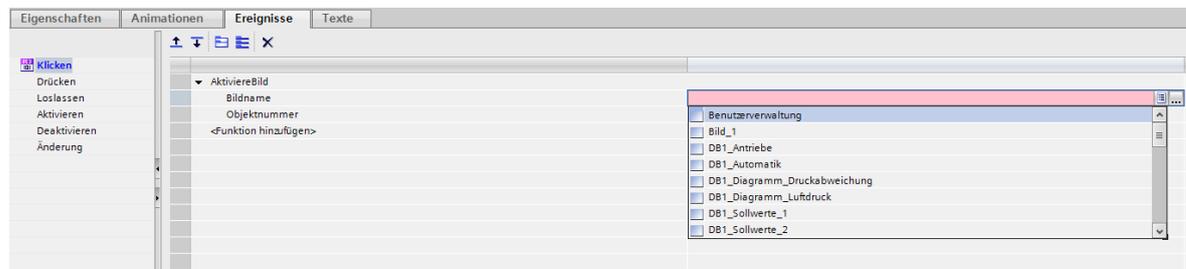


Abbildung 5.59: Darstellung Bedienfunktion Touchtaste

Zur Verbesserung der intuitiven Bedienung des Panels sind auch die Bilder der einzelnen Funktionsbereiche so gestaltet, dass man durch Berühren des Displays auf den einzelnen Darstellungen in den Funktionsbereich der Anlage zugreifen kann. Aus diesem Grund sind über die Bilder noch zusätzlich transparente Felder gelegt, die ebenfalls wie die Touchtasten programmiert sind.

5.3.6 Animation der Eingabefelder und Eingabegrenzen

Alle Schalt- und Grenzpunkte des Programms sollen möglichst individuell vom Bediener einstellbar sein. Dazu muss zu jedem Sollwertparameter ein E/A-Feld angelegt werden. Die entsprechenden Optionen sind unter dem Auswahlpunkt „Elemente“ zu finden. Damit sich die Eingabefelder von den Wertanzeigen

unterscheiden, sind die Sollwertfelder weiß hinterlegt. Berührt der Anlagenbediener ein solches Feld, öffnet sich ein Feld mit Buchstaben, Ziffern und Zeichen. Dieses Tastaturfeld wird vom Hersteller zur Verfügung gestellt und muss nicht extra parametrisiert werden.

Im Programm existieren bestimmte Abhängigkeiten der Sollwerte voneinander und zudem müssen auch Grenzwerte, die aus den baulichen Gegebenheiten der Druckerhöhungsstation hervorgehen, eingehalten werden. Wichtige Grenzen wie beispielsweise der maximale Füllstand der Druckbehälter werden in der Software durch das Programm selbst eingeschränkt. Damit werden gefährliche Zustände der Anlage durch Falscheingabe verhindert, indem automatisch Festwerte geladen werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, Werte im Panel zu begrenzen und voneinander abhängig zu gestalten. Diese Optionen werden nach Abbildung 5.60 eingestellt. Dabei ist zu beachten, dass zum Beispiel für Füllstände konstante Grenzen eingestellt werden und Schalterpunkte variabel voneinander abhängig sind.



Abbildung 5.60: Darstellung Grenzen Sollwerte

Das Beispiel zeigt die Bereichseigenschaften des ersten Schaltpunktes einer Druckpumpe im Gruppenbetrieb. Der maximale Grenzwert wird konstant auf 4,5 Bar begrenzt. Die untere Eingabegrenze ist abhängig vom nächsten Schaltpunkt und somit variabel. Damit werden unlogische Eingaben seitens des Bedieners verhindert. Es wird sichergestellt, dass der Schaltpunkt für ein Aggregat immer mindestens so groß ist, wie die Anforderung für zwei Aggregate. Die maximale Grenze kann von keinem weiteren Sollwert abhängig gemacht werden und wird daher festgelegt. Die Begrenzung der einstellbaren Parameter des Panels erfolgt in der HMI-Variablen-tabelle.

5.3.7 Animation der Zugangskontrolle

Um zu vermeiden, dass die Anlage durch nicht befugte Personen bedient werden kann, müssen die Eingabefelder geschützt werden. Der Bediener hat einerseits die Möglichkeit, über das Login-Fenster einen Berechtigungscode einzugeben, oder wird zur Codeeingabe aufgefordert, wenn er ein Bedienfeld öffnet. Im Panel werden verschiedene Benutzergruppen mit unterschiedlichen Berechtigungen angelegt.

Name	Gruppen			
	Name	Nummer	Anzeigename	Kennwortalteru...
Benutzerverwaltung	Administratorengruppe	1	Administratorengruppe	
Überwachen	Benutzer	2	Benutzer	
Bedienen	<Hinzufügen>			
Administrator				
eat				
Administratorengruppe				
Benutzer				

Berechtigungen				
Aktiv	Name	Anzeigename	Nummer	
<input checked="" type="checkbox"/>	Benutzerverwaltung	Benutzerverwaltung	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Überwachen	Überwachen	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	Bedienen	Bedienen	3	

Abbildung 5.61: Darstellung Benutzerverwaltung

Die Berechtigungen der Gruppen in Abbildung 5.61 werden folgendermaßen unterschieden:

- Benutzerverwaltung -> kann Benutzer entfernen oder hinzufügen.
- Überwachen -> kann sich Werte nur ansehen, nicht ändern.
- Bedienen -> kann Einstellungsänderungen im System vornehmen.

Wie die Abbildung 5.62 zeigt, sind momentan im System nur zwei unterschiedliche Benutzer angelegt. Die Anmeldung erfolgt mit einem gespeicherten Kennwort.

Benutzer				
Name	Kennwort	Automatisches Abmel...	Abmeldezeit	
Administrator	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	
eat	*****	<input checked="" type="checkbox"/>	5	
<Hinzufügen>				

Gruppen				
Mitglied von	Name	Nummer	Anzeigename	Ker...
	Administratorengruppe	1	Administratorengruppe	
	Benutzer	2	Benutzer	
<Hinzufügen>				

Abbildung 5.62: Darstellung Benutzer und Freigaben

Beide Benutzer haben derzeit administrative Rechte im System. Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber, bleibt der Benutzer „EAT“ auch nach der Anlagenübergabe bestehen. Damit wird sichergestellt, dass Angestellte der Firma EAT die Anlage auch später warten und bedienen können.

Sind die Benutzergruppen und deren Berechtigungen in der Benutzerverwaltung angelegt, müssen die entsprechenden Eingabefelder im Zugriff eingeschränkt werden. Dies ist unter dem Punkt „Sicherheit“ möglich. Es besteht die Auswahl zwischen den angelegten Berechtigungen. Die Abbildung 5.63 zeigt die Auswahl für ein Sollwert-Eingabefeld. In diesem Fall wird eine Bedienung zugelassen. Somit kann jeder Benutzer, der diese Eigenschaft in der Benutzerverwaltung besitzt, den Sollwert ändern. Wird die Taste von einem angemeldeten Benutzer gedrückt, erscheint in Display ein Tastaturfeld.

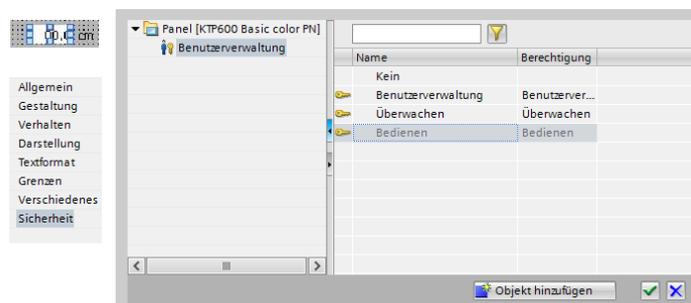


Abbildung 5.63: Darstellung Benutzer und Freigaben

Ist kein Benutzer angemeldet, erscheint erst der Anmeldedialog nach Abbildung 5.64 rechts. Dieses Fenster erscheint auch mit Betätigen des Softkeys „Login“, wenn die Einstellung der Taste nach Abbildung 5.63 links erfolgt.



Abbildung 5.64: Darstellung Anmeldedialog

Die weißen Felder „Benutzer“ und „Kennwort“ sind als Eingabefelder angelegt. Damit öffnet sich beim Berühren ebenfalls das Tastaturfeld.

Meldet sich der Anlagenbediener als Administrator im System an, hat er die Möglichkeit, weitere Benutzer anzulegen. Die entsprechenden Menüs sind in den Systemfunktionen des Panels hinterlegt. Die Anwendung wird in Abschnitt 5.3.10 „Animation der Systemfunktionen“ aufgezeigt.

5.3.8 Animation Laden und Speichern

Die Schaltflächen des Panel können statt mit Texten auch wahlweise mit Grafiken versehen werden. Damit bietet sich die Möglichkeit der Erstellung symbolischer Tasten. Auf diese Weise werden Bedienfunktionen platzsparender dargestellt. Diese Variante wurde bei den Schaltflächen zum Datenaustausch mit der Speicherkarte verwendet.

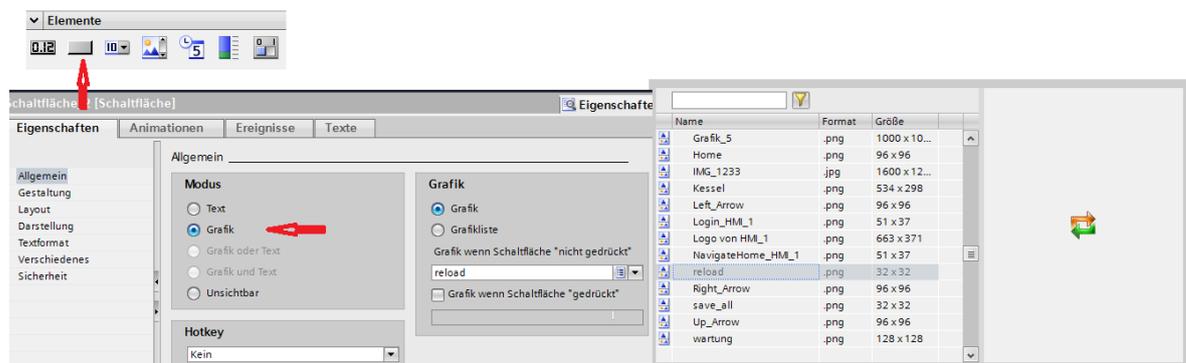


Abbildung 5.65: Darstellung Grafikschnittfläche

Wird nach Abbildung 5.65 die Schaltfläche mit Modus „Grafik“ eingestellt, kann aus der rechts dargestellten Liste die entsprechende Grafik in das Bedienfeld integriert werden. Im unbetätigten Zustand erscheint so die „Reload“-Anzeige auf dem Display. In der Auswahltabelle erscheinen außer diversen Vorgaben auch alle Grafiken, die bereits in das Programm integriert wurden.

Um mit dieser Taste Daten zu verschieben, muss eine Bitoperation im Programm erfolgen. Das heißt, mit dem Betätigen der Taste auf dem Panel wird in der CPU solange ein Bit gesetzt, bis die virtuelle Taste losgelassen wird. Für das Laden von Parametern in die Steuerung müssen die Einstellungen wie in Abbildung 5.66 erfolgen. Unter den Systemfunktionen kann die Option „Setze Bit während Taste gedrückt“ ausgewählt werden. Dieser Funktion wird der betreffende Datenbereich zugeordnet, dessen Bit gesetzt werden soll.



Abbildung 5.66: Darstellung Bitsetzfunktion

Unter Abschnitt 5.2.10 „Lade- und Speicherfunktion“ ist der betreffende Programmteil beschrieben, welcher mit dieser Tastenbetätigung ausgelöst wird. Die Aktivierung des Speicherbefehls der Sollwertparameter erfolgt ähnlich. Allerdings ist bei dieser Operation noch ein Bestätigungsfenster im Panel eingebaut, welches durch Klicken des Speicherfeldes aktiviert wird. Dazu wird mit Klicken der Taste ein Bit gesetzt, welches nur im Panel, nicht aber im Programm existiert. Ist das „Frage-Speichern“-Bit gesetzt, wird das obere Fenster in Abbildung 5.67 sichtbar. Im unteren Teil der Abbildung ist die Einstellung der Tasten „Speichern“ und Abbruch“ beschrieben.

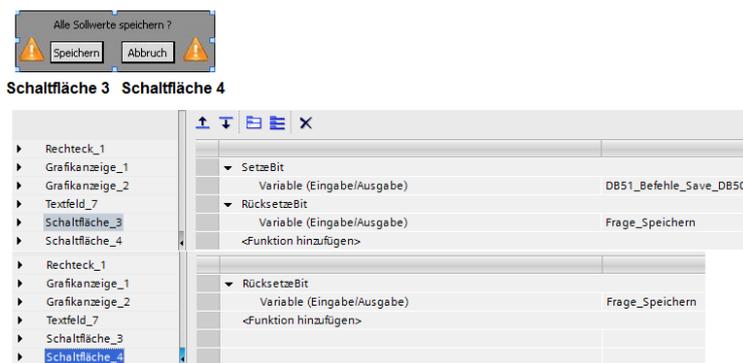


Abbildung 5.67: Darstellung Sollwertspeicherung

Mit der Schaltfläche „Speichern“ werden zwei Operationen gleichzeitig ausgeführt. Einerseits muss das Bit für die Aktivierung der Datenspeicherung im Programm gesetzt werden, andererseits muss das geöffnete Fenster wieder geschlossen werden. Die Schaltfläche „Abbruch“ schließt nur das Fenster. Dies wird durch Rücksetzen des „Frage-Speichern“-Bits erreicht.

