



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorthesis

Hendrik Schroeder

Erstellung eines vernetzten
Gebäudeautomationssystems für die
Ingenieurausbildung

Hendrik Schroeder
Erstellung eines vernetzten
Gebäudeautomationssystems für die
Ingenieurausbildung

Bachelorthesis eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang Informations- und Elektrotechnik
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. Holger Gräßner
Zweitgutachter : Prof. Dr. Michael Röther

Abgegeben am 15. Juli 2016

Hendrik Schroeder

Thema der Bachelorthesis

Erstellung eines vernetzten Gebäudeautomationssystems für die
Ingenieurausbildung

Stichworte

Gebäudeautomatisierung, Raumautomatisierung, Laboraufgabe, Ingenieurausbildung, Anlagensimulation, KNX, DALI, Modbus, BACnet, CoDeSys

Kurzzusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung und Inbetriebnahme eines Gebäudeautomationssystems. Das System setzt sich aus einzelnen Automatisierungsstationen zusammen. Für die Inbetriebnahme wurde Software entwickelt, um Komponenten und Funktionen des Gebäudeautomationssystems zu testen. Weiter wurden geeignete Laborversuche für die Veranstaltung „Gebäudeeffizienz“ entwickelt und durchgeführt. Um Laboraufgaben zu erstellen, wurden Konzepte und Methoden der Gebäudeautomatisierung untersucht. Daraus wurden grundlegende Funktionen abgeleitet und angepasst, damit die Aufgaben im Labor umgesetzt werden können.

Hendrik Schroeder

Title of the paper

Development of a networked building automation system for engineering education

Keywords

building automation, room automation, laboratory task, engineering education, system simulation, KNX, DALI, Modbus, BACnet, CoDeSys

Abstract

This paper deals with the development and commissioning of a building automation system. To this end a software program was developed to test all components and functions of automation stations that had been specially built for this project. Laboratory tasks suitable for the „building efficiency“ classes were also developed and carried out. These tasks were defined based upon the concepts and methods of building automation and were designed to focus on specific elements of the building automation system at a level of complexity appropriate for the students.

Zusammenfassung

Im Studiengang „Regenerative Energiesysteme und Energiemanagement - Elektro- und Informationstechnik“ bildet die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Ingenieurinnen und Ingenieure aus, die zukünftig den Bedarf an Fachpersonal in den Bereichen Energietechnik und Energiemanagement decken.

Dazu werden Studierende im Bereich der Gebäudeeffizienz ausgebildet. Durch das vernetzte Gebäudeautomationssystem sollen Teilnehmer die praktische Anwendung von Konzepten und Techniken der Gebäudeautomatisierung erlernen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Erstellung und Inbetriebnahme eines Gebäudeautomationssystems, sowie der Entwicklung geeigneter Laboraufgaben die Teilnehmern grundlegende Funktionen der Raum- und Gebäudeautomatisierung näher bringen.

Das Gebäudeautomationssystem setzt sich aus sechs Raumautomatisierungsstationen und je einer Heizungs-, Lüftungs- und Wetterstation zusammen.

Eine Raumautomatisierungsstation besteht aus einer speicherprogrammierbaren Steuerung und Bussystemen der Gebäudetechnik.

Die Heizungs- und Lüftungsstationen werden ebenfalls durch eine speicherprogrammierbare Steuerung betrieben. Auf ihnen werden Anlagenmakros ausgeführt, die in der Lage sind, Heizungs- und Lüftungsanlagen zu betreiben.

Eine Wetterstation zur Wetterdatenerfassung vollendet das Gebäudeautomationssystem. Sie erfasst und verarbeitet meteorologische Daten. Diese Daten werden Raumautomatisierungsstationen im Netzwerk zur Verfügung gestellt.

In dieser Bachelorarbeit wurden die Stationen geplant und Stromlaufpläne erstellt. Außerdem wurde geeignete Software entwickelt um die erstellten Raumautomatisierungsstationen auf Funktion zu überprüfen.

Parallel dazu wurden Aufgaben erstellt, die Studierende in der Laborveranstaltung bearbeiten. Durch die Bearbeitung lernen Teilnehmer Methoden der Raumautomatisierung kennen und erlernen, sie auf Gebäudeautomationssystemen zu implementieren. Um geeignete Aufgaben zu stellen, wurden Konzepte und Funktionen der Raum- und Gebäudeautomatisierung untersucht. Aus diesen grundlegenden Konzepten wurden spezielle Funktionen ausgewählt, die in der Gebäudeautomatisierung besonders wichtig sind. Diese Funktionen wurden angepasst, damit sie auf der Raumautomatisierungsstation realisierbar sind und über einen angemessenen Schwierigkeitsgrad verfügen.

Diese Laboraufgaben führen die Teilnehmer schrittweise an die Gebäudeautomatisierung, in dem sie sukzessiv Komponenten und Funktionen einbeziehen.

Nach erfolgreicher Teilnahme an der Laborveranstaltung besitzen Studierende grundlegende Kenntnisse der Gebäudeautomatisierung.

Auf der Heizungs- sowie Lüftungsstation wurden die Makros installiert und parametrisiert. Diese Makros basieren auf Verknüpfungen verschiedener Funktionsbausteine. Miteinander verknüpft ermöglichen sie die Steuer- und Regelung kompletter Heizungs- und Lüftungsanlagen.

Bei der Inbetriebnahme der Stationen wurden die Eingänge skaliert und die Funktionen der Verdrahtung und Hardware überprüft.

Abschließend gibt diese Arbeit einen Ausblick in die Zukunft des Gebäudeautomationssystems und zeigt auf, wie es weiter genutzt werden kann. Es werden Ideen zur Simulation einer Heizungs- und Lüftungsanlage aufgezeigt und die Simulation eines temperaturabhängigen Widerstands diskutiert.

Zukünftig steht der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg dadurch ein System zu Verfügung, dass flexibel zur Ausbildung im Bereich der Automatisierungstechnik eingesetzt werden kann.

Durch Schnittstellen mit verwendeten Bussystemen und standardisierten Übertragungsprotokollen kann das Gebäudeautomationssystem als Grundlage für weitere Projekte verwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	10
Abbildungsverzeichnis	11
1. Motivation dieser Bachelorarbeit	13
2. Gebäudeautomatisierung	17
2.1. Energiemanagement durch Gebäudeautomatisierung	17
2.1.1. Ableitung dreier Aufgaben	19
2.2. Strukturen	19
2.2.1. Zentrale Gebäudeautomatisierung	19
2.2.2. Dezentrale Gebäudeautomatisierung	20
2.2.3. Halbzentrale Gebäudeautomatisierung	22
3. Ausgewählte Bussysteme	24
3.1. KNX	24
3.1.1. Komponenten	24
3.1.2. Übertragungsmedien	25
3.1.3. Topologie	26
3.1.4. Physikalische Adressen	28
3.1.5. Programmierung in Gruppen	28
3.2. DALI	29
3.2.1. Komponenten	29
3.2.2. Topologie	30
3.2.3. Adressierung und Programmierung	31
3.3. Modbus/TCP	32
3.3.1. Protokollgrundlagen	32
3.3.2. Datentypen	33
3.3.3. Verwendung	34
3.4. BACnet	35
3.4.1. Konzept	35
3.4.2. Dienste und Objekte	36
3.4.3. Einsatzbereich	40

3.4.4. Ableitung einer Aufgabe	41
4. Entwicklungsumgebung	42
4.1. CoDeSys	42
4.2. ETS5	42
4.3. WAGO DALI Konfigurator	43
4.4. WAGO BACnet Konfigurator	44
5. Raumautomatisierungsstationen	45
5.1. Komponenten	46
5.1.1. KNX Betriebsmittel	46
5.1.2. DALI Betriebsmittel	47
5.1.3. WAGO I/O System	49
5.2. Verdrahtung	52
5.2.1. Klemmenplan	52
5.2.2. Stromlaufpläne	52
5.3. Inbetriebnahme	53
6. Wetterstation	57
6.1. Ableitung einer Aufgabe	59
7. Lüftungsstation	60
7.1. Funktionsbeschreibung	60
7.2. Stromlaufplan	62
7.3. Inbetriebnahme	63
8. Heizungsstation	64
8.1. Funktionsbeschreibung	64
8.2. Stromlaufplan	65
8.3. Inbetriebnahme	66
9. Laboraufgaben	67
9.1. Laboraufgabe 1: Inbetriebnahme KNX-System	67
9.1.1. Zielsetzung	67
9.1.2. Benötigte Hilfsmittel	67
9.1.3. Aufgabenstellung	68
9.1.4. Musterlösung	70
9.1.5. Probleme und Lösungen	70
9.2. Laboraufgabe 2: Lichtsteuerung	72
9.2.1. Zielsetzung	72
9.2.2. Benötigte Hilfsmittel	72
9.2.3. Aufgabenstellung	73