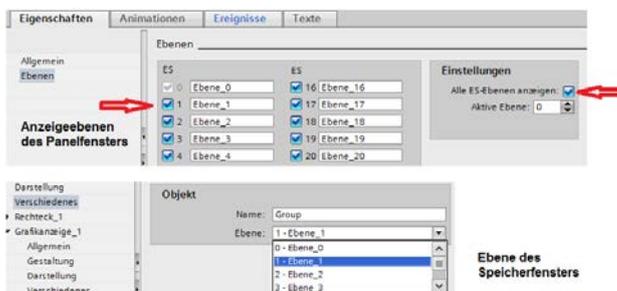


Abbildung 5.68: Darstellung Bildebenen

Die Abbildung 5.68 zeigt, dass die Speicherabfrage, als „Group“ gesichert, in Ebene eins liegt. Das Panelfenster liegt in Ebene null. Je höher die Nummer der Ebene, desto weiter vorn liegt das Bild. Mit den unterschiedlichen Ebenen wird erreicht, dass das Bild der Speicherabfrage vor dem Gesamtbild erscheint und somit die Schaltflächen bedient werden können. Vertauscht man die Ebenen, ist die Speicherabfrage auch bei aktiviertem „Frage-Speichern“-Bit nicht zu sehen. Um die unterschiedlichen Fenster im TIA-Portal zu bearbeiten, können die Ebenen einzeln ausgeblendet werden. Das zeigt die obere Tabelle der Abbildung 5.68. Wird der Haken beim Punkt „Alle Ebenen anzeigen“ nicht gesetzt, ist das Fenster unsichtbar.

Das zusätzliche Abfragefenster dient nur als sichere Bestätigung, dass die Werte der Speicherkarte durch die im Panel eingestellten Werte überschrieben werden sollen. Die gemeinsame Bearbeitung des Fensters wird mit der Gruppierung der einzelnen Felder möglich.

Die Speicherabfrage öffnet sich etwa in der Mitte des Displays. Damit werden auch andere Eingabefelder überlappt. Aus diesem Grund werden bei der Übersetzung des Panel-Programmes nahezu in allen Sollwertbildern, in denen die Speicherung möglich ist, Warnungen generiert. Das lässt sich aber an dieser Stelle nicht vermeiden und ist zu ignorieren. Die Symbole für Speichern, Laden und die Warnzeichen der Speicherabfrage wurden als Bildelemente von der Firma EAT zur Verfügung gestellt.

5.3.9 Aufbau der Panelfenster

Die Anzahl der benötigten Panelfenster ergibt sich aus der Parameteranzahl der einzelnen Funktionsbereiche und dem dazu zur Verfügung stehenden Platz im Display. Sechs Hauptfenster ergeben sich bereits durch die Anzahl der Softkeytasten.

Für den Funktionsbereich Wasserspeicher sind folgende Anzeige- und Bedienfelder erforderlich:

- | | |
|--|-------------|
| - Füllstand des Speichers in Meter | (Anzeige) |
| - Füllmenge in Liter | (Anzeige) |
| - Animation der beiden Brunnenpumpen | (Anzeige) |
| - Betriebsstunden und Schaltspiele der Aggregate | (Anzeige) |
| - Rücksetzbutton der Stunden und Schaltspiele | (Bedienung) |
| - Stromaufnahmen der Pumpen | (Anzeige) |
| - Diverse Diagramme zur besseren Visualisierung | (Anzeige) |
| - Minimaler und maximaler Füllstand | (Bedienung) |
| - Schaltpunkte der Pumpen | (Bedienung) |
| - Hysterese der Schaltpunkte | (Bedienung) |
| - Dämpfung der Füllstandanzeige | (Bedienung) |
| - Maximale Stromaufnahme der Pumpen | (Bedienung) |

Dieser Funktionsbereich beinhaltet die wenigsten Aggregate. Dadurch ist die Anzahl der Werte, die am Panel erscheinen müssen relativ gering.

Für den Funktionsbereich Druckbehälter sind folgende zusätzliche Anzeige- und Bedienfelder erforderlich:

- | | |
|--|-------------|
| - Systemdrücke des Behälters | (Anzeige) |
| - Animation von drei Pumpen | (Anzeige) |
| - Animation Kompressor und Magnetventil | (Anzeige) |
| - Anzeige für Stromaufnahmen entfällt | |
| - Maximaler Druck | (Bedienung) |
| - Druckabweichung nach Boyle-Mariotte | (Bedienung) |
| - Drei Schaltpunkte | (Bedienung) |
| - Korrekturwert für Wasserdruck | (Bedienung) |
| - Anzeige für Betriebsart | (Anzeige) |
| - Druckhysterese | (Bedienung) |
| - Lauf- und Pausenzeit des Magnetventils | (Bedienung) |
| - Luftvolumen | (Anzeige) |
| - Wasservolumen | (Anzeige) |

Jeder Funktionsbereich wird durch ein eigenes Übersichtsbild dargestellt. Die Einstellungen erfolgen in Sollwertfenstern, deren Anzahl sich aus der Menge der benötigten Eingabefelder ergibt. Die Größe der Felder muss so angepasst werden, dass sie mit den Fingern sicher bedient werden können.

Die Darstellung der Aggregate und weitere Betriebszustände werden in weiteren Fenstern angezeigt. Daraus ergeben sich für jeden Funktionsbereich folgende Bilder:

- Übersichtsbild
- Antriebsbild
- Automatikbild
- Sollwertbild (eventuell mehrere)
- Diverse Diagramme

Die Übersichtsfenster der einzelnen Funktionsbereiche können wahlweise durch Antippen des Bereiches auf dem Panel oder durch Betätigen der entsprechenden Softkeytaete erreicht werden. Die weiteren Unterfenster werden im Übersichtsfenster des Funktionsbereiches gewählt. Damit ist gewährleistet, dass der Bediener über zwei Schritte das gewünschte Funktionsmenü erreicht. Einstellungen, die funktionsbereichsübergreifend sind, werden vom Anlagenübersichtsbild gewählt. Dazu zählen die Systemfunktionen und Optionen wie Nacht- und Gruppenbetrieb.

Die Navigation zu den Bereichsfenstern soll am Beispiel eines Druckbehälters in Abbildung 5.69 dargestellt werden. Bild eins gibt eine Übersicht des gesamten Funktionsbereiches. Darin werden Aggregate, Füllstände und Drücke angezeigt, sowie Warnungen bezüglich Druck und Füllstand generiert. Es können aber keine Einstellungen vorgenommen werden. In den Bildern 2a und 2b sind die Sollwerte dargestellt. Die hell hinterlegten Felder sind E/A-Felder. Durch Berühren werden diese geöffnet und die Werte sind veränderbar. Mit dem Button „Weiter“ kann zwischen den Sollwertbildern gewechselt werden.

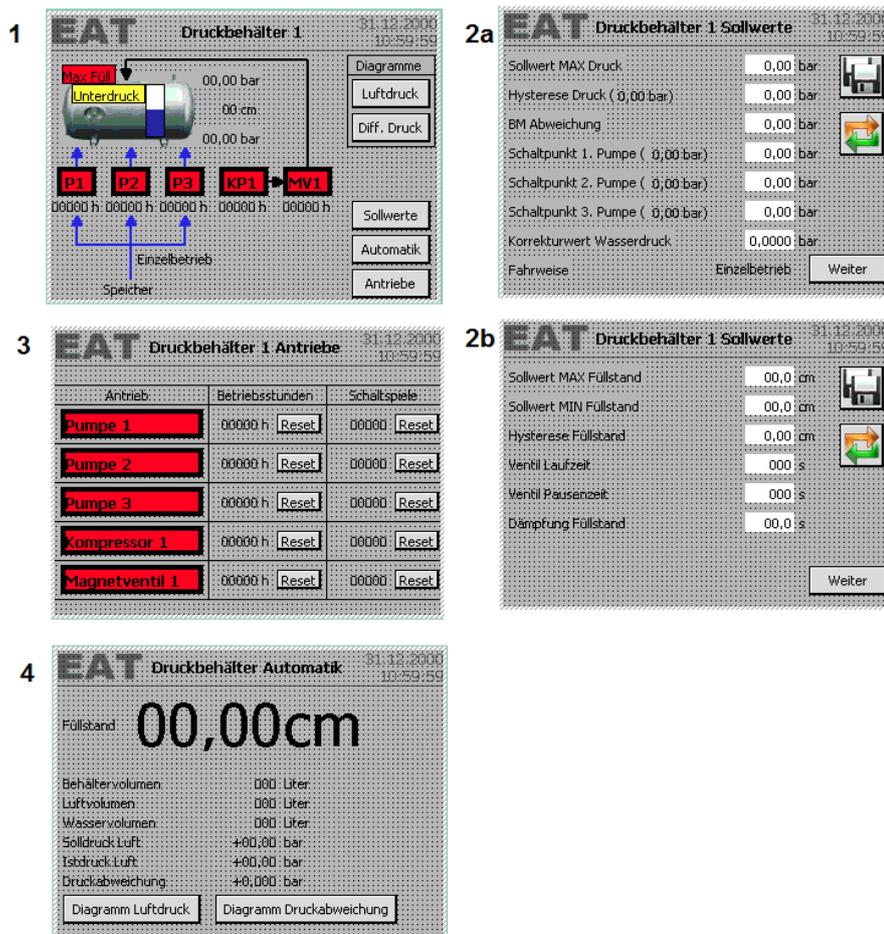


Abbildung 5.69: Darstellung Panelbilder Druckbehälter

Die Diagrammbilder, die in jeden Funktionsbereich integriert wurden, dienen zur Veranschaulichung von bestimmten Messwertentwicklungen über bestimmte Zeiträume. Damit kann der Bediener beispielsweise steigende Ströme der Tiefbrunnenpumpen analysieren und damit auf eventuelle Ausfälle reagieren. Die Druckdiagramme können auf zyklische Druckverluste hinweisen und somit Undichtigkeiten der Druckbehälter aufzeigen oder die Funktion der Druckluftregelung darstellen. Am Beispiel der Differenzdruckanzeige in Abbildung 5.70 soll der Diagrammaufbau erläutert werden. Aus den Optionen „Controls“ muss eine Kurvanzeige in das Bild gezogen werden. In den Kurveigenschaften werden die Darstellung und der Messwert eingerichtet. Auf der X-Achse befindet sich automatisch die Zeitachse. Sowohl Einteilung als auch Zeitfenster sind anpassbar. Ebenso auch die Anzeige der Y-Achse. Im gezeigten Beispiel liegt die Nulllinie in der Mitte des Diagramms. Das ist damit begründet, dass sowohl positive, als auch negative Messwertabweichungen auftreten können. Die blaue und die Rote Kurve markieren den zulässigen Bereich, in dem sich der Messwert bewegen darf. Verlässt dieser das Fenster zwischen roter und blauer Linie, wird bei Druckunterschreitung die Druckluftregelung aktiviert und bei Überschreitung eine Warnung ausgegeben.

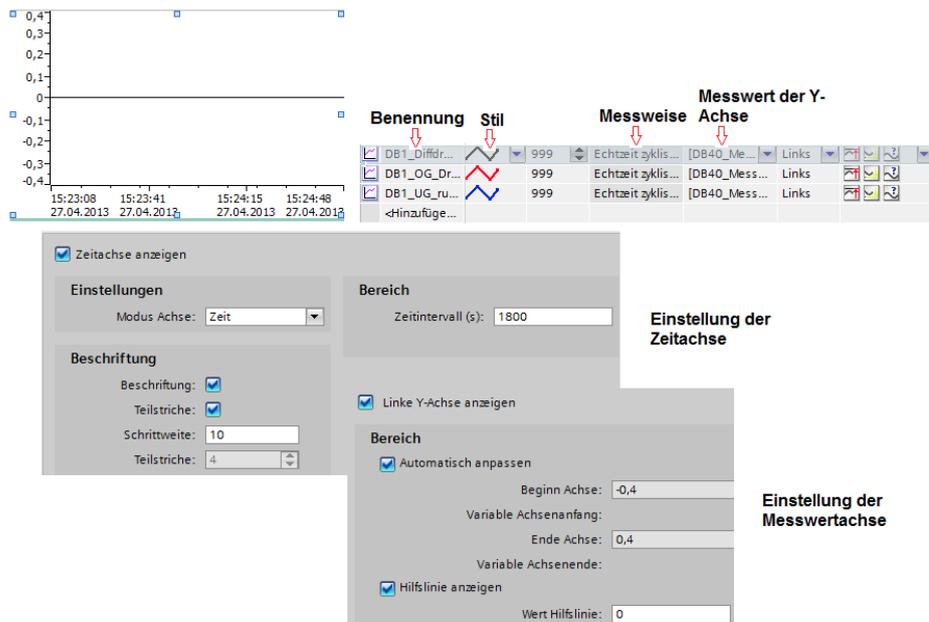


Abbildung 5.70: Darstellung Messwertdiagramm

Die Messdaten können derzeit nicht intern geloggt werden. Um externe Messwertdiagramme zu erstellen, ist ein in die Anlage eingebundenes Notebook erforderlich. Ein Bild des Diagramms während des Anlagenbetriebes befindet sich im Anhang.

Wie die Felder bzw. Schaltflächen, können auch komplette Anlagenbilder kopiert werden. Das ist nützlich, da die Funktionsbereiche der Druckbehälter eins und zwei identisch aufgebaut sind. Kopiert man die Bilder, werden aber auch alle Mess- und Anzeigewerte kopiert. Es ist unbedingt zu beachten, dass diese Werte anschließend dem entsprechenden Funktionsbereich zugeordnet werden, da sonst die Bilder parallel mit identischen Werten arbeiten.

Das in Abbildung 5.71 gezeigte Hauptfenster des Bedienpanels soll die komplette Anlage darstellen und den Bediener über Füllstände, Drücke und Funktionen der Brauchwasserdruckerhöhungsstation informieren. In diesem Fenster sollen keine Einstellungen von Parametern vorgenommen werden. Im ersten Moment erscheint das Bild sehr unübersichtlich. Dabei ist aber zu erwähnen, dass verschiedene Anzeigefelder für den Bediener nicht immer sichtbar sind. So sind beispielsweise die Rahmen der Touchtasten der Funktionsbereiche im Display nicht zu sehen. Auch die Warnmeldungen für Temperatur und Drücke sind im Normalfall nicht aktiv. Mit dieser Displayaufteilung sind alle Werte, Symbole und Animationen für den Bediener deutlich zu erkennen. Weitere Visualisierungen auf einem Bild sind nicht erforderlich und auch nicht sinnvoll. Durch noch weitere Informationen würde die Anzeige den Bediener verwirren und überladen wirken. Zudem müssten dann die Touchtasten verkleinert werden, was die Bedienung erschwert.

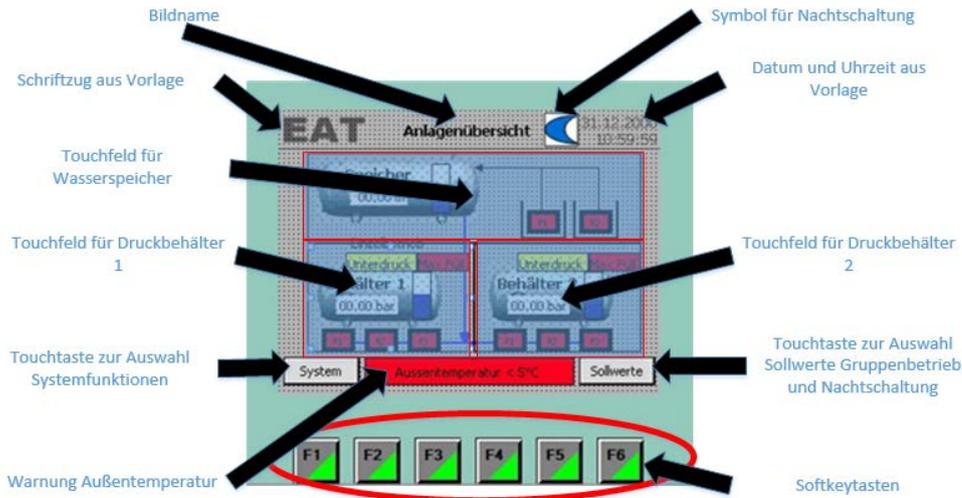
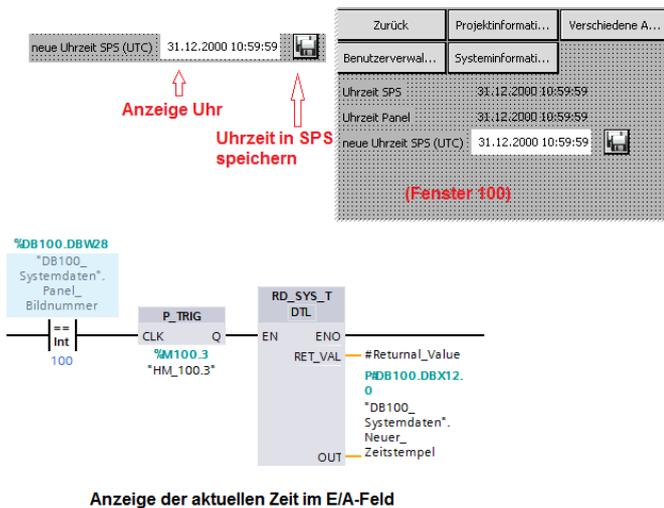


Abbildung 5.71: Darstellung Anlagenübersichtsbild

5.3.10 Animation der Systemfunktionen

Betätigt man den Button „System“ im Übersichtsfenster, gelangt man zu den Systemfunktionen. Die wichtigsten Funktionen in diesem Menü sind die Benutzerverwaltung und die Einstellung der Uhrzeit. Mit dem Button „System“ öffnet sich das in Abbildung 5.72 gezeigte Bild 100. Sobald dieses Fenster geöffnet ist, wird die aktuelle SPS-Uhrzeit in die hell hinterlegte Fläche gelegt.



Anzeige der aktuellen Zeit im E/A-Feld

Abbildung 5.72: Darstellung System Uhrzeit

Der zugehörige Programmauszug ist im unteren Teil der Abbildung aufgezeigt. Dieses hell hinterlegte Zeitfeld ist als E/A-Feld angelegt. Der Bediener hat die Möglichkeit, Datum und Uhrzeit neu einzugeben. Mit der Speichertaste werden die neuen Daten in die SPS gespeichert und die Uhrzeit ist aktualisiert. Der Datensatz der aktuellen Uhrzeit wird dabei in den Systemdaten des DB 100 hinterlegt. Das zugehörige Lade- und Speicher-Programm ist in Abschnitt 5.2.11 „Uhrzeit der SPS“ beschrieben. Das beschriebene Fenster ist grundsätzlich eine von Siemens vorgeschlagene Option, die, wie auch die Bildvorlage, bei der Einrichtung des HMI erstellt werden kann. Wird

diese Option aktiviert, legt das Programm die Unterfenster der Schaltfunktionen automatisch an.

Mit dem Berühren der Schaltfläche „Benutzerverwaltung“ werden die Benutzer des Systems und deren Kennwörter verwaltet. Bediener, die mit administrativen Rechten im System angelegt sind, haben die Möglichkeit, Benutzer zu löschen oder neue anzulegen.

Hinter dem Button „Verschiedene Aufgaben“ sind folgende Funktionen des Panels hinterlegt:

- Online -> Aktiviert Verbindung zur SPS
- Offline -> Deaktiviert Verbindung zur SPS
- Runtime -> beendet die Applikation des Panels
- Transfer -> Schaltet den Modus, um Programme einzuspielen
- Sprache umschalten -> Sprachauswahl des Panels

Diese Funktionen können beim Anlegen des HMI unter Verwendung des Assistenten aktiviert werden. Die Funktion „Transfer“ wird bei dieser Anlage nicht benötigt. In den Einstellungen des HMI kann diese Funktion dauerhaft aktiviert werden. Die Option wäre nur sinnvoll, wenn die Anlage beispielsweise online mit dem Internet verbunden wäre. So könnte eine ungewollte Programmänderung aus dem Netz erfolgen. Um das zu verhindern wird mit diesem Button „Transfer“ abgesichert, dass eine Bestätigung vor Ort erfolgen muss, bevor ein neues Programm in das System geladen werden kann.

5.4 Störungen

Die Hardware der Druckerhöhungsstation wurde so ausgelegt, dass mittels Hilfskontakten an den Schützen die Ansteuerung dieser überwacht werden kann. Dabei wird vom Programm geprüft, ob bei Aggregatansteuerung auch der entsprechende Schaltkontakt geschlossen wird. Durch die Wahl der Analogsignale im Bereich 4-20 mA kann auch an dieser Stelle die Überwachung auf Unterbrechung oder Kurzschluss erfolgen.

Aus Sicherheitsgründen werden die Aggregate durch die Hardware unterbrochen, wenn die Schaltkontakte der Drucksensoren Typ 654 oder die Kontakte der Balluff-Sensoren geöffnet werden. Damit wird erreicht, dass sowohl bei Unterbrechung, als auch im Falle eines Systemüberdruckes ein sicherer Betriebszustand der Anlage gegeben ist. Diese Sicherheitsverdrahtung ist erforderlich, da die Anlage auch im Handmodus betrieben werden kann. Es erfolgt eine Masseunterbrechung der Schütze. Alle Systemfehler lösen beim Auftreten einen extern am Pumpenhaus angebrachten Leuchtmelder aus. Auf ein akustisches Signal wurde verzichtet. Die Rücksetzung von Aggregatefehlern ist so eingerichtet, dass diese immer der Betätigung des Hand-Null-Auto-Schalters bedürfen. Damit kann eine ausgefallene Pumpe nicht selbstständig wieder in Betrieb gehen, sondern muss bewusst wieder eingeschaltet werden.

Eine Kontrolle, ob ein Aggregat, welches angesteuert wird, auch wirklich funktioniert, ist mit den technischen Voraussetzungen des Systems nicht in allen Funktionsbereichen zu realisieren. Zur Umsetzung derartiger Funktionen müssten alle Pumpen beispielsweise mit einem Drehzahlsensor oder einem Strom-

Istwertgeber ausgerüstet sein. Diese Option bieten momentan nur die beiden Tiefbrunnenpumpen. Auch die Ausfälle von Rückschlagventilen oder Wasserrohrbrücken werden vom System nicht erkannt. Folgende Systemstörungen können von der Anlage registriert werden:

- Elektrostörungen der Pumpen (Motorschutzschalter)
- Laufstörungen der Pumpen (Schützrückmeldung)
- Sammelstörungen der Pumpen (Lauf-oder Elektrostörung)
- Störung Füllstandmessung Speicher (<4mA, >20mA)
- Maximaler und minimaler Füllstand (eingestellte Parameter)
- Störung Strommessung (<4 mA, >20 mA, nur Brunnenpumpen)
- Maximaler oder minimaler Strom (nur Brunnenpumpen)
- Überstromschutz der Brunnenpumpen
- Störung Wasserdruckmessung Druckbehälter (<4 mA, >20 mA)
- Maximaler Wasserdruck (eingestellter Parameter)
- Störung Luftdruckmessung Druckbehälter (<4 mA, >20 mA)
- Maximaler Wasserdruck (eingestellter Parameter)
- Druckschalter Balluff Druckbehälter
- Druckschalter Typ 654 Druckbehälter
- Minimaler und maximaler Füllstand Druckbehälter (Parameter)
- Elektrostörung, Laufstörung, Sammelstörung Magnetventile
- Elektrostörung, Laufstörung, Sammelstörung Kompressoren
- Sammelstörung allgemein
- Sicherungsfall
- Außentemperatur unterschritten
- Netzausfall

Addiert man alle möglichen Fehler für die Funktionsbereiche, ergeben sich 67 Meldungen. Alle möglichen Störungen müssen als Text einzeln im Panel eingetragen werden. Dabei ist unbedingt die Zeichenlänge zu beachten, damit Fehlermeldungen nicht über mehrere Zeilen angezeigt werden und die Darstellung dadurch zu unübersichtlich wird.

In Abbildung 5.73 ist zu sehen, dass alle möglichen Störmeldungen unter den Meldungen des HMI eingetragen werden. Der darin verfasste Meldetext entspricht dann der Displayanzeige.