9.2.4. Musterlösung	75
9.2.5. Probleme und Lösungen	76
9.3. Laboraufgabe 3: Raumautomatisierung	78
9.3.1. Zielsetzung	78
9.3.2. Benötigte Hilfsmittel	78
9.3.3. Aufgabenstellung	79
9.3.4. Musterlösung	82
9.3.5. Probleme und Lösungen	84
9.4. Laboraufgabe 4: Wetterstation	86
9.4.1. Zielsetzung	86
9.4.2. Benötigte Hilfsmittel	86
9.4.3. Aufgabenstellung	86
9.4.4. Musterlösung	88
9.5. Laboraufgabe 5: BACnet	89
9.5.1. Zielsetzung	89
9.5.2. Benötigte Hilfsmittel	89
9.5.3. Aufgabenstellung	90
9.5.4. Musterlösung	91
10. Simulation eines Heiz- und Lüftungssystems	93
10.1. Übersicht	93
10.2. Ziel	94
10.3. Ansatz zu Simulation eines Temperaturwiderstandes	96
11. Fazit und Ausblick	98
Literaturverzeichnis	101
A. Anhang: Raumstation	103
A.1. Tragschienenplan	103
A.2. Stromlaufplan	104
A.3. Foto der Hardware	106
A.4. Stückliste	107
B. Anhang Lüftungsstation	109
B.1. Tragschienenplan	109
B.2. Stromlaufplan	110
B.3. Foto der Hardware	116
B.4. Stückliste	117
C. Anhang Heizungsstation	118
C.1. Tragschienenplan	118

C.2. Stromlaufplan	119
C.3. Foto der Hardware	120
C.4. Stückliste	121
D. Digitaler Anhang	122
Glossar	123

Tabellenverzeichnis

3.1. Datentypen Modbus/TCP	33
3.2. Ausgewählte BACnet-Datentypen	37
3.3. Gruppen von BACnet-Diensten	38
5.1. DALI-Konfiguration Inbetriebnahme	55
9.1. Karnaugh-Veitch-Diagramm Rollladenautomatik	83
10.1. Übersicht: Ein- und Ausgänge der Stationen	95
10.2. Übersicht: Benötigte Ein- und Ausgänge	95
10.3. Temperaturen für $R_R = 694\Omega$, $R_P = 500\Omega$ und $R = 3342\Omega$	97

Abbildungsverzeichnis

2.1. Zentrale Automatisierung	20
2.2. Dezentrale Automatisierung	21
2.3. Halbzentrale Automatisierung	22
3.1. KNX-Logo	24
3.2. KNX-Topologien	26
3.3. KNX-Liniensegment	27
3.4. KNX-Linienkoppler	27
3.5. KNX-Bereichskoppler	27
3.6. KNX-Gruppenadressstruktur	28
3.7. DALI-Logo	29
3.8. DALI-Topologie	30
3.9. DALI-Projekt	31
3.10. Modbus-Logo	32
3.11. Modbus TCP Application Data Unit	32
3.12. BACnet-Logo	35
3.13. BACnet-Topologie	40
5.1. Netzwerkübersicht des Gebäudeautomationsystems	45
5.2. Busch-Jäger Raumtemperaturregler	46
5.3. Zennio Lumento X3 RGB-Controller	47
5.4. DALI MSensor	48
5.5. DALI 3-Kanal Controller	48
5.6. Wago BACnet/IP-Controller 750-831 mit Busklemmen	49
5.7. Inbetriebnahme CoDeSys-Projekt	54
5.8. Gruppenadressen im ETS-Projekt	56
6.1. Anschlüsse der Wetterstation	57
7.1. Anlagenschema Vollklimaanlage	61
8.1. Anlagenschema Heizkreis mit Wärmetauscher	65
9.1. Frontansicht KNX/EIB/TP1-Klemme	77

10.1.Konzept der Anlagensimulation	94
10.2.Schaltbild Temperaturwiderstand	96

1. Motivation dieser Bachelorarbeit

Die internationalen Klimaziele, die im Dezember 2015 auf der 21. Klimakonferenz der Vereinten Nationen angenommen wurden, sehen vor, die Erderwärmung auf unter 2°C, möglichst 1,5°C, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Im April 2016 wurde dieser Klimavertrag [3] durch die Bundesumweltministerin Barbara Hendricks unterzeichnet.

Um dieses Ziel umzusetzen verpflichten sich die teilnehmenden Staaten zu Finanzhilfen für Entwicklungsländer und einer Reduktion des Treibhausgasausstoßes.

In der Zeit bis 2020 sollen Emissionen um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden. Langfristiges Ziel der Bundesregierung ist eine Reduzierung des umweltschädlichen Ausstoßes um 80 bis 95 Prozent bis ins Jahr 2050.

Bereits im Jahr 2010 wurde durch die Bundesregierung ein Energiekonzept [5] herausgegeben, nach dem der Energieverbrauch gesenkt werden muss. Beschriebene Ziele sind die Verringerung des Primärenergieverbrauchs um 20 Prozent bis 2020 und 50 Prozent bis 2050 gegenüber dem angenommenen Basisjahr 2008.

Neben der Verminderung des Primärenergieverbrauchs plant die Bundesregierung einen kontinuierlichen Ausbau der erneuerbaren Energien mit Hilfe des Erneuerbares-Energien-Gesetz (EEG) bis ins Jahr 2025 bzw. 2050.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie teilt die Verbraucher von Endenergie in vier Bereiche: Industrie (29,0 Prozent), Verkehr (20,4 Prozent), Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD, 15,0 Prozent) und die Haushalte (25,6 Prozent). In den Klammern befinden sich die Daten des Endenergieverbrauches aus dem Jahr 2014, bezogen auf die gesamte verbrauchte Endenergie von 8648 Petajoule. [4]

Um die definierten Ziele zu erreichen, strebt die Bundesregierung bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand an. Das bedeutet für Gebäude, dass ihr Energieverbrauch in der Zukunft deutlich niedriger sein muss als in der heutigen Zeit. Zusätzlich zu der erhöhten Energieeffizienz muss auch der Einsatz von erneuerbaren Energien, wie beispielsweise Solaranlagen und Wärmepumpen, forciert werden.

Durch das Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, kurz Erneuerbare-Energien-Gesetz, (EEG) welches am 01.04.2000 in Kraft getreten ist und am 01.08.2014 neu verfasst

wurde, wird unter anderem die Einspeisevergütung für Energie aus erneuerbaren Quellen definiert. Dieses Gesetz soll eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung ermöglichen um fossile Energieressourcen zu schonen und Technologien zur Energiewandlung aus erneuerbaren Quellen weiterentwickeln. Ziel ist es, bis in das Jahr 2050 80 Prozent der benötigten Bruttoenergie aus erneuerbaren Quellen zu wandeln. Dafür sind im Erneuerbare-Energien-Gesetz zwei Zwischenziele definiert. Bis ins Jahr 2025 sollen bis zu 45 Prozent und bis ins Jahr 2035 bis zu 60 Prozent der benötigten Energie aus regenerativen Energiequellen gewandelt werden. (§1 Abs. 2 EEG 2014)

Um den Umgang mit erneuerbaren Energien und den ressourcenschonenden Gebrauch von vorhandener Energie stärker zu betonen, hat die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg zum Wintersemester 2013/2014 den Studiengang „Regenerative Energiesysteme und Energiemanagement - Elektro- und Informationstechnik“ eingeführt. In diesem Studiengang werden Studierende auf Tätigkeiten in den Bereichen Energietechnik und Energiemanagement vorbereitet. Neben naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen werden im Verlauf des Studiums Kenntnisse und Spezialwissen in den Bereichen Energieversorgung und Energieeffizienz vermittelt.