Icon	Number	Description	Category
🔍	1	Sicherungsfall	Errors
🔍	2	Aussentemperatur unterschritten	Errors
🔍	3	Sammelstörung	Errors
🔍	4	Störung Füllstand Speicher (<4mA o	Errors
🔍	5	maximaler Füllstand Speicher erreic	Errors
🔍	6	minimaler Füllstand Speicher erreicl	Errors
🔍	7	Störung Strom Brunnen 1 (<4mA od	Errors
🔍	8	maximaler Strom Brunnenpumpe er	Errors
🔍	9	Störung Strom Brunnen 2 (<4mA od	Errors
🔍	10	maximaler Strom Brunnenpumpe er	Errors
🔍	11	Elektrostörung Brunnenpumpe Tiefb	Errors

Abbildung 5.73: Darstellung Störmeldungen HMI

Störungen der Aggregate werden nicht nur im Bedienpanel, sondern auch mittels roter Leuchtmelder am Bedienfeld des Schaltkastens angezeigt. Damit die zum Aggregat zugehörige LED leuchtet, muss im Programm der entsprechende Ausgang geschaltet werden. Alle Fehlerausgänge werden dazu mit der Funktion „Störmeldeausgänge“ programmiert. Wie das Beispiel für die Tiefbrunnenpumpe eins in Abbildung 5.74 rechts zeigt, werden die Ausgänge bei Auftreten einer Elektrostörung oder bei Laufstörung gesetzt. Auf der linken Seite der Abbildung 5.74 ist die Abfrage aller Störungsbits für die Sammelmeldung der Außenleuchte dargestellt. Mit der Zuordnung %DB41 DBD1 werden inklusive des ersten Bytes des Datenbausteins 41 insgesamt vier Byte gleichzeitig geprüft. Die zu prüfenden Störungen reichen bis Byte 16. Die letzten Bits sind vom Programm nicht verwendet. Damit diese aber klare Zustände bekommen beziehungsweise definiert sind, werden sie fortlaufend als Reserve beschrieben. Mit der Kontrolle größer oder kleiner Null lösen alle Bitzustände, die nicht gleich Null sind, die Störleuchte aus. Der Wertebereich Double Integer umfasst genau die mögliche Summe der vier Bytes. Die Kontrolle auf Werte kleiner Null ist auf Grund der Vorzeichenbehaftung des Datentyps DINT erforderlich. Dieser Bereich wurde eingestellt, damit kein Programmfehler entsteht, wenn beispielsweise alle Störungen gleichzeitig auftreten. Alternativ könnte auch der Datenbereich double Word verwendet werden. Damit wäre nur ein Vergleich auf Werte größer Null notwendig, da dieser Datentyp nicht vorzeichenbehaftet ist. Ein Vergleich auf einen noch größeren Datenbereich in einer Rechenoperation ist mit der verwendeten SPS nicht möglich.

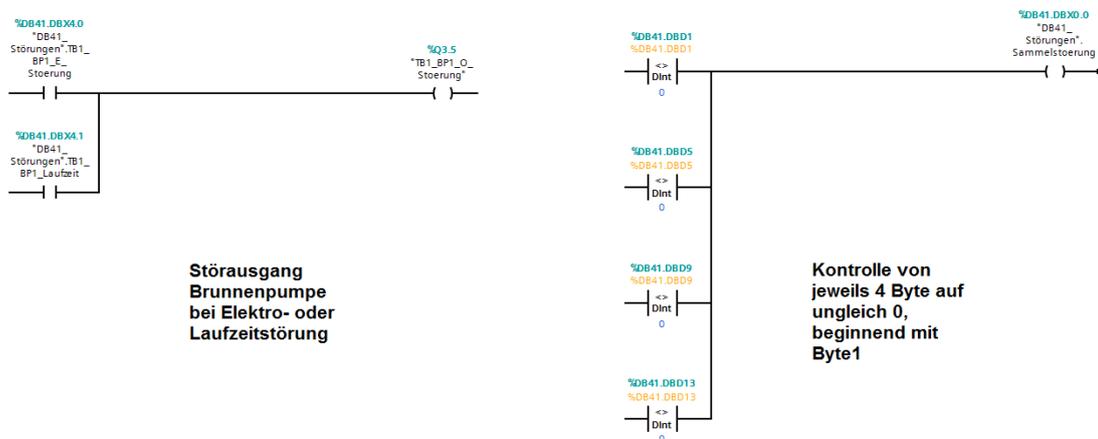


Abbildung 5.74: Darstellung Störmeldeausgänge Leuchtmelder und Außenleuchte

Die abgefragten Datenbereiche ergeben sich dabei wie folgt:

- DBX Einzelbit
- DBB Byte
- DBW Word (entspricht 2 Bytes)
- DBD Doubleword/Doubleinteger (entspricht 4 Bytes)

Diese Abkürzungen sind in der Hilfestellung des TIA-Portas als Tabelle zu finden. Die Nummer des betreffenden Datenbausteins wird dabei in der Abfrage immer vor den Datenbereich geschrieben. Die bitweise Überprüfung auf Fehlerzustände wäre auch mit einer ODER-Abfrage möglich. Allerdings müssten alle Bits des Datenbausteins 41 einzeln verknüpft werden. Diese Abfrage wäre somit wesentlich aufwändiger und möglicherweise auch fehlerhaft, wenn man beispielsweise ein Bit auslässt.

Mit diesem Aufbau des Störmanagements wird der Anlagenbediener von Außen durch die Störmeldeleuchte am Pumpenhaus darüber informiert, dass eine Störung der Anlage vorliegt. Auf dem Bedienfeld des Schaltkastens werden die Sammelfehler ausgefallener Aggregate angezeigt. Eine genaue Fehlerbeschreibung kann im Panel ausgelesen werden. Abhilfemaßnahmen werden in der Bedienungsanleitung beschrieben.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Automatisierung der Druckerhöhungsstation mittels SPS stellte sich im Nachhinein als ein sehr umfangreiches Projekt dar. Die wenig spezifischen Kundenanforderungen boten viel Freiraum für die individuelle Umsetzung der Aufgabe. Durch Sonderprogramme wie Gruppenbetrieb der Druckbehälter und Nachtschaltung kann die Anlage effizienter und druckstabiler als je zuvor arbeiten. Da sich die Betriebsart der Druckbehälter bezogen auf das Verhältnis Wasser zu Luft geändert hat, verringert sich sowohl der manuelle Eingriff bei Wiederanlauf nach Überlastung als auch die Gefahr, dass Druckluft in das Leitungssystem gelangt. Das System ist in der Lage, automatisch wieder in Betrieb zu gehen. Die geplante Umsetzung des Konzeptes mit zwei Drucksensoren pro Druckbehälter ist in diesem Projekt nur theoretisch umsetzbar. Durch die vergleichsweise geringen Füllstände der Druckbehälter ist die Signalschwankung der Sensoren zu groß, um mit den daraus ermittelten Füllständen weitere Berechnungen über die Verhältnisse von Wasser zu Druckluft vorzunehmen. Die tolerierbare Abweichung nach Boyle-Mariotte müsste unverhältnismäßig groß eingestellt werden. Von der Variante, Drucksensoren bis maximal fünf Bar einzusetzen, wurde abgesehen. Diese würden nicht der maximalen Belastbarkeit der restlichen Komponenten bzw. der Druckbehälter selbst entsprechen. Sinnvoller und weniger fehlerbehaftet wäre die Ermittlung des Füllstandes mittels Differenzdrucksensoren gewesen. Diese Variante wurde aber in der Planung nicht diskutiert. Bei theoretisch vollständig dichten Behältern könnte die Druckluftregelung entfallen. Beim Befüllen der Druckbehälter mit Wasser wird keine zusätzliche Druckluft benötigt. Die Praxis zeigt aber, dass mit den verwendeten Komponenten und dem altersbedingten Verschleiß der Anlage, eine komplette Abdichtung des Systems nicht realistisch ist. So haben mehrere Druckversuche gezeigt, dass spätestens nach einer Woche der maximale Füllstand der Druckbehälter erreicht ist. Aus diesem Grund ist eine automatische Druckluftregelung erforderlich. Um eine sichere Regelung zu gewährleisten, ist jeweils ein zusätzlicher Sensor pro Druckbehälter erforderlich. Dieser Sensor soll einen bestimmten Füllstandpunkt und den nachfolgenden Bereich erfassen, der nur dann erreicht wird, wenn Luft aus dem Behälter entwichen ist. Auf diese Weise erfolgt die Nachregulierung des Luftpolsters sicher und verhindert eine Überfüllung der Druckbehälter. Damit die Füllstände der Druckbehälter im Panel weiterhin angezeigt werden können, bleiben zwei Drucksensoren pro Behälter bestehen. Die Umsetzung des Projektes mit variabler Pumpensteuerung, anwenderspezifischen Sonderfunktionen und Fehlermanagement ergibt zusammen ein stimmiges Steuerungskonzept für den geforderten Anwendungsbereich. Das HMI ermöglicht dem Bediener jederzeit Informationen einzusehen und in das System einzugreifen. Dabei wurde auf eine anwenderfreundliche und schlüssige Bedienung geachtet. Mit der noch ausstehenden Sanierung des Wasserleitungsnetzes ist davon auszugehen, dass die Verfügbarkeit des Systems noch stabiler wird. Steuerung und System würden dann eine schlüssige Einheit auf dem heutigen Stand der Technik bilden.

Anhang

A. Auszüge aus Tabellen zur Darstellung von theoretisch ermittelten Mess- Druck- und Füllstandswerten

Messwertdämpfung

Tabelle 6.1: Tabelle Messwertdämpfung 10 Integrationssekunden

fest	einstellbar	berechnet (1/A*B)			Schritt 2 Teil 2	Schritt 1 Teil 1	Schritt 1 Teil 2	Schritt 2 Teil 1	
Aufruf- zeit	Integrations- sek	Integrations- faktor	Mess- wert	Ergebnis_alt	Ergebnis_ neu	Zwischen- wert1	Zwischen- wert2	Zwischen- wert3	Zeit in s
0,1	10	100	0	0	0	0	0	0	0
0,1	10	100	5	0	0,05	0	0	0,05	0,1
0,1	10	100	5	0,05	0,0995	0,0005	0,0495	0,05	0,2
0,1	10	100	5	0,0995	0,148505	0,000995	0,098505	0,05	0,3
0,1	10	100	5	0,148505	0,19701995	0,00148505	0,14701995	0,05	0,4
0,1	10	100	5	0,19701995	0,245049751	0,0019702	0,195049751	0,05	0,5
0,1	10	100	5	0,43241376	0,478089625	0,004324138	0,428089625	0,05	1
0,1	10	100	5	0,86915688	0,910465312	0,008691569	0,860465312	0,05	2
0,1	10	100	5	1,26413953	1,301498133	0,012641395	1,251498133	0,05	3
0,1	10	100	5	1,62135475	1,655141207	0,016213548	1,605141207	0,05	4
0,1	10	100	5	1,9444138	1,974969664	0,019444138	1,924969664	0,05	5
0,1	10	100	5	2,23658261	2,264216788	0,022365826	2,214216788	0,05	6
0,1	10	100	5	2,50081485	2,525806702	0,025008149	2,475806702	0,05	7
0,1	10	100	5	2,73978175	2,762383931	0,027397817	2,712383931	0,05	8
0,1	10	100	5	2,95589913	2,976340137	0,029558991	2,926340137	0,05	9
0,1	10	100	5	3,15135181	3,169838294	0,031513518	3,119838294	0,05	10
0,1	10	100	5	3,32811572	3,344834558	0,033281157	3,294834558	0,05	11
0,1	10	100	5	3,48797782	3,503098043	0,034879778	3,453098043	0,05	12
0,1	10	100	5	3,63255424	3,646228702	0,036325542	3,596228702	0,05	13
0,1	10	100	5	3,76330657	3,775673505	0,037633066	3,725673505	0,05	14
0,1	10	100	5	3,88155663	3,892741064	0,038815566	3,842741064	0,05	15
0,1	10	100	5	3,98849986	3,998614866	0,039884999	3,948614866	0,05	16
0,1	10	100	5	4,08521741	4,094365234	0,040852174	4,044365234	0,05	17
0,1	10	100	5	4,17268702	4,180960151	0,04172687	4,130960151	0,05	18
0,1	10	100	5	4,25179297	4,259275042	0,04251793	4,209275042	0,05	19
0,1	10	100	5	4,28846256	4,295577935	0,042884626	4,245577935	0,05	19,5
0,1	10	100	5	4,29557794	4,302622156	0,042955779	4,252622156	0,05	19,6

Die Tabellen 6.1 und 6.2 zeigen die Entwicklung der gedämpften analogen Eingangswerte bei unterschiedlicher Einstellung der Integrationssekunden. Die Werte der Spalte "Ergebnis neu" bzw. der Spalte "Messwert" geben dabei einen Auszug der Werte des Diagramms in Abbildung 5.7: Darstellung Ergebnisdämpfung". Die Abbildung 6.1 zeigt die einzelnen Operationen des Programms zur Berechnung des Ergebnisses am Beispiel des ersten Wertes.

Tabelle 6.2: Tabelle Messwertdämpfung eine Integrationssekunde

fest	einstellbar	berechnet (1/A*B)			Schritt 2 Teil 2	Schritt 1 Teil 1	Schritt 1 Teil 2	Schritt 2 Teil 1	
Aufruf- zeit	Integrations- sek	Integrations- faktor	Mess- wert	Ergebnis_alt	Ergebnis_ neu	Zwischen- wert1	Zwischen- wert2	Zwischen- wert3	Zeit in s
0,1	1	10	0	0	0	0	0	0	0
0,1	1	10	5	0	0,5	0	0	0,5	0,1
0,1	1	10	5	0,5	0,95	0,05	0,45	0,5	0,2
0,1	1	10	5	0,95	1,355	0,095	0,855	0,5	0,3
0,1	1	10	5	1,355	1,7195	0,1355	1,2195	0,5	0,4
0,1	1	10	5	1,7195	2,04755	0,17195	1,54755	0,5	0,5
0,1	1	10	5	2,04755	2,342795	0,204755	1,842795	0,5	0,6
0,1	1	10	5	2,342795	2,6085155	0,2342795	2,1085155	0,5	0,7
0,1	1	10	5	2,6085155	2,84766395	0,26085155	2,34766395	0,5	0,8
0,1	1	10	5	2,84766395	3,062897555	0,284766395	2,562897555	0,5	0,9
0,1	1	10	5	3,06289756	3,2566078	0,306289756	2,7566078	0,5	1
0,1	1	10	5	3,2566078	3,43094702	0,32566078	2,93094702	0,5	1,1
0,1	1	10	5	3,43094702	3,587852318	0,343094702	3,087852318	0,5	1,2
0,1	1	10	5	3,58785232	3,729067086	0,358785232	3,229067086	0,5	1,3
0,1	1	10	5	3,72906709	3,856160377	0,372906709	3,356160377	0,5	1,4
0,1	1	10	5	3,85616038	3,97054434	0,385616038	3,47054434	0,5	1,5
0,1	1	10	5	3,97054434	4,073489906	0,397054434	3,573489906	0,5	1,6
0,1	1	10	5	4,07348991	4,166140915	0,407348991	3,666140915	0,5	1,7
0,1	1	10	5	4,16614092	4,249526824	0,416614092	3,749526824	0,5	1,8
0,1	1	10	5	4,24952682	4,324574141	0,424952682	3,824574141	0,5	1,9
0,1	1	10	5	4,32457414	4,392116727	0,432457414	3,892116727	0,5	2
0,1	1	10	5	4,39211673	4,452905054	0,439211673	3,952905054	0,5	2,1
0,1	1	10	5	4,45290505	4,507614549	0,445290505	4,007614549	0,5	2,2
0,1	1	10	5	4,50761455	4,556853094	0,450761455	4,056853094	0,5	2,3
0,1	1	10	5	4,55685309	4,601167785	0,455685309	4,101167785	0,5	2,4
0,1	1	10	5	4,60116778	4,641051006	0,460116778	4,141051006	0,5	2,5
0,1	1	10	5	4,64105101	4,676945906	0,464105101	4,176945906	0,5	2,6

Berechnungsbeispiel Messwertdämpfung bei Messwertsprung von 0 auf 5

- Das Aufrufintervall des OB, in dem die Dämpfung ausgeführt wird, beträgt 0,1s als Festwert
- Die eingestellten Integrationssekunden (am Panel als Dämpfung bezeichnet) betragen 10s

Integrationsfaktor berechnen

Teil 1 $\frac{1}{\text{Aufrufzeit_OB_Sekunden}} = \text{temp} - \text{real} = 10\text{s}$	Teil 2 $\text{temp} - \text{real} * \text{Integration} - \text{Sekunden} = \text{Integrationsfaktor} = 100$
--	--

Integration Schritt 1 (Vielfaches des Messergebnisses abziehen)

Teil 1 $\frac{\text{Ergebnis}}{\text{Integrationsfaktor}} = \frac{0}{100} = \text{temp} - \text{real} = 0$	Teil 2 $\text{Ergebnis} - \text{temp} - \text{real} = 0 - 0 = \text{Ergebnis} = 0$
---	---

Integration Schritt 2 (Vielfaches des Messwertes auf Ergebnis addieren)

Teil 1 $\frac{\text{Messwert}}{\text{Integrationsfaktor}} = \frac{5}{100} = \text{temp} - \text{real} = 0,05$	Teil 2 $\text{Ergebnis} + \text{temp} - \text{real} = 0 + 0,05 = \text{Ergebnis} = 0,05$
--	---

Abbildung 6.1: Ergebnisberechnung Messwertdämpfung

Tabelle 6.3: Tabelle Tabelle Füllstands- und Druckentwicklung im Druckbehälter

V(Wasser)/L	h(Wasser)/cm	P(Luft)/bar	V(Luft)/L	h(Luft)/cm	Schaltpunkte	BM-Konstante
44,92392012	10	0,0777567	577,7498	70	FS_min	622,673717
51,61588011	11	0,0903864	571,05784	69		622,673717
58,56881572	12	0,1038261	564,1049	68		622,673717
65,76474501	13	0,1180889	556,90897	67		622,673717
73,18745425	14	0,1331925	549,48626	66		622,673717
80,82217614	15	0,1491593	541,85154	65		622,673717
88,65534355	16	0,1660155	534,01837	64		622,673717
96,67439743	17	0,1837919	525,99932	63		622,673717
271,7623857	36	0,7744474	350,91133	44		622,673717
281,6342744	37	0,8258114	341,03944	43		622,673717
291,5248001	38	0,8803435	331,14892	42		622,673717
301,4277309	39	0,9383082	321,24599	41		622,673717
311,3368585	40	1	311,33686	40		622,673717
321,2459861	41	1,0657479	301,42773	39		622,673717
331,148917	42	1,1359202	291,5248	38		622,673717
341,0394426	43	1,2109302	281,63427	37		622,673717
350,9113313	44	1,2912432	271,76239	36		622,673717
360,7583158	45	1,3773849	261,9154	35		622,673717
370,5740813	46	1,4699509	252,09964	34		622,673717
380,3522521	47	1,5696185	242,32146	33		622,673717
390,0863792	48	1,6771609	232,58734	32		622,673717
399,7699251	49	1,793464	222,90379	31		622,673717
409,3962495	50	1,9195476	213,27747	30		622,673717
418,9585926	51	2,0565905	203,71512	29		622,673717
428,4500583	52	2,2059622	194,22366	28		622,673717
437,8635941	53	2,369262	184,81012	27		622,673717
447,1919713	54	2,5483675	175,48175	26		622,673717
456,4277608	55	2,7454969	166,24596	25		622,673717
465,5633076	56	2,9632875	157,11041	24		622,673717
474,5907018	57	3,2048963	148,08302	23	Schaltp.3	622,673717
483,5017451	58	3,4741316	139,17197	22		622,673717
492,2879138	59	3,7756251	130,3858	21	Schaltp. 2	622,673717
500,9403145	60	4,1150605	121,7334	20		622,673717
509,4496347	61	4,4994812	113,22408	19	Schaltp. 1	622,673717
517,8060829	62	4,9377111	104,86763	18		622,673717
525,9993196	63	5,4409371	96,674397	17		622,673717
534,0183735	64	6,0235328	88,655344	16		622,673717
541,8515409	65	6,7042434	80,822176	15		622,673717
549,4862628	66	7,5079297	73,187454	14	FS_max	622,673717

Die Behältermaße als Berechnungsgrundlage der Tabellen 6.3 und 6.4 wurden folgendermaßen gewählt: Länge: 125 cm, Durchmesser: 40 cm
Zur Wasservolumenberechnung wird folgende Formel eingesetzt:

$$V = l * \left(r^2 * \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - (r-h) * \sqrt{(2r * h - h^2)} \right)$$

Tabelle 6.4: Tabelle Auswirkung Druckabweichung bei variablem Füllstand

ΔP				BM-Abweichung			
0,05		0,1		$\Delta 0,05$		$\Delta 0,1$	
+	-	+	-	+	-	+	-
0,128	0,028	0,1778	-0,022	651,561207	593,786227	680,448697	564,898737
0,14	0,04	0,1904	-0,01	651,226609	594,120825	679,779501	565,567933
0,154	0,054	0,2038	0,0038	650,878962	594,468472	679,084207	566,263227
0,168	0,068	0,2181	0,0181	650,519166	594,828268	678,364614	566,98282
0,183	0,083	0,2332	0,0332	650,14803	595,199404	677,622343	567,725091
0,199	0,099	0,2492	0,0492	649,766294	595,58114	676,858871	568,488563
0,216	0,116	0,266	0,066	649,374636	595,972798	676,075554	569,27188
0,234	0,134	0,2838	0,0838	648,973683	596,373751	675,273649	570,073785
0,824	0,724	0,8744	0,6744	640,219284	605,12815	657,76485	587,582584
0,876	0,776	0,9258	0,7258	639,725689	605,621745	656,777661	588,569773
0,93	0,83	0,9803	0,7803	639,231163	606,116271	655,788609	589,558825
0,988	0,888	1,0383	0,8383	638,736016	606,611418	654,798316	590,549118
1,05	0,95	1,1	0,9	638,24056	607,106874	653,807403	591,540031
1,116	1,016	1,1657	0,9657	637,745104	607,60233	652,81649	592,530944
1,186	1,086	1,2359	1,0359	637,249957	608,097477	651,826197	593,521237
1,261	1,161	1,3109	1,1109	636,755431	608,592003	650,837144	594,51029
1,341	1,241	1,3912	1,1912	636,261836	609,085598	649,849956	595,497478
1,427	1,327	1,4774	1,2774	635,769487	609,577947	648,865257	596,482177
1,52	1,42	1,57	1,37	635,278699	610,068735	647,883681	597,463753
1,62	1,52	1,6696	1,4696	634,78979	610,557644	646,905864	598,441571
1,727	1,627	1,7772	1,5772	634,303084	611,04435	645,932451	599,414983
1,843	1,743	1,8935	1,6935	633,818907	611,528527	644,964096	600,383338
1,97	1,87	2,0195	1,8195	633,33759	612,009844	644,001464	601,34597
2,107	2,007	2,1566	1,9566	632,859473	612,487961	643,045229	602,302205
2,256	2,156	2,306	2,106	632,3849	612,962534	642,096083	603,251351
2,419	2,319	2,4693	2,2693	631,914223	613,433211	641,154729	604,192705
2,598	2,498	2,6484	2,4484	631,447804	613,89963	640,221892	605,125542
2,795	2,695	2,8455	2,6455	630,986015	614,361419	639,298313	606,049121
3,013	2,913	3,0633	2,8633	630,529238	614,818197	638,384758	606,962676
3,255	3,155	3,3049	3,1049	630,077868	615,269566	637,482019	607,865416
3,524	3,424	3,5741	3,3741	629,632316	615,715118	636,590914	608,75652
3,826	3,726	3,8756	3,6756	629,193007	616,154427	635,712297	609,635137
4,165	4,065	4,2151	4,0151	628,760387	616,587047	634,847057	610,500377
4,549	4,449	4,5995	4,3995	628,334921	617,012513	633,996125	611,351309
4,988	4,888	5,0377	4,8377	627,917099	617,430335	633,16048	612,186954
5,491	5,391	5,5409	5,3409	627,507437	617,839997	632,341157	613,006277
6,074	5,974	6,1235	5,9235	627,106484	618,24095	631,539251	613,808183
6,754	6,654	6,8042	6,6042	626,714826	618,632608	630,755935	614,591499
7,558	7,458	7,6079	7,4079	626,33309	619,014344	629,992462	615,354972

Die Druckdifferenzen der Tabelle 6.4 beziehen sich auf die Luftdruckwerte der Tabelle 6.3. Die abweichenden BM-Werte ergeben sich aus dem Luftvolumen der Tabelle 6.3 multipliziert mit dem um eins erhöhten Delta-Wert des Luftdruckes aus Tabelle 6.4.