In der Veranstaltung „Gebäudeeffizienz“ werden den Studierenden Inhalte und Methoden zum energieeffizienten Betrieb von Gebäuden erläutert. Dazu zählen Aufgaben des technischen Gebäudemanagements und die Optimierung von Gebäuden durch Methoden der Automatisierungstechnik um Energie einzusparen.

Im Praktikum, auch Laborversuch genannt, welches der Veranstaltung angegliedert ist, soll der Umgang mit einigen grundlegenden Techniken der Gebäudeautomation erlernt und angewandt werden.

Für die praktische Ausbildung wurde technische Ausrüstung beschafft. Diese Ausrüstung muss installiert und in Betrieb genommen werden. Nachdem die Laborausstattung in Betrieb genommen wurde, müssen geeignete Aufgaben formuliert werden.

Zur Labordurchführung stehen sechs Raumautomatisierungsstationen zur Verfügung. Diese bestehen aus einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), einem KNX¹- und einem DALI²-System.

Um weitere Anwendungen der Gebäudeautomation zu integrieren, stehen eine Lüftungs- sowie eine Heizungsstation bereit.

Auf den Stationen werden Anlagenmakros betrieben. Sie werden durch die Firma Wago zur Verfügung gestellt. Auf der Heizungsstation wird ein Heizkreismakro mit Vorlauftemperatur-

¹ehemals Konnex, technischer Nachfolger des Europäischen Installationsbus

²Digital Addressable Lighting Interface, Schnittstellendefinition, auf die Beleuchtungstechnik spezialisiert

regelung und Rücklauf temperatur-Begrenzung ausgeführt. Anlagenmakros werden parametrisiert, Programmieraufgaben entfallen größtenteils.

Um eine Lüftungsanlage aus der Gebäudetechnik zu betreiben, steht eine Lüftungsstation, die eine Vollklimaanlage mit Mischluft und Ventilator mit Frequenzumrichter steuert und regelt, zur Verfügung.

Die beiden Anlagenstationen steuern und regeln in der Gebäudetechnik nachstehende Heiz- und Lüftungsanlagen mit Umwälz- oder Wärmepumpen. Diese realen Anlagen müssen den Laboraufbauten simuliert werden. Dazu stehen Schalter und Potentiometer zur Verfügung um sie manuell einzustellen.

Eine Wetterstation rundet das Konzept des Gebäudeeffizienzlabors ab. Sie wird ebenfalls von der Firma Wago bereitgestellt und übernimmt die Erfassung von Wetterdaten. Der flexROOM-Weather-Verteiler wird mit den benötigten Sensoren verbunden, bereitet die Signale auf und stellt sie Raumstationen zur Verfügung. Über Modbus-Register ist es möglich, die unverarbeiteten Daten auszulesen und auf der SPS zu verarbeiten.

In dieser Bachelorarbeit wird die technische Ausstattung in Betrieb genommen, dokumentiert und Aufgaben für das Labor der Veranstaltung „Gebäudeeffizienz“ erstellt.

Die Raumautomatisierungs-, Heizungs- und Lüftungsstationen werden verdrahtet und mit geeigneten Projekten alle Ein-, Ausgänge und Funktionen überprüft.

In der Laborveranstaltung sollen Studierende erlernen, automatisierungstechnische Lösungen mit Standardkomponenten zu entwickeln und zu implementieren. Im Fokus stehen Anwendungen der Beleuchtungs- und Verschattungstechnik, sowie die Implementierung von Temperaturregelungen und Lösungen zur Optimierung des Energiebedarfs durch die Automatisierungstechnik.

Durch das Labor sollen Teilnehmer stufenweise Komponenten und Systeme der Gebäudeautomatisierung kennenlernen.

Die Aufgaben werden auf Grundlage konventioneller Komponenten und standardisierten Übertragungsprotokollen erstellt.

Um die Heizungs- und Lüftungsstation gezielter einzusetzen, soll ein Konzept erstellt werden, woraus umfangreiche Anlagensimulationen entstehen können.

In dieser Arbeit wird zunächst auf Grundlagen der Gebäudeautomatisierung eingegangen. Dabei werden Konzepte und Strukturen der Gebäudeautomatisierung untersucht und eingeschätzt.

Anschließend folgen Informationen zu eingesetzten Bussystemen und Übertragungsprotokollen. Die verwendeten Systeme sind standardisiert und kommen in der angewandten Gebäudeautomation zum Einsatz.

Die Entwicklungsumgebungen werden im 4. Abschnitt näher erläutert. Hier wird die Software, die zur Programmierung der SPS und des KNX-Systems, sowie Konfiguration des DALI-Busses und des BACnet-Netzwerkes verwendet wird, vorgestellt.

In den Kapiteln 5 bis 8 sind die Raumautomatisierungs-, Wetter-, Heizungs- und Lüftungsstation dokumentiert. Hier gibt es Informationen über Komponenten, Verdrahtung und Inbetriebnahme.

Anschließend werden die entworfenen Aufgaben erläutert und auf Lösungen sowie Probleme bei der Durchführung eingegangen.

Das Kapitel 10 gibt einen Ausblick auf Möglichkeiten, die Simulation der Heizungs- und Lüftungsanlagen umzusetzen und zeigt Ansätze der Widerstandssimulation.

Diese Bachelorthesis endet mit einer abschließenden Zusammenfassung der geleisteten Arbeit und gibt einen Ausblick, wie die entwickelte Umgebung in der Zukunft genutzt werden kann.

2. Gebäudeautomatisierung

Zu den Argumenten in der Gebäudeautomation zählen seit Jahren ein erhöhter Komfort und Sicherheitsfunktionen.

Komfortfunktionen werden vor allem mit Lichtsteuerungen, Jalousie- und Fensterfunktionen sowie Szenerie-Beleuchtung in Verbindung gebracht. Weiter können hier auch zeitgeschaltete Haushaltsgeräte wie Kaffeemaschinen oder Verriegelung von Tür und Fensterkontakten genannt werden. Die Aufzählung kann beliebig erweitert werden.

Auch die Liste der Sicherheitsfunktionen kann eine beliebige Länge erreichen. Häufig basieren Sicherheitsfunktionen auf der Auswertung von Sensoren, wie beispielsweise die Überprüfung von Fensterkontakten oder Präsenzmeldern. Aber auch viele analoge Messwerte können erfasst und ausgewertet werden. Die Raumtemperatur lässt Rückschlüsse auf die Funktion der Heizung oder einen Brand zu. Meldungen über Schalterbedienung oder Öffnung von Fenstern oder Türen bei Abwesenheit können dem Benutzer Rückschlüsse auf unerwünschte Personen im Gebäude geben.

2.1. Energiemanagement durch Gebäudeautomatisierung

Neben Komfort- und Sicherheitsfunktionen kann die Gebäudeautomation den Gebäudebetreiber bei der Energieeinsparung unterstützen. Um den Forderungen nach einem klimaneutralen Gebäudebestand, die durch die Bundesregierung ausgegeben wurden, nachzukommen ist es nötig, den Energiebedarf von Wohn- und Nutzgebäuden weiter zu verringern.

Durch Smart Metering, also den Einsatz von elektronischen Haushaltszählern, kann der Benutzer jederzeit über den aktuellen Energieverbrauch, die aktuellen Kosten und die extrapolierten Kosten im Abrechnungszeitraum informiert werden. Ziel dieser Transparenz ist eine Sensibilisierung des Kunden, der die Folgen seiner Energieeinsparung sofort ablesen kann. Durch Smart Meter können Tages- oder Jahresverbrauchslinien dargestellt werden und der Gebäudebetreiber sieht die Auswirkungen seines Handelns unmittelbar.

Eine aktive, manuelle Einflussnahme auf den Energieverbrauch wird *aktives Energiemanagement* genannt. Die aktuellen Zustandsdaten, unter die Verbrauchsdaten, wie Wärmeströme und zugeführte elektrische Energie fallen, werden gemessen und interpretiert. Dem

Benutzer werden dann entsprechende Handlungshinweise gegeben, die er aktiv umsetzen muss. Ein Beispiel dafür sind Stromverbraucher, die Nachts abgeschaltet werden können. Je mehr Sensoren und dezentrale Energiezähler integriert werden können, umso genauere Hinweise können dem Gebäudenutzer gegeben werden.