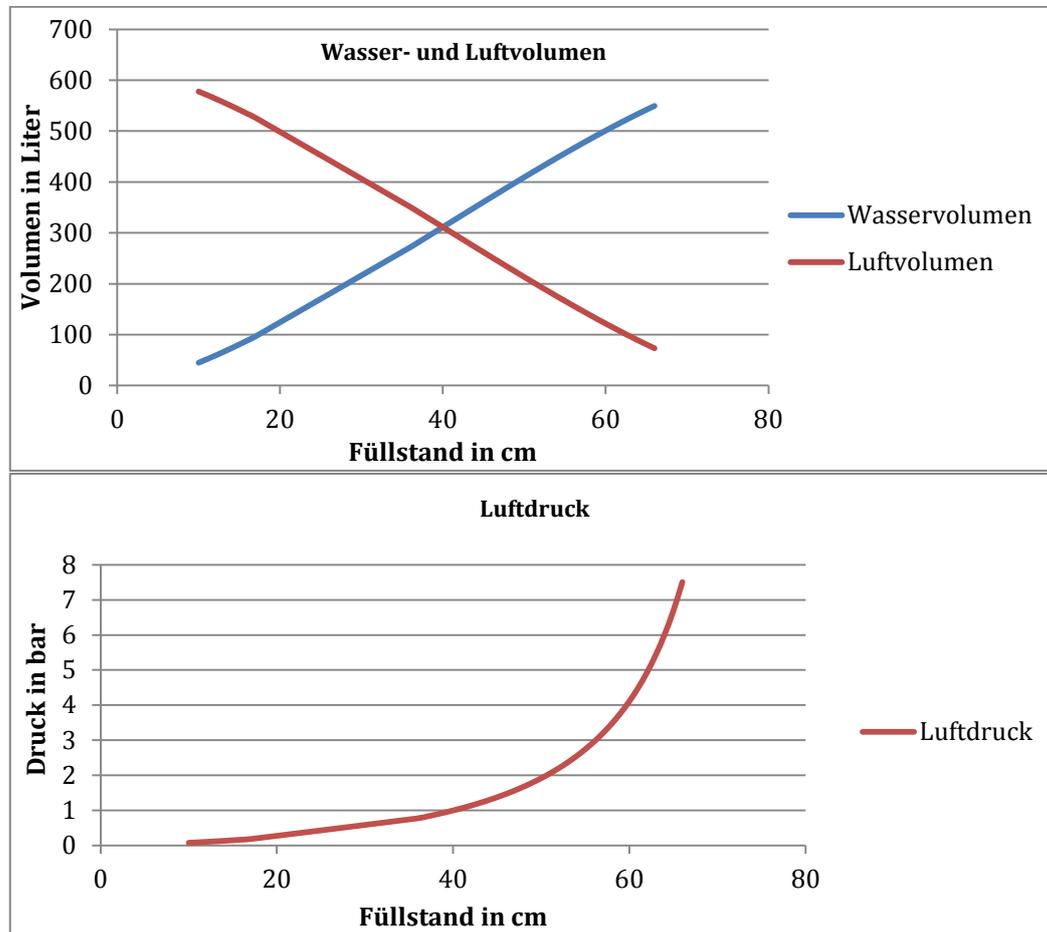


Abbildung 6.2: Diagramm Volumen und Druckentwicklung

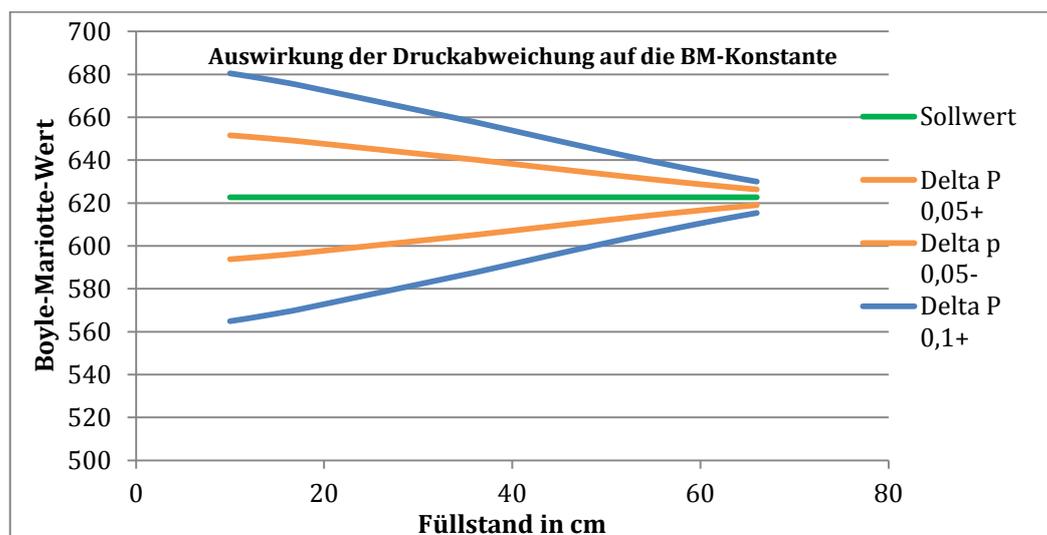


Abbildung 6.3: Diagramm BM Abweichung

B. Auszüge der Bedienungsanleitung

Tabelle 6.5: Tabelle Defaultwerte Bedienpanel

Funktionsbereich Wasserspeicher					
Bezeichnung	Wert	Einheit	Bezeichnung	Wert	Einheit
max Füllstand	1,2	m	Hysterese Schaltpunkte	0,03	m
Schaltpunkt 1. Pumpe	1,1	m	Dämpfung Füllstand	15	s
Schaltpunkt 2. Pumpe	1	m	max Strom Pumpe 1	9	A
min Füllstand	0,2	m	max Strom Pumpe 2	9	A
Funktionsbereich Druckbehälter					
Bezeichnung	Wert	Einheit	Bezeichnung	Wert	Einheit
Sollwert max Druck	5,2	bar	Sollwert Max Füllstand	70	cm
Hysterese Druck	0,2	bar	Sollwert Min Füllstand	10	cm
B-M-Abweichung	5	bar	Hysterese Füllstand	1	cm
Schaltpunkt 1. Pumpe	4,5	bar	Ventil Laufzeit	1	s
Schaltpunkt 2. Pumpe	4	bar	Ventil Pausenzeit	3	s
Schaltpunkt 3. Pumpe	3,5	bar	Dämpfung Füllstand	20	s
Korrekturwert Wasserdruck	0,00 4	bar			
Funktionsbereich Druckbehälter Gruppenbetrieb					
Bezeichnung	Wert	Einheit	Bezeichnung	Wert	Einheit
Hysterese Druck	0,2	bar	Schaltpunkt 4. Pumpe	3,7	bar
Schaltpunkt 1. Pumpe	4,5	bar	Schaltpunkt 5. Pumpe	3,6	bar
Schaltpunkt 2. Pumpe	4	bar	Schaltpunkt 6. Pumpe	3,5	bar
Schaltpunkt 3. Pumpe	3,8	bar			

Die Sollwertvorgaben sind als Anhaltspunkte für die Einstellungen der Werte am Panel zu sehen und dienen als Standardwerte. Mit diesen Werten ist ein sicherer Betrieb der Anlage möglich.

Tabelle 6.6: Allgemeine Fehler

Fehler	Ursache	Mögliche Abhilfe
Sicherungsfall	Allgemeiner Sicherungsfehler	Sicherungen 5F1, 5F3, 5Q3, 6F6, 6F8, 6F8.1, 21F1 prüfen
Außentemperatur unterschritten	Temperatur < 5°C	Anlage in Winterbetrieb schalten
Sammelstörung	Allgemeine Fehlermeldung	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen
Netzausfall	Fehlermeldung Phasenüberwachung	Drehfeld prüfen, ggf Phasenüberwachungsrelais tauschen

Tabelle 6.7: Fehlermeldungen Funktionsbereiche Wasserspeicher und Druckbehälter

Fehler	Ursache	Mögliche Abhilfe
Störung Füllstand Speicher (<4mA oder Drahtbruch)	Messwertfehler Füllstandsonde	Prüfen der Messleitung zur Füllstandsonde, ggf. Sonde erneuern
Max Füllstand Speicher erreicht	Wasserspeicher ist überfüllt	Wasser ablassen, Sonde überprüfen
Störung Strom Brunnenpumpe 1 (<4mA oder Drahtbruch)	Messwertfehler Stromsensor Brunnenpumpe 1	Stromsensor Verkabelung prüfen, ggf. Sensor tauschen
Störung Strom Brunnenpumpe 2 (<4mA oder Drahtbruch)	Messwertfehler Stromsensor Brunnenpumpe 2	Stromsensor Verkabelung prüfen, ggf. Sensor tauschen
Maximaler Strom Brunnenpumpe1 erreicht	Maximalstromgrenze überschritten	Einstellung Stromgrenze prüfen, Brunnenpumpe prüfen
Maximaler Strom Brunnenpumpe2 erreicht	Maximalstromgrenze überschritten	Einstellung Stromgrenze prüfen, Brunnenpumpe prüfen
Elektrostörung Brunnenpumpe Tiefbrunnen 1	Motorschutzschalter oder Fi-Schutzschalter abgefallen	7Q1 und 7F1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Elektrostörung Brunnenpumpe Tiefbrunnen 2	Motorschutzschalter oder Fi-Schutzschalter abgefallen	9Q1 und 9F1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Brunnenpumpe Tiefbrunnen 1	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 7K5 prüfen, ggf. tauschen
Fehler Rückmeldung Schütz Brunnenpumpe Tiefbrunnen 1	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 9K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Brunnenpumpe Tiefbrunnen 1	Allgemeine Fehlermeldung der Brunnenpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Brunnenpumpe
Sammelstörung Brunnenpumpe Tiefbrunnen 2	Allgemeine Fehlermeldung der Brunnenpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Brunnenpumpe
Überstromschutz TB1 Brunnenpumpe 1	Laufmeldung der Brunnenpumpe aber keine Strommessung	Kontrolle des Motorschutzschalters im Brunnenschacht der Pumpe
Überstromschutz TB2 Brunnenpumpe 1	Laufmeldung der Brunnenpumpe aber keine Strommessung	Kontrolle des Motorschutzschalters im Brunnenschacht der Pumpe
Störung Wasserdruck DB (<4mA oder Drahtbruch)	Messwertfehler Druckbehälter Drucksensor unten	Prüfen der Messleitung zum Sensor, ggf. Sensor erneuern
Maximaler Wasserdruck DB erreicht	Eingestellter Maximaldruck am Drucksensor erreicht (Schaltkontakt hat ausgelöst)	Wasserdruck mit Luftdruck vergleichen, Einstellung Schaltpunkt prüfen, ggf. Sensor tauschen
Störung Luftdruck DB (<4mA oder Drahtbruch)	Messwertfehler Druckbehälter Drucksensor oben	Prüfen der Messleitung zum Sensor, ggf. Sensor erneuern

Fehler	Ursache	Mögliche Abhilfe
Maximaler Luftdruck DB erreicht	Sollwert max Luftdruck erreicht	Einstellung Sollwert prüfen
Maximaler Luftdruck DB DM1 Schaltkontakt	Eingestellter Maximaldruck am Drucksensor erreicht (Schaltkontakt hat ausgelöst)	Wasserdruck mit Luftdruck vergleichen, Einstellung Schaltpunkt prüfen, ggf. Sensor tauschen
Maximaler Luftdruck DB DM3 Schaltkontakt	Schaltkontakt alter Druckschalter hat ausgelöst	Luftdruck Drucksensor oben prüfen, Verkabelung prüfen, ggf. Druckschalter tauschen
Maximaler Füllstand DB erreicht	Wasserstand im Druckbehälter zu hoch, zu wenig Luft im Druckbehälter	Einstellung Sollwert prüfen, Luft im Druckbehälter nachfüllen
Minimaler Füllstand DB erreicht	Zu viel Abnahme am Druckbehälter	Sollwerte Füllstand und Schaltpunkte prüfen
Elektrostörung Druckpumpe 1 Druckbehälter 1	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 11Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 1 Druckbehälter 1	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 11K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 1 Druckbehälter 1	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Druckpumpe 2 Druckbehälter 1	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 12Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 2 Druckbehälter 1	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 12K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 2 Druckbehälter 1	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Druckpumpe 3 Druckbehälter 1	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 13Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 3 Druckbehälter 1	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 13K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 3 Druckbehälter 1	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Kompressor Druckbehälter 1	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 14Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Kompressor Druckbehälter 1	Kompressorschütz schließt nicht	Schütz 14K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Kompressor Druckbehälter 1	Allgemeine Fehlermeldung des Kompressors	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen des Kompressors

Fehler	Ursache	Mögliche Abhilfe
Elektrostörung Magnetventil Druckbehälter 1	Sicherung oder Relais abgefallen	Sicherung 15F1 und Relais 15K5 prüfen, evtl. Isolationsschaden Ventil
Fehler Rückmeldung Schütz Magnetventil Druckbehälter 1	Relais Magnetventil schließt nicht	Relais 15K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Magnetventil Druckbehälter 1	Allgemeine Fehlermeldung des Magnetventils	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen des Magnetventils
Elektrostörung Druckpumpe 1 Druckbehälter 2	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 16Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 1 Druckbehälter 2	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 16K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 1 Druckbehälter 2	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Druckpumpe 2 Druckbehälter 2	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 17Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 2 Druckbehälter 2	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 17K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 2 Druckbehälter 2	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Druckpumpe 3 Druckbehälter 2	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 18Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Druckpumpe 3 Druckbehälter 2	Pumpenschütz schließt nicht	Schütz 18K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Druckpumpe 3 Druckbehälter 2	Allgemeine Fehlermeldung der Druckpumpe	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen der Druckpumpe
Elektrostörung Kompressor Druckbehälter 2	Motorschutzschalter abgefallen	Motorschutzschalter 19Q1 prüfen, evtl. Isolationsschaden Pumpe
Fehler Rückmeldung Schütz Kompressor Druckbehälter 2	Kompressorschütz schließt nicht	Schütz 19K5 prüfen, ggf. tauschen
Sammelstörung Kompressor Druckbehälter 2	Allgemeine Fehlermeldung des Kompressors	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen des Kompressors
Elektrostörung Magnetventil Druckbehälter 2	Sicherung oder Relais abgefallen	Sicherung 20F1 und Relais 20K5 prüfen, evtl. Isolationsschaden Ventil
Fehler Rückmeldung Schütz Magnetventil Druckbehälter 2	Relais Magnetventil schließt nicht	Relais 20K5 prüfen, ggf. tauschen

Fehler	Ursache	Mögliche Abhilfe
Sammelstörung Magnetventil Druckbehälter 2	Allgemeine Fehlermeldung des Magnetventils	Kontrolle auf weitere Fehlermeldungen des Magnetventils
Druckbehälter Überdruckabweichung	Zu viel Luft im Druckbehälter	Luft über den Kugelhahn am Drucksensor ablassen

Die Tabellen 6.5 und 6.6 geben dem Anlagenbediener eine Übersicht der möglichen Fehler mit zugehörigen Ursachen und Lösungsvorschlägen.

C. Diagrammbilder Bedienpanel

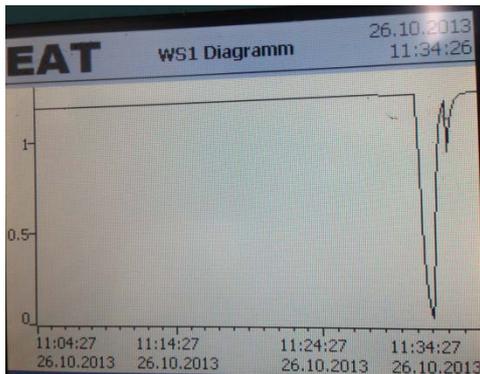


Abbildung 6.4: Diagramm Wasserspeicher

Abbildung 6.4 zeigt einen Signalabriss der Füllstandssonde. Dabei ist zu erkennen, dass der Messwert gedämpft ist.

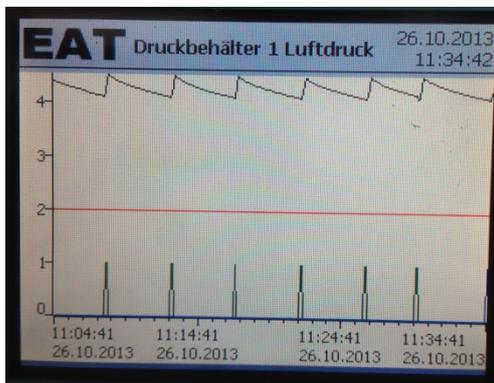


Abbildung 6.5: Diagramm Druckluftbehälter

Abbildung 6.5 zeigt die Pumpenschaltung bei geringer Wasserabnahme. Bei Druckpumpe 2 liegt eine Störung vor. Druckpumpe 1 schaltet zyklisch, damit wird der Luftdruck durch die Schalthysterese zwischen 4,0 und 4,2 Bar geregelt

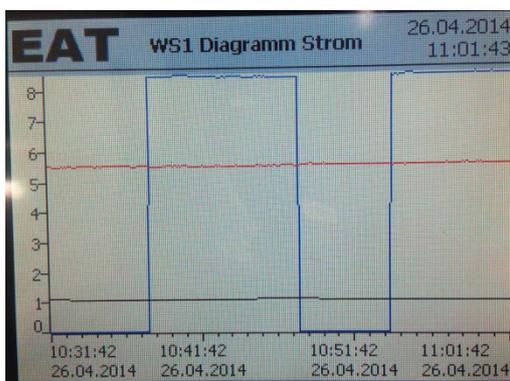


Abbildung 6.6: Diagramm Strommessung

Abbildung 6.6 zeigt die Strommessungen der Brunnenpumpen. Dabei wird über den angezeigten Zeitbereich die erste Pumpe permanent und die zweite Pumpe zyklisch angefordert.

D. Schaltplanauszüge

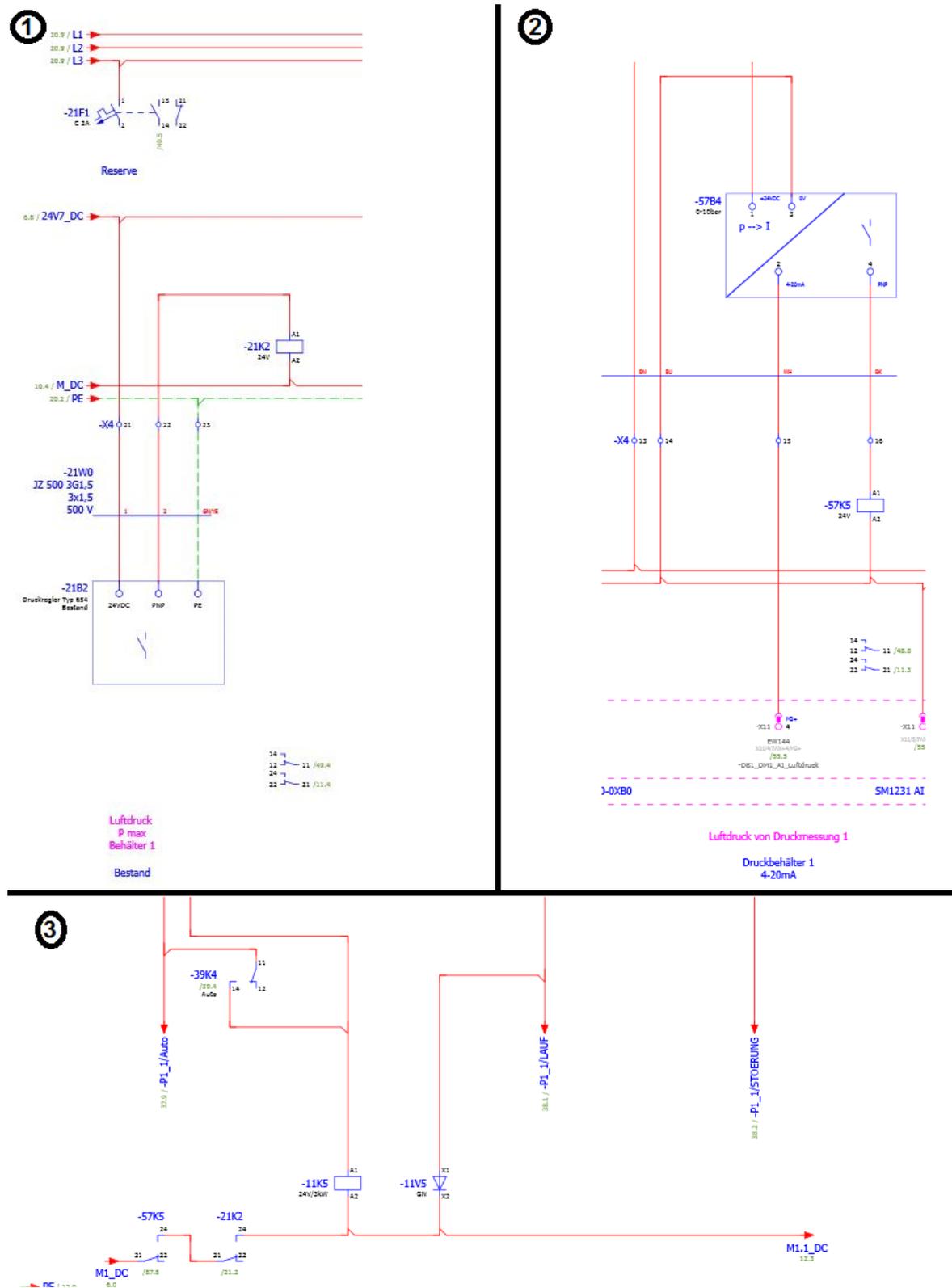


Abbildung 6.7: Schaltplanauszug Druckschalter

Abbildung 6.7 Bild 1: Druckschalter Typ 654 versorgt bei Normaldruck die Spule des Relais 21K2

Abbildung 6.7 Bild 2: Schaltkontakt Drucksensor Balluff versorgt bei Normaldruck die Spule des Relais 57K5

Abbildung 6.7 Bild 3: Die Kontakte der Relais 21K2 und 57K5 schalten die Masse der Schützspule 11K5. Diese Schaltet die Druckpumpe 1 des ersten Druckbehälters.

Diese Schaltung liegt bei allen Schützspulen der Druckpumpen und Kompressoren vor. Damit werden bei Überdruck im Druckbehälter auch im Handbetrieb alle Aggregate abgeschaltet.

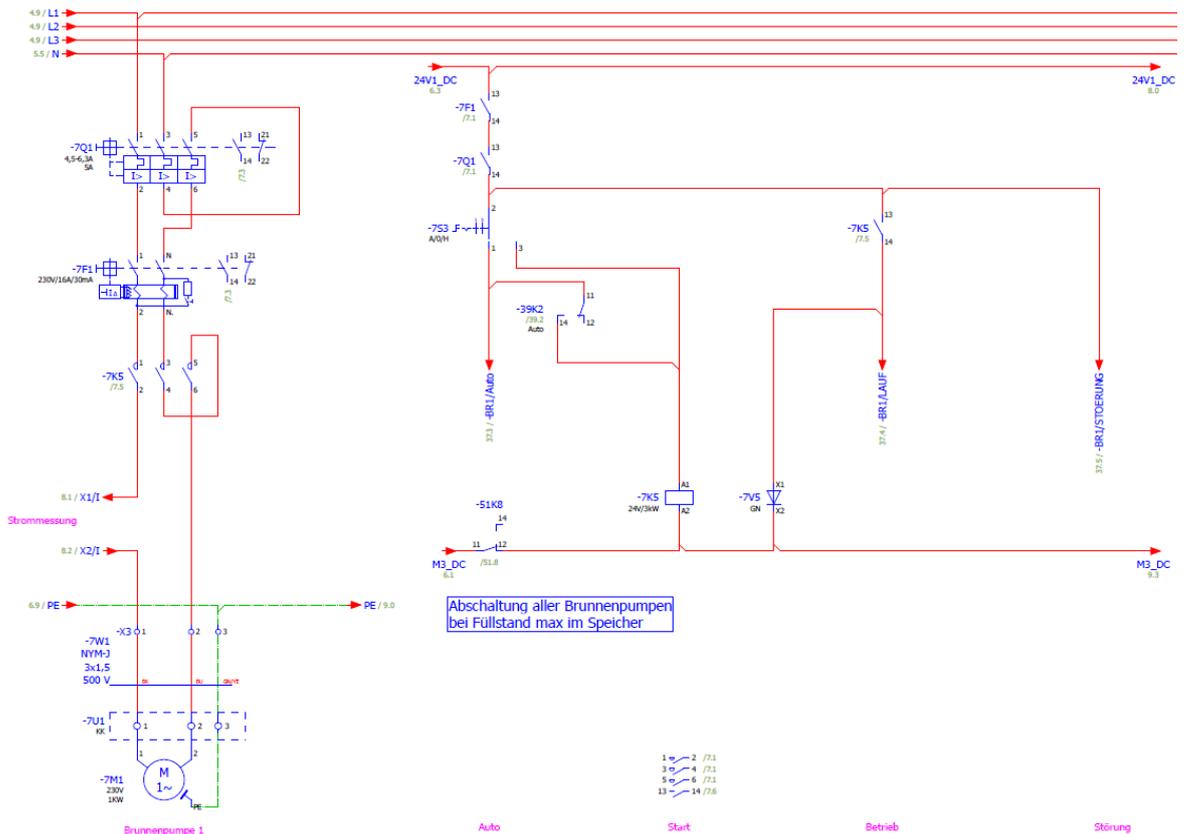


Abbildung 6.8: Anschlussschema Brunnenpumpe 1

Abbildung 6.8 zeigt die Ansteuerung der ersten Brunnenpumpe. Dabei ist zu beachten, dass Motorschutzschalter 7Q1 und Schütz 7K5 mit drei Anschlüssen ausgestattet sind. Da die Brunnenpumpe aber nicht mit Drehstrom betrieben wird, werden die Kontakte durchgeschleift

Bei Erreichen des maximalen Füllstandes wird die Masse der Schützspule 7K5 durch Relais 51K8 unterbrochen. Somit schaltet die Brunnenpumpe auch im Handbetrieb ab.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AS	Ablaufsprache
AWL	Anweisungsliste
BM	Boyle-Mariotte
CPU	Zentrale Prozessoreinheit
DINT	Datentyp Doubleinteger
DWord	Datentyp Doubleword
FB	Funktionsbaustein
FC	Funktion
FUP	Funktionsplan
HMI	Human Maschine Interface
KOP	Kontaktplan
OB	Organisationsbaustein
PAE	Prozessabbild der Eingänge
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
ST	Structured Text