Passives Energiemanagement greift hingegen gezielt in den Gebäudeprozess ein und verändert Parameter oder Schaltzustände um den Energieverbrauch zu optimieren. Voraussetzung ist ein automatisiertes Gebäude, welches mit ausreichend und geeigneten Sensoren und Aktoren ausgestattet ist.

Zu den wichtigsten Automationsbereichen in Wohn- und Nutzgebäuden gehört die Einzelraumtemperaturregelung, da die Wärmeerzeugung der größte Energieverbraucher in Gebäuden ist (66,8 Prozent in Wohngebäuden im Jahr 2014 [4]). Hier können Einzelraumtemperaturregler in Verbindung mit dem Heizkessel effizient Energie sparen. Der Heizkessel muss dazu in das Gebäudeautomationssystem eingebunden werden. Anders als bei Profil- oder Außentemperatursteuerungen kann die Therme abhängig vom Wärmebedarf gesteuert werden. Die Raumtemperaturregler melden Bedarf an den Heizkessel und daraufhin können dieser und die Umwälzpumpe den Betrieb aufnehmen. Meldet kein Raum Wärmebedarf, können diese Komponenten heruntergefahren und abgeschaltet werden. Werden Präsenzmelder in das System eingebunden, kann erfasst werden, ob sich Personen im Raum aufhalten. Wird der Raum nicht genutzt, kann die Temperatur automatisch um ein paar Grad gesenkt werden, damit nicht alle Räume dauerhaft auf Wohlfühltemperatur geheizt werden müssen. Eine weitere Verbrauchsreduktion kann realisiert werden, wenn Fenster- und Türkontakte in die Anlage eingebunden werden. Ist ein Fenster geöffnet, strömt ein großer Teil der Wärmeenergie direkt aus dem Fenster. Werden offene Fenster detektiert, kann ein Raumtemperaturregler die Raumsolltemperatur senken um dem Raum keine Wärme mehr zuzuführen. Türkontakte können detektieren, ob Wärmeenergie über Flure und geöffnete Fenster in anderen Räumen entzogen wird.

Um die Energieeinsparungen konsequent fortzusetzen, kann auch die Beleuchtungsanlage automatisiert werden. Durch Bewegungs- oder Präsenzmelder lassen sich Leuchten, die im Treppenhaus oder auf Durchgängen wie Fluren installiert sind, bei Bedarf gezielt an- und abschalten. Dadurch kann das Licht gezielt eingesetzt werden und Räumlichkeiten werden nicht unnötig ausgeleuchtet. In Hotelzimmern ist es oft nur möglich das Licht zu schalten, nachdem ein Kartenschalter aktiviert wurde, um unnötigen Energiegebrauch zu vermeiden. [2]

Durch Abschalten der Steckdosen im Gebäude wird nicht nur die Brandlast verringert, es sorgt vor allem dafür, dass Geräte vom Netz getrennt werden und die Stromaufnahme im Standby entfällt.

Es sprechen viele Gründe dafür, Gebäude zukünftig mit einer umfangreichen Steuerung auszustatten.

2.1.1. Ableitung dreier Aufgaben

Weil die Einzelraumtemperaturregelung eine der wichtigsten Funktionen ist um Energie einzusparen, sollen Studierende diese Funktion im ersten Laborversuch implementieren. Damit geht die Inbetriebnahme des KNX-Busses einher.

Die Steuer- und Regelung von Lichtanlagen stellt eine der wichtigsten Komfortfunktionen dar. Weiter kann mit automatisiertem Licht auch Energie eingespart werden. Lichtautomatisierung wird in fast jeder Gebäudeautomatisierung umgesetzt. Daher sollen Studierende mit den Möglichkeiten der Lichtautomatisierung vertraut gemacht werden. Im zweiten Laborversuch werden Studierende an entsprechende Funktionen herangeführt.

Neben der Beleuchtungssteuerung nimmt die Beschattungssteuerung einen großen Bereich der Raumautomatisierung ein. In Bürogebäuden werden Jalousien oder Rollläden abhängig von Sonneneinstrahlung und Wetterverhältnissen gesteuert. In der dritten Laboraufgabe automatisieren Studierende daher Beleuchtung und Beschattung.

2.2. Strukturen

Um ein Gebäude zu automatisieren, können verschiedene Konzepte realisiert werden. Einteilen lassen sich Gebäudeautomationssysteme in zentrale, halbzentrale und dezentrale Gebäudeautomatisierung. Dabei wird unterschieden, wie und wo Daten verarbeitet und Applikationen betrieben werden.

2.2.1. Zentrale Gebäudeautomatisierung

Zentrale Systeme zeichnen sich durch eine zentrale Datenverarbeitung aus. Alle peripheren Geräte übermitteln und empfangen ihre Daten von einer zentralen Verarbeitungseinheit. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um eine SPS bzw. einen Programmable Logic Controller (PLC).

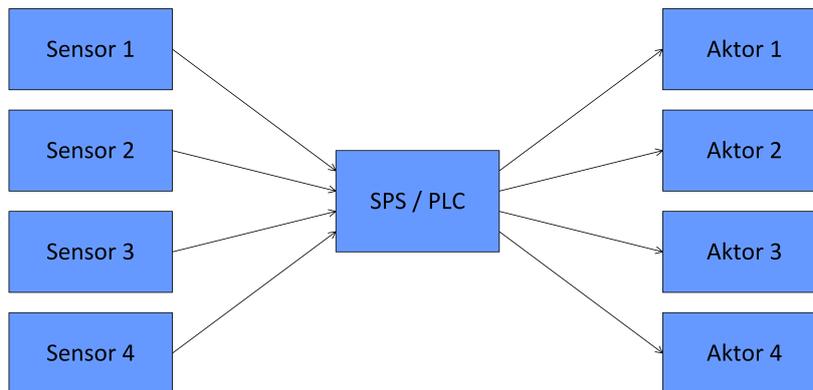


Abbildung 2.1.: Zentrale Automatisierung

Abbildung 2.1 verdeutlicht den Aufbau einer zentralen Automatisierung. Alle benötigten Daten liegen zentral der SPS vor, dadurch können beliebige logische Funktionen ausgewertet und verknüpft werden. Programme können schnell geladen und geändert werden. Durch die weite Verbreitung von speicherprogrammierbaren Steuerungen, zu denen unter anderem die Simatic von Siemens und Systeme von Beckhoff und Wago gehören, hat die Realisierung einer zentralen Automatisierung den Vorteil geringer Kosten. Die Verwendung einer SPS ermöglicht den Einsatz von einfachen Sensoren ohne Kommunikationsinterface, da sie direkt mit der Steuerung verbunden werden.

Ein erheblicher Nachteil dieser Automatisierungslösung ist allerdings die Ausfallanfälligkeit. Kann die zentrale Steuerung keine Daten mehr verarbeiten, fällt das gesamte System aus. Die Abhängigkeit von einem Bauteil kann zum Problem werden, sollte ein Defekt vorliegen oder die Versorgungsspannung ausfallen. Um die Spannungsversorgung sicherzustellen kann eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (USV) verwendet werden.

2.2.2. Dezentrale Gebäudeautomatisierung

Die Netzwerkteilnehmer dezentraler Systeme kommunizieren nicht mit einer zentralen Verarbeitungseinheit, sondern senden ihre Daten und Befehle direkt an gewünschte Aktoren.

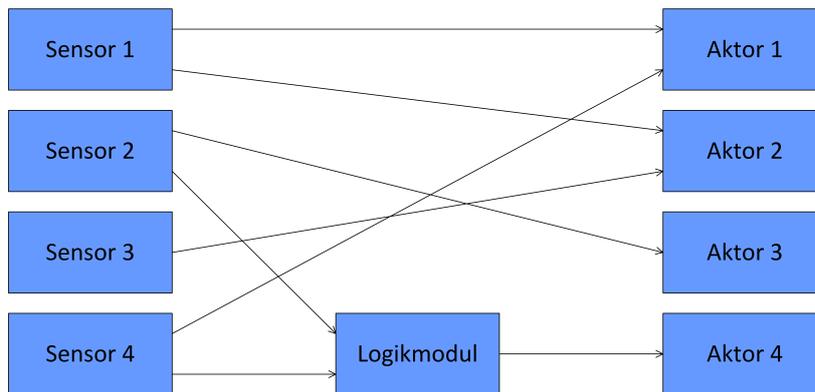


Abbildung 2.2.: Dezentrale Automatisierung

Wie in voranstehender Abbildung 2.2 zu sehen, können einzelne Sensoren mit ausgewählten Aktoren kommunizieren und dadurch Schalthandlungen auslösen. Dezentrale Systeme werden oft als Bussysteme ausgeführt. Abbildung 2.2 gibt keinerlei Auskunft über die physikalische Topologie.

Um die Kommunikation mit anderen Netzwerkteilnehmern zu ermöglichen, benötigen Peripherien eine gewisse Intelligenz um Schaltbefehle und Daten zu adressieren. Daher haben alle Netzwerkteilnehmer einen Prozessor der dies ermöglicht. Bei Bussystemen wie KNX werden außerdem auch Funktionen auf den Netzwerkteilnehmern hinterlegt. Komponenten müssen nicht mehr programmiert werden, es ist nur eine Parametrisierung nötig. Dadurch können keine mechanischen Taster oder Schalter mehr verwendet werden. Hier werden elektronische Busankoppler benötigt. Daraus resultieren erhöhte Kosten für einzelne Komponenten.

Systemkomponenten verfügen, wie beim KNX-Bus, über vordefinierte Applikationsprogramme und müssen daher nicht mehr programmiert werden. Mit Hilfe dieser Programme werden Busteilnehmer nur noch parametrisiert, was bedeutet, dass vorgefertigte Funktionen ausgewählt und eingestellt werden. Bekommt ein Aktor einen Befehl von einem Sensor, kann er ihn interpretieren, verarbeiten und entsprechen reagieren. Der Systemintegrator benötigt geringe Kenntnisse im Bereich Programmiersprachen, was die Inbetriebnahme vereinfacht. Hingegen müssen Komponenten exakt ausgewählt werden, um gewünschte Funktionen realisieren zu können.

Der Ausfall einzelner Netzwerkteilnehmer hat in diesem Fall nur geringen Einfluss auf das Gesamtsystem. Im Fehlerfall eines Aktors entfallen nur Funktionen die durch ihn realisiert wurden.

Zu Problemen kommt es bei dezentralen Systemen, wenn bedingte Anweisungen implementiert werden müssen. Um sie zu realisieren werden weitere Bausteine benötigt, wodurch weitere Kosten entstehen.

2.2.3. Halbzentrale Gebäudeautomatisierung

Durch eine halbzentrale Automatisierungslösung können Probleme der beiden vorangegangenen Systeme vermieden werden.

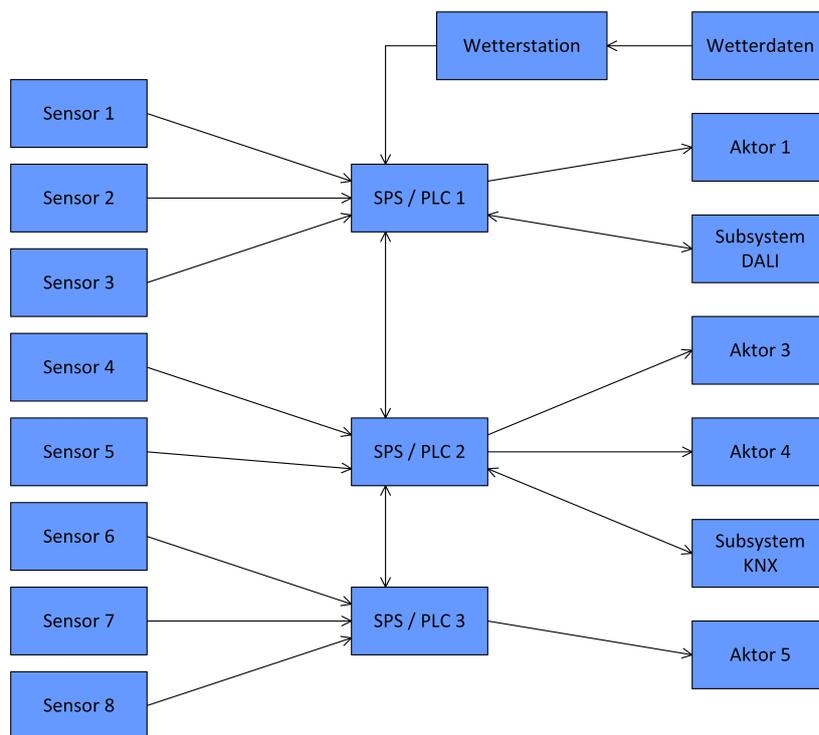


Abbildung 2.3.: Halbzentrale Automatisierung

Durch stabile und standardisierte Übertragungstechnologien, wie Ethernet, können Steuerungen mit Hilfe von Protokollen, wie BACnet oder Modbus, vernetzt werden (Abbildung 2.3). Dadurch werden Funktionen auf mehrere Controller aufgeteilt. Hieraus resultiert eine geringere Fehleranfälligkeit, denn ein Controllerdefekt zieht keinen Ausfall des gesamten Systems nach sich. Sensorwerte und Variablen können mit dem ganzen Netzwerk geteilt werden. Fällt ein Controller aus, führt das zu einem Teilausfall des Bereiches, nicht jedoch zu einem Ausfall des Gesamtsystems.

Hersteller von Speicherprogrammierbaren Steuerungen bieten Schnittstellen zu Subsystemen, wie DALI oder KNX, an. Dadurch können die Vorteile dieser Systeme, wie die des DALI-Busses im Bereich der Lichtsteuerung, integriert und ausgenutzt werden.

Durch Kommunikationsprotokolle können weitere Steuerungen eingebunden werden, die spezielle Aufgaben erfüllen. Beispiel dafür ist eine Wetterstation, die Wetterdaten erfasst und sie dem Netzwerk zur Verfügung stellt.

Aufgrund der Funktionalitätsvielfalt einer solchen Automatisierungsstruktur ist diese Art der Vernetzung bestens geeignet um Gebäude zu automatisieren.

Durch die große Flexibilität der halbzentralen Gebäudeautomatisierung wurde sich dazu entschieden, ein solches Konzept für die praktische Ausbildung der Studierenden zu beschaffen. Dieses Konzept wird durch sechs Raumautomatisierungsstationen, die die Aufgabe haben, einzelne Räume zu automatisieren, je einer Heizungs- und einer Lüftungsstation sowie einer Wetterstation, zur Wetterdatenerfassung, realisiert.

3. Ausgewählte Bussysteme

3.1. KNX

KNX ist ein Feldbus, der speziell für die Anwendungen in der Gebäudeautomation entwickelt wurde. Der KNX-Bus ist der Nachfolger des Europäischen Installationsbusses (EIB) und nach vielen Standards, darunter ISO/IEC 14543-3, CENELEC EN 50090, CEN EN 13321-1 wie auch als chinesischer Standard (GB/Z 20965), anerkannt. [11]

Durch die Zusammenarbeit von über 410 Produktherstellern (Stand Mai 2016)[13], die sich in der KNX Association zusammengeschlossen haben, besitzt der KNX-Bus eine hohe Zukunftssicherheit.

Mit einem KNX-System lassen sich nahezu alle Anwendungen in Homeautomation umsetzen. Für viele Aufgabenbereiche bietet der Markt passende Geräte an. Einzelne KNX-Komponenten sind mit Applikationsprogrammen ausgestattet und werden nicht programmiert sondern parametrisiert. Sie bieten in einem vorgegebenen Rahmen viele Parametriermöglichkeiten, die in der Regel ausreichend sind.



Abbildung 3.1.: KNX-Logo

Typischerweise lassen sich KNX-Busteilnehmer in drei Gruppen aufteilen.

3.1.1. Komponenten

Systemkomponenten

Zu den Systemkomponenten gehören Spannungsversorgungen und Programmierschnittstellen. Weiter zählen auch IP-Router, Gateways und Logikbausteine zu den Systemkomponenten.

Sensoren

KNX-Sensoren sind Busteilnehmer, die Informationen aufnehmen und sie in einen digitalen Befehl kodieren. Diese Daten werden über den Bus an dedizierte Empfänger gesendet.

Neben Tasterschnittstellen gehören auch Wetterstationssensoren, Raumtemperaturregler sowie analoge und digitale Eingänge in den Bereich der Sensoren.