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Darstellung Steuerungsstruktur und vereinfachter Regelung [ENZ01], [MRS01]	3
Abbildung 2.2: Darstellung Schaltungsschema VPS und SPS	4
Abbildung 2.3: Darstellung Anlagenlebenszyklus	5
Abbildung 2.4: Darstellung Hardwarekonfiguration (Quelle: HBR01, erstellt mit Siemens TIA Portal V12, Gerätekonfiguration Programm „Gartenanlage“)	6
Abbildung 2.5: Darstellung zyklische Programmabarbeitung [JK01]	8
Abbildung 2.6: Darstellung Programmiersprachen KOP (links) und FBS (rechts)	9
Abbildung 2.7: Darstellung Programmiersprachen ST (links) und AWL (rechts)	9
Abbildung 2.8: Darstellung Schema Ablaufsteuerung	9
Abbildung 3.1: Darstellung Wasserspeicher im Außenbereich	11
Abbildung 3.2: Darstellung Druckbehälter im Pumpenhaus	11
Abbildung 3.3: Darstellung Kreiselpumpen (links) und Drehstrommotoren (rechts)	12
Abbildung 3.4: Darstellung Druckschalter (links, mitte) und Kompressor (rechts)	12
Abbildung 3.5: Darstellung Anlagenschema	14
Abbildung 3.6: Darstellung Sensoranschlüsse Druckbehälter	15
Abbildung 3.7: Darstellung induktiver Schalter am Schauglas	18
Abbildung 3.8: Darstellung Arretierung der Tauchsonde	21
Abbildung 3.9: Darstellung Kreissegment und Ausschnitt liegender Zylinder	22
Abbildung 3.10: Darstellung Volumenberechnung mit MS Excel	24
Abbildung 3.11: Darstellung Druckentwicklung	24
Abbildung 3.12: Darstellung Druckabweichung nach Boyle-Mariotte	25
Abbildung 4.1: Darstellung Magnetventil	33
Abbildung 4.2: Darstellung Schaltbild 5/3 Wegeventil	33
Abbildung 5.1: Darstellung Hardwarekonfiguration TIA-Portal	34
Abbildung 5.2: Darstellung PLC-Variablen	36
Abbildung 5.3: Darstellung Einlesen der Analogmesswerte	37
Abbildung 5.4: Darstellung Einlesen der Analogmesswerte	37
Abbildung 5.5: Darstellung Integrationsfaktorbildung	38
Abbildung 5.6: Darstellung Messwertintegration	38
Abbildung 5.7: Darstellung Ergebnisdämpfung	39
Abbildung 5.8: Darstellung gleitende Mittelwertbildung	39
Abbildung 5.9: Darstellung Funktion Bit to Byte	40
Abbildung 5.10: Darstellung Digitaleingänge in DB schreiben	40

Abbildung 5.11: Darstellung Pumpeninitialisierung	41
Abbildung 5.12: Darstellung zyklischer Regimewechsel	42
Abbildung 5.13: Darstellung Regimewechsel bei Störung Pumpe 1	42
Abbildung 5.14: Darstellung Betriebsstundenerfassung	43
Abbildung 5.15: Darstellung Schaltspielerfassung	43
Abbildung 5.16: Darstellung Störmeldungsbildung am Beispiel Pumpe 1	44
Abbildung 5.17: Darstellung Grenzwertbildung maximaler Füllstand	45
Abbildung 5.18: Darstellung Grenzwertbildung maximaler Strom	46
Abbildung 5.19: Darstellung Maximalwertbegrenzung Behälterfüllstand	46
Abbildung 5.20: Darstellung Stromschwankungsberechnung	47
Abbildung 5.21: Darstellung Schaltpunktbildung	49
Abbildung 5.22: Darstellung Pumpenansteuerung	49
Abbildung 5.23: Darstellung Anlaufverzögerung	50
Abbildung 5.24: Darstellung Gruppenbereitschaft	50
Abbildung 5.25: Darstellung Gruppenwechsel	51
Abbildung 5.26: Darstellung Schaltpunktvergabe Gruppenbetrieb	51
Abbildung 5.27: Darstellung Schaltpunktvergabe Einzelbetrieb	52
Abbildung 5.28: Darstellung Füllstandberechnung	52
Abbildung 5.29: Darstellung Volumenberechnung	53
Abbildung 5.30: Darstellung Konstantenberechnung nach Boyle-Mariotte	53
Abbildung 5.31: Darstellung Berechnung theoretischer Luftdruck	53
Abbildung 5.32: Darstellung Schaltpunktermittlung und Arbeitsbereich	54
Abbildung 5.33: Darstellung Plausibilität Ventiltaktung	55
Abbildung 5.34: Darstellung Intervallsteuerung und Start Magnetventil	55
Abbildung 5.35: Darstellung Fensterbildung Druckabweichung	55
Abbildung 5.36: Darstellung Schaltdruckgenerierung Magnetventil	56
Abbildung 5.37: Darstellung Schaltpunktgenerierung Magnetventil	57
Abbildung 5.38: Darstellung Arbeitsbereich und Impulsüberwachung Magnetventil	58
Abbildung 5.39: Darstellung Aktivierung Nachtbetrieb	59
Abbildung 5.40: Darstellung Schaltpunktbelegung Nachtbetrieb	60
Abbildung 5.41: Darstellung Datensicherung	60
Abbildung 5.42: Darstellung SPS-Uhrzeit lesen und speichern	61
Abbildung 5.43: Darstellung Bildvorlage	61
Abbildung 5.44: Darstellung Funktionsbelegung Softkeytasten	62
Abbildung 5.45: Darstellung Speicherbehälter [DBG001]	63

Abbildung 5.46: Darstellung HMI-Variablen	63
Abbildung 5.47: Darstellung Balkendefinition	63
Abbildung 5.48: Darstellung Anzeigengestaltung	63
Abbildung 5.49: Darstellung Variablenauswahl aus CPU	64
Abbildung 5.50: Darstellung Pumpenaggregate	64
Abbildung 5.51: Darstellung Automatikmodus Pumpenaggregat	65
Abbildung 5.52: Darstellung Betrieb Pumpenaggregat	65
Abbildung 5.53: Darstellung Animationsbit Pumpenaggregat	65
Abbildung 5.54: Darstellung Anzeigereihenfolge	66
Abbildung 5.55: Darstellung Meldefenster Anlagenübersichtsbild	66
Abbildung 5.56: Darstellung Meldefenster Außentemperatur	67
Abbildung 5.57: Darstellung Sichtbarkeit Nachtbetriebsgrafik	67
Abbildung 5.58: Darstellung 3D-Effekt Touchtaste	68
Abbildung 5.59: Darstellung Bedienfunktion Touchtaste	68
Abbildung 5.60: Darstellung Grenzen Sollwerte	69
Abbildung 5.61: Darstellung Benutzerverwaltung	69
Abbildung 5.62: Darstellung Benutzer und Freigaben	70
Abbildung 5.63: Darstellung Benutzer und Freigaben	70
Abbildung 5.64: Darstellung Anmeldedialog	71
Abbildung 5.65: Darstellung Grafikschatfläche	71
Abbildung 5.66: Darstellung Bitsetzfunktion	72
Abbildung 5.67: Darstellung Sollwertspeicherung	72
Abbildung 5.68: Darstellung Bildebenen	72
Abbildung 5.69: Darstellung Panelbilder Druckbehälter	75
Abbildung 5.70: Darstellung Messwertdiagramm	76
Abbildung 5.71: Darstellung Anlagenübersichtsbild	77
Abbildung 5.72: Darstellung System Uhrzeit	77
Abbildung 5.73: Darstellung Störmeldungen HMI	79
Abbildung 5.74: Darstellung Störmeldeausgänge Leuchtmelder und Außenleuchte	80
Abbildung 6.1: Ergebnisberechnung Messwertdämpfung	ii
Abbildung 6.2: Diagramm Volumen und Druckentwicklung	v
Abbildung 6.3: Diagramm BM Abweichung	v
Abbildung 6.4: Diagramm Wasserspeicher	xi
Abbildung 6.5: Diagramm Druckluftbehälter	xi
Abbildung 6.6: Diagramm Strommessung	xi

Abbildung 6.7: Schaltplanauszug Druckschalter

xii

Abbildung 6.8: Anschlussschema Brunnenpumpe 1

xiii

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Umrechnungstabelle für Druck und Füllstand	21
Tabelle 3.2: Ein- und Ausgangssignale	26
Tabelle 4.1: Vergleichstabelle Bitauflösung zu Füllstandsauflösung	30
Tabelle 5.1: Tabelle Messwertauflösung	37
Tabelle 5.2: Tabelle Schaltpunktermittlung	48
Tabelle 6.1: Tabelle Messwertdämpfung 10 Integrationssekunden	i
Tabelle 6.2: Tabelle Messwertdämpfung eine Integrationssekunde	ii
Tabelle 6.3: Tabelle Tabelle Füllstands- und Druckentwicklung im Druckbehälter	iii
Tabelle 6.4: Tabelle Auswirkung Druckabweichung bei variablem Füllstand	iv
Tabelle 6.5: Tabelle Defaultwerte Bedienpanel	vi
Tabelle 6.6: Allgemeine Fehler	vi
Tabelle 6.7: Fehlermeldungen Funktionsbereiche Wasserspeicher und Druckbehälter	vii

Literaturverzeichnis

- [BUSO1] Feldbusse
Modbus
<http://www.feldbusse.de/ModbusTCP/modbustcp.shtml>
Abfragedatum: 02.11.2013
- [DBG001] Google
Bilder Druckkessel
<https://www.google.de/search?q=druckkessel+animation&source=Inms&tmb=isch>
Abfragedatum: 02.11.2013
- [DSB01] Balluff
Produktkatalog Balluff-Sensoren
http://www.balluff.com/balluff/MDE/de/produkte/catalogue/products_details.jsp?id=BSP0016-188408
Abfragedatum: 02.03.2013
- [DSB01] Nöding
Datenblatt Füllstandssensor Nöding
<http://www.noeding-messtechnik.de/files/data-p133-de.pdf>
Abfragedatum: 02.03.2013
- [DSV01] Vega
Datenblatt Füllstandssensor Vega
<http://vega.com/downloads/PD/DE/34733-DE.PDF>
Abfragedatum: 02.03.2013
- [ENZ01] Prof. Dr. Enzmann
Vorlesung Regelungstechnik
Skript, Hochschule Anhalt, Köthen, 2012
- [GW01] Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow
Automatisieren mit SPS – Theorie und Praxis
Vieweg und Teubner, Wiesbaden, Auflage 5, 2011
- [HB01] Herbert Bernstein
Automatisierungstechnik und Visualisierung
VDE Verlag, 2002

-
- [HBR01] Hans Berger
Automatisieren mit SIMATIC S7-1200 : Programmieren, Projektieren und Testen mit STEP 7 Basic V11; Visualisieren mit WinCC Basic V11
Publicis Publishing, Erlangen, 2. Auflage 2013
- [HL01] Helmut Lindner
Physik für Ingenieure
Carl Hanser Verlag, 17. Auflage
- [HRT01] SAMSON
HART-Kommunikation
http://www.samson.de/pdf_de/l452de.pdf
Abfragedatum: 07.06.2014
- [LP01] Lothar Papula
Mathematische Formelsammlung für Ingenieure und Naturwissenschaftler
Vieweg und Teubner, Wiesbaden, 10. Auflage
- [MRS01] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop
Moderne Regelungssysteme
Pearson Studium, 10. Auflage, überarbeitete Auflage
- [MVF01] Festo
Übersicht Magnetventile Festo
http://www.festo.com/cat/de_de/data/doc_de/PDF/DE/VSVA-C_DE.PDF
Abfragedatum: 02.03.2013
- [MVF02] Festo
Produktkatalog Festo
http://www.festo.com/cat/de_de/products_VSVA_R
Abfragedatum: 02.03.2013
- [PB01] Beuth Hochschule für Technik, Berlin
Automatisierungstechnik
http://public.beuth-hochschule.de/~msr/pdf-files/CAM-Labor/CAM_Kapitel_1.pdf
Abfragedatum: 29.10.2013

-
- [PSPS01] Panasonic
Datenblatt SPS FP-Sigma
http://www.panasonic-electric-works.at/pewat/de/downloads/sf_x634_de_fpsigma.pdf
Abfragedatum: 02.03.2013
- [RW01] Rainer Weller
Entstehungshistorie Automatisierung
<http://www.forum-sondermaschinenbau.de/seiten/Entstehungshistorie.htm>
Abfragedatum: 18.11.2013
- [SA01] Automation
Die unendliche Geschichte der SPS, Siemens, Ausgabe 03/ 2003
<http://www.automationnet.de/index.cfm?pid=1702&pk=12744>
Abfragedatum: 29.10.2013
- [SO01] Stefan Oluschinsky
Speicherprogrammierbare Steuerungen- Vom Relais zur heutigen SPS in der Automatisierungstechnik
Produktentwicklung SoSe 2006
- [SPS01] SPS-Magazin
Die speicherprogrammierbare Steuerung wird 40 – Ein System in den besten Jahren
http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=40077
Abfragedatum: 21.11.2013
- [SPS02] SPS-Magazin
S5-Steuerungen mit modernen Rechnern
http://www.sps-magazin.de/?inc=artikel/article_show&nr=40077
Abfragedatum: 07.06.2014
- [SSPS01] Siemens
Simatic S7-1200 und Step7 Basic V10.5
http://www.siemens.de/industry/automation/mitte/downloads/documents/nach_fu_enf_mannheim_s7-1200.pdf
Abfragedatum: 02.11.2013
- [SSPS02] Siemens
Baugruppenkatalog Simatic S7-1200
<https://eb.automation.siemens.com/mall/de/ww/catalog/products/10045683?tree=CatalogTree>
Abfragedatum: 02.11.2013

-
- [SSPS03] Siemens Konfigurator
Multiselektor
<http://www.multiselector.com/de/selektor-produktauswahl-konfigurator/plc-siemens-simatic-s71200.html>
Abfragedatum: 07.06.2014
- [SSPS03] Siemens
Katalog ST70 2013
http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/de/simatic_st70_complete_german_2013.pdf
Abfragedatum: 23.06.2014
- [WIK02] Wikipedia
Kreissegment
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kreissegment>
Abfragedatum: 29.10.2013