Aktoren

KNX-Aktoren empfangen die an sie gerichtete Datentelegramme die über den KNX-Bus gesendet werden. Sie erkennen und interpretieren z.B. Schaltfunktionen und führen sie aus.

3.1.2. Übertragungsmedien

KNX-Twisted-Pair

Die verdrehte Zweidrahtdatenleitung (Twisted Pair) ist das meist verbreitete Medium zur KNX-Datenübertragung. Der KNX-Bus wird mit einer Schutzkleinspannung (SELV) von 30 V DC betrieben. Die Übertragung erfolgt seriell und asynchron mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 9.600 Bit/s (KNX TP1).

KNX-Powerline

Beim KNX-Powerline Übertragungsverfahren werden die Bustelegramme mittels FSK (Frequency Shift Keying) über die 230 V Hausinstallation übertragen. Hier werden Daten mit einer Baudrate von 1.200 Baud bzw. 2.400 Baud auf 110 kHz bzw. 132 kHz übertragen.

KNX-RF

Funkübertragungsverfahren bei 868,3 MHz.

KNX-IP

Die Übertragung der Datentelegramme erfolgt mithilfe des Ethernetprotokolls. Hier wird zusätzlich zwischen IP-Tunneling und IP-Routing unterschieden.

3.1.3. Topologie

Physikalische Topologie

Ein KNX-Bussystem lässt sich beinahe beliebig verdrahten. Es kann an jeder Stelle verzweigt werden. Es muss beachtet werden, geschlossene Ringe oder Maschen zu vermeiden. Abschlusswiderstände am Ende der Busleitungen sind nicht erforderlich.

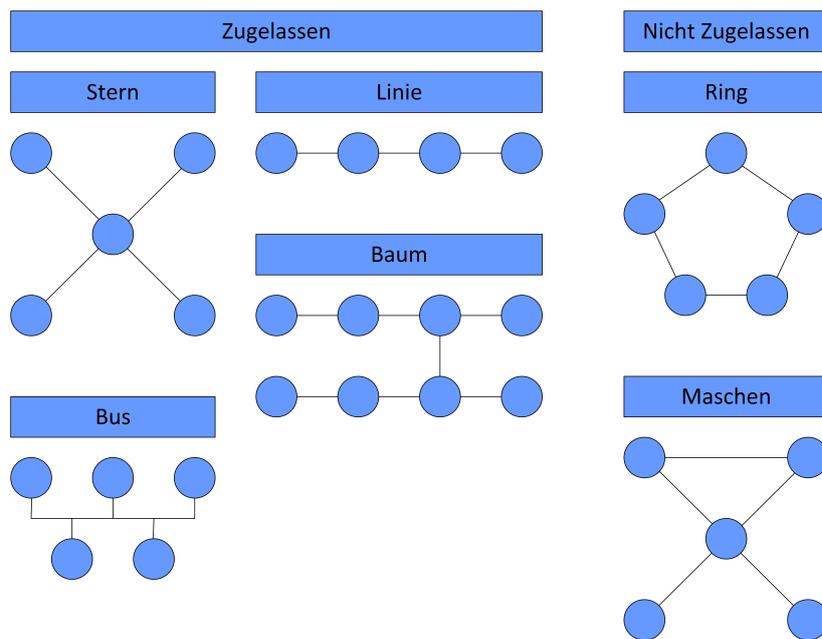


Abbildung 3.2.: KNX-Topologien

Voranstehende Abbildung 3.2 veranschaulicht die möglichen Strukturen des KNX-Systems.

Logische Topologie

Die logische Topologie weicht von der physikalischen Verdrahtung ab. Jeder Busteilnehmer kann über ein physikalisches Medium kommunizieren.

In ein Liniensegment können maximal 64 KNX-Busteilnehmer (BT) implementiert werden (Abbildung 3.3). Zu einem Liniensegment gehört immer ein KNX-Netzteil. Werden mehr als 64 Busteilnehmern verwendet, ist es möglich, zwei bis vier Liniensegmente zu einer Linie mit bis zu 256 Teilnehmern zu verbinden.

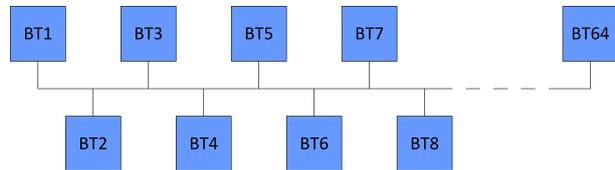


Abbildung 3.3.: KNX-Liniensegment

Linienkoppler (LK) ermöglichen, 15 Linien an eine Hauptlinie zu koppeln. An diese Hauptlinie können ebenfalls 64 Teilnehmer angeschlossen werden. Abbildung 3.4 verdeutlicht dieses Konzept.

Das größtmögliche Gesamtsystem kann theoretisch bis zu 58384 Busteilnehmer beinhalten. [9] Abbildung 3.5 zeigt ein voll ausgebautes System. Mit Bereichskopplern (BK) können 15 Hauptlinien (Bereich) über eine Backbone-Linie zusammengefasst werden.

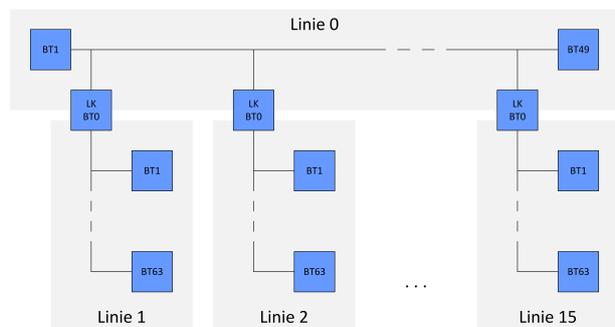


Abbildung 3.4.: KNX-Linienkoppler

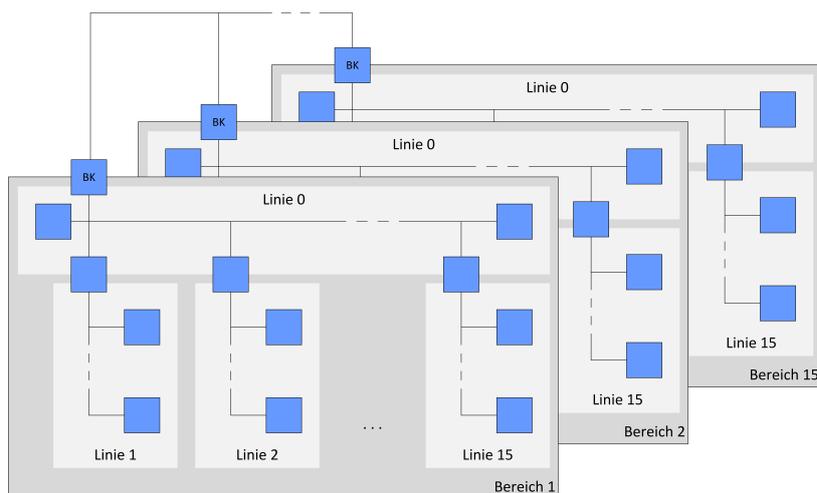


Abbildung 3.5.: KNX-Bereichskoppler

3.1.4. Physikalische Adressen

Jeder Busteilnehmer benötigt eine eindeutige Adresse im KNX-Netzwerk. Diese Netzwerkadresse ist die physikalische Adresse und muss im Netzwerk einmalig sein. Sie ist in drei Bereiche aufgeteilt. Die erste Stelle gibt den Bereich, die Zweite die Linie und die Dritte den Teilnehmer an. Ein Teilnehmer mit der Adresse 4.2.28 ist beispielsweise der 28. Teilnehmer der 2. Linie des 4. Bereichs.

3.1.5. Programmierung in Gruppen

Bei der Programmierung eines KNX-Systems werden Kommunikationsobjekte der Busteilnehmer zusammen in Gruppen abgelegt. Abbildung 3.6 zeigt beispielhaft die Struktur eines KNX-Systems. Um eine Leuchte zu schalten werden die entsprechenden Objekte des Sensors und des Aktors mit einer Gruppenadresse verbunden. Die Busteilnehmer kommunizieren über die gemeinsame Gruppe miteinander. Kommunikationsobjekte können mit mehr als einer Gruppenadresse verbunden werden.

- ▲ 0 Standardfunktionen
- ▲ 0/0 Beleuchtung Schalten
 - 0/0/1 Leuchte_Küche
 - 0/0/2 Leuchte_Wohnzimmer
 - 0/0/3 Leuchte_Flur
 - 0/0/4 Leuchte_Badezimmer
- ▲ 0/1 Verbraucher Schalten
 - 0/1/0 Backofen
 - 0/1/1 E-Herd
 - 0/1/2 Dunstabzug
 - 0/1/3 Spülmaschine
- ▲ 0/2 Sonnenschutz
 - 0/2/0 Rollladen_Südfenster
 - 0/2/1 Rollladen_Ostfenster

Abbildung 3.6.: KNX-Gruppenadressstruktur

3.2. DALI

Der DALI-Bus wurde speziell für die Beleuchtungstechnik entwickelt und ist in der Normreihe IEC 62386 „Digital adressierbare Schnittstelle für die Beleuchtung“ definiert. Das Interface wurde entwickelt, um elektronische Vorschaltgeräte, Dimmer und Leuchten zu steuern. Bauherren wird ein einheitliches System zur Verfügung gestellt.

Die Übertragung erfolgt auf einer zweidrahtigen Leitung mit einer Busspannung von 16V und einer Geschwindigkeit von 1.200 Bit/s asynchron und bidirektional. DALI ist ein weltweit standardisiertes Protokoll und dient zur Ansteuerung von Betriebsgeräten der Beleuchtungstechnik. Die DALI-Gruppe fasst 143 Mitglieder (Stand Mai 2016 [12]), die Komponenten für den Bus entwickeln und vertreiben.



Abbildung 3.7.: DALI-Logo

3.2.1. Komponenten

In einem DALI-System gibt es, wie auch bei anderen Bussystemen, Sensoren, Aktoren und Steuergeräte.

Systemkomponenten

Hier sind, neben Gateways zu anderen Bussystemen oder Steuerungen, Spannungsversorgungen und Steuergeräte zu nennen. Steuergeräte werden zur Inbetriebnahme und Parametrierung der weiteren Busteilnehmer benötigt. Sie dienen als Master im Master/Slave-Betrieb des Busses. Steuergeräte erkennen alle angeschlossenen Busteilnehmer anhand ihrer Langadresse, die vom Hersteller in dem Gerät hinterlegt wurden. Stimmen zwei oder mehr 24-Bit Langadressen überein, kann das Steuergerät zufällige Langadressen vergeben.

Aktoren

Als Aktoren im DALI-Bussystem kommen vorwiegend Vorschaltgeräte und Dimmer für Leuchten und Leuchtmittel zum Einsatz. Es werden weiter auch reine Schaltaktoren zur Verfügung gestellt.

Sensoren

Neben Helligkeitssensoren, Präsenz- oder Bewegungsmeldern gibt es auch Bedienelemente und Tasterkoppler. Durch diese Auswahl an Sensorik ist es möglich, eine eigenständige Automatisierung und Steuerung allein mit DALI-Komponenten zu realisieren. Oftmals wird die Sensorik jedoch von übergeordneten Automationssystemen oder Bussystemen übernommen.

3.2.2. Topologie

Bei der Verdrahtung des Bussystems ist darauf zu achten, keine Maschen oder Ringe zu errichten.

Ansonsten ist die Topologie beliebig zu entwerfen, es sind Stern-, Linien- oder Baumstrukturen möglich, weiter können diese Strukturen auch durcheinander genutzt werden. (Abb. 3.8)

Durch die Adress-Speichergöße der Busteilnehmer (6 Bit) ist die Teilnehmerzahl auf $2^6 = 64$ Busteilnehmer begrenzt.

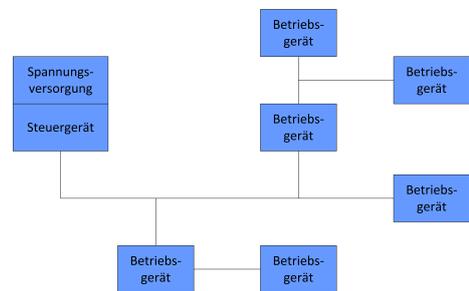


Abbildung 3.8.: DALI-Topologie

3.2.3. Adressierung und Programmierung

Nachdem das Steuergerät ein Betriebsgerät anhand der Langadresse identifiziert hat, kann ihm eine 6-Bit-Kurzadresse zugewiesen werden.

Die 64 möglichen Bus-Teilnehmer werden einzeln oder in Gruppen angesprochen. DALI-Komponenten können in bis zu 16 verschiedenen Gruppen abgelegt werden. Wird eine Gruppe angesprochen, werden alle verbundenen Teilnehmer entsprechend geschaltet.

Separat zu der Gruppensteuerung ist es ebenfalls möglich, Szenen anzulegen. In diesen Szenen werden Leuchtmittel oder Vorschaltgeräte mit unabhängigen Helligkeiten eingestellt.

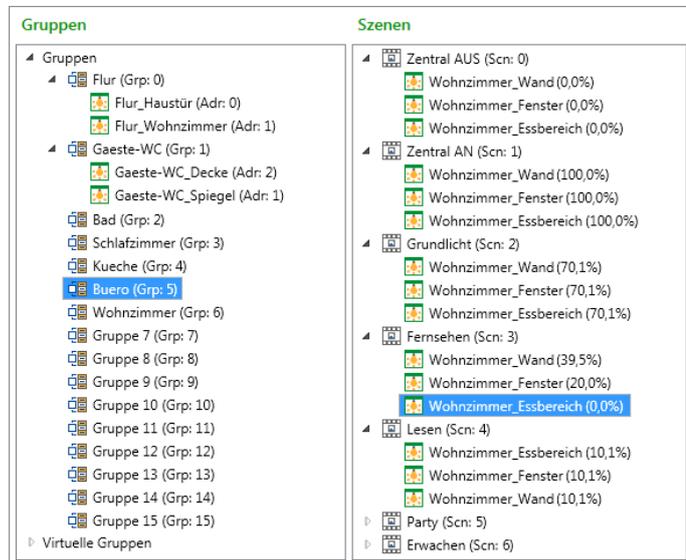


Abbildung 3.9.: DALI-Projekt

Abbildung 3.9 zeigt ein Beispiel, in dem DALI-Komponenten in Gruppen und Szenen abgelegt wurden.

3.3. Modbus/TCP

Das Modbus/TCP-Protokoll ist ein offenes Kommunikationsprotokoll und in der IEC 61158 normiert. Es nutzt zur Übertragung der Daten eine TCP¹-Verbindung zwischen Client und Server.

Der Modbus-Feldbusstandard ist herstellerunabhängig und ermöglicht vielfältige Anwendungen, die vor allem in der Fertigungs- und Prozessautomatisierung zum Einsatz kommen. Neben Profinet, Ethercat und Powerlink hat sich Modbus/TCP zu einem De-facto-Standard für industrielle Kommunikation entwickelt.



Abbildung 3.10.: Modbus-Logo

Modbus ermöglicht die Übermittlung von Prozessabbildern und Feldbusvariablen. Weiter können auch Einstellungen und Informationen der Controller über den Bus gesendet werden.

3.3.1. Protokollgrundlagen

Datentelegramm

Ein Datentelegramm, welches über das Modbus/TCP-Protokoll versendet wird hat eine Maximallänge von 260 Bytes. Davon entfällt ein Byte auf die Übermittlung des Function-Codes. Sieben Bytes werden für die Beschreibung des Modbus-Application-Headers benötigt. Dazu kommen bis zu 252 Bytes um Daten zu übermitteln.

Ein Modbus-Telegramm (ADU), wie es in Abbildung 3.11 zu sehen ist, wird in ein TCP/IP-Frame eingebunden und übermittelt.

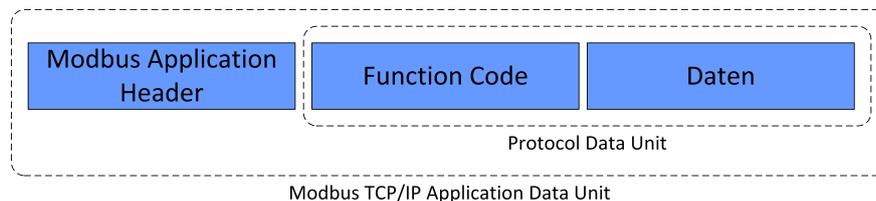


Abbildung 3.11.: Modbus TCP Application Data Unit

Im Modbus-Application-Header (MBAP) werden folgende Daten übermittelt:

¹Transmission Control Protocol, Netzwerkprotokoll

- **Transaction Identifier (2 Byte):** Vergibt eine eindeutige Nummer an das Paket, die auch bei der Antwort verwendet wird.
- **Protocol Identifier (2 Byte):** Der Protocol Identifier bezeichnet das Protokoll. Im Falle einer Modbus/TCP-Verbindung hat er immer den Wert 0x0000.
- **Length (2 Byte):** Die Länge gibt die Gesamtlänge (Unit Identifier + Function Code + Daten) der Nachricht an.
- **Unit Identifier (1 Byte):** Durch den Unit Identifier können Modbus+ Geräte adressiert werden. Bei einer Modbus/TCP-Übertragung ist dieser Wert immer 0xFF oder 0x00. Die Adressierung wird vom TCP/IP-Frame übernommen.

Die Funktionscodes unterscheiden sich in öffentliche und herstellerspezifische Codes. Die Codes 1 bis 64, 73 bis 99 und 111 bis 255 sind eindeutig definiert und öffentlich dokumentiert. Anwenderdefinierte Functioncodes (65 bis 72 und 100 bis 110) sind von Geräteherstellern selbst definiert und nicht immer eindeutig. [10]

3.3.2. Datentypen

Das Datenmodell des Modbus basiert im Wesentlichen auf Tabellen, die vier Datentypen spezifizieren.

Tabelle 3.1.: Datentypen Modbus/TCP

	Größe	Typ
Discretes Input	1 Bit	Digitaler Eingang
Coils	1 Bit	Digitaler Ausgang
Input Registers	16 Bit	Analoger Eingang
Holding Registers	16 Bit	Analoger Ausgang

Voranstehende Tabelle 3.1 zeigt die Datentypen des Modbus-Protokolls.

Daten, die über den Modbus/TCP übertragen werden, können daher immer Bit- oder Wortinformationen enthalten. Über die geräteinterne Datenorganisation kann allerdings keine Aussage getroffen werden, denn Hersteller können Daten in beliebigen Speicherbereichen ablegen, welche sich auch überlappen können.

Genaue Informationen, wo Daten abgelegt sind, lassen sich aus den Herstellerdokumentationen entnehmen.

3.3.3. Verwendung

Durch das Übertragungsmedium Ethernet ist das Modbus/TCP-Protokoll ein sehr flexibles System. Die Leistungsfähigkeit hängt vor allem von verwendeten Komponenten im Netzwerk ab. Durch den Ethernet-Standard sind keine gesonderte Hardware nötig und es können alle Ethernet-Hubs oder -Switches, sowie Twisted-Pair Leitungen mit RJ45-Steckern, genutzt werden.

Sinnvoll ist Modbus/TCP immer dann, wenn die Vorteile der Ethernet-Übertragungstechnik genutzt werden sollen. Darunter fallen unter anderem die große Reichweite, eine hohe Teilnehmerzahl und Mehrfachnutzung des Übertragungsmediums.

3.4. BACnet

BACnet² ist ein 1995 standardisiertes und 2003 nach DIN EN ISO 16484-5 [8] genormtes Kommunikationsprotokoll mit dem Systeme und Geräte untereinander Daten und Informationen austauschen können. Es wurde von der „American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers“ (ASHRAE) entwickelt und wird weltweit in der Gebäudeautomatisierung eingesetzt. Durch das Protokoll wurde ein firmenneutraler Standard entwickelt, der die Datenkommunikation zwischen Systemen, vor allem verschiedener Hersteller, standardisiert. Die Norm unterliegt einem laufenden Prozess, der neue Erkenntnisse und aktuelle Anforderungen berücksichtigt. ASHRAE entwickelt das Protokoll laufend weiter.



Abbildung 3.12.: BACnet-Logo

3.4.1. Konzept

BACnet ermöglicht die herstellernerneutrale Kommunikation zwischen Komponenten wie Aktoren, Sensoren, Reglern und Management-Systemen. Weiter werden Elemente wie Messeingänge und Schalterausgänge mit genau definierten Eigenschaften beschrieben.

Um Daten zu beschreiben, arbeitet BACnet objektorientiert. Elemente werden als Objekte beschrieben. Diese Objekte beschreiben das Gerät für weitere Netzwerkteilnehmer.

BACnet arbeitet nach dem Client-Server-Prinzip. Ein Server stellt Daten bereit und stellt sie Clients zur Verfügung. Abhängig vom Dienst erfolgt die Datenübertragung Punkt-zu-Punkt oder über einen Broadcast an alle Teilnehmer. BACnet-Teilnehmer können Server und Client gleichzeitig sein und sowohl Dienste zu Verfügung stellen als auch anfordern.

Ein BACnet-Netzwerkteilnehmer wird aus einer Ansammlung von Objekten modelliert. Er stellt einen Satz an Objekten zur Verfügung und dadurch können Netzwerkteilnehmer diese Objekte über Dienste verwenden.

²Building Automation and Control Network, standardisiertes Kommunikationsprotokoll für die Gebäudeautomatisierung

3.4.2. Dienste und Objekte

Objekte

Objekte sind Datenstrukturen und bilden reale, physikalische Geräte, wie Messfühler, die analoge Messwerte erfassen, ab. Objekte können aber auch virtuelle Software-Objekte sein. Dazu zählen beispielsweise digitale Regler oder Zeitpläne und Kalender.

Ein Objekt besitzt Eigenschaften, auch Properties genannt, die für die Funktionalität der Objekte benötigt werden. Typische Eigenschaften sind:

- **Object_Name:** Der Objektname wird dazu verwendet, um das Objekt eindeutig zu adressieren
- **Object_Type:** Typ des Objekts
- **Present_Value:** Aktualwert des Objektes, beispielsweise ein Messwert
- **Instance_Number:** Eindeutige Nummer, Instanz des Objektes

Zur Zeit sind 50 Objekttypen im BACnet-Standard festgelegt. [7] Sie beschreiben mit einem Satz von Datenelementen alle nötigen Informationen um ein Gerät in der Gebäudeautomatisierung interpretieren zu können.

Tabelle 3.2.: Ausgewählte BACnet-Datentypen

Objektyp	Beschreibung	Objektyp-Code
Analog Input	Analoger Eingang, Erfassung von Messwerten	0
Analog Output	Analoger Ausgang, Stellen von Aktoren	1
Analog Value	Analoger Wert, Ergebnis einer Rechenoperation	2
Binary Input	Binärer Eingang, Erfassung von binären Zuständen	3
Binary Output	Binärer Ausgang, Schalten oder Stellen von Aktoren	4
Binary Value	Binärer Wert, Ergebnis einer Logikoperation	5
Calendar	Betriebskalender	6
Device	Grundparameter zur Beschreibung des Netzwerkteilnehmers	8
File	Übertragung von Dateien im BACnet	10
Scheduler	Wiederkehrende Aktivitäten und Ausnahmen	17

Voranstehende Tabelle 3.2 zeigt ausgewählte Datentypen des BACnet-Standards. Eine vollständige Auflistung aller Datentypen kann entsprechender Literatur, wie beispielsweise „BACnet Gebäudeautomation 1.12“ [7] von Hans R. Kranz entnommen werden.

Mit Ausnahme der *Analog-Value*- und *Binary-Value-Objekte* werden die Objekte aus der Tabelle angelegt, wenn der Wago BACnet Controller 750-831 in Betrieb genommen wird. Die analogen und digitalen Ein- und Ausgangsobjekte werden in Abhängigkeit der angeschlossenen Busklemmen automatisch angelegt und verknüpft.

Kommunikationsdienste

Der BACnet-Standard nutzt Kommunikationsdienste um die Datenübertragung zwischen Bedien-, Management- und Automatisierungseinrichtungen, Feldgeräten und Datenübertragungseinrichtungen festzulegen. Sie beschreiben Verfahren, die Teilnehmern zum Lesen

und Schreiben der Objekteigenschaften zur Verfügung stehen. Dieser Vorgang wird als BACnet-Kommunikation verstanden.

Tabelle 3.3.: Gruppen von BACnet-Diensten

Dienst	Beschreibung
Alarm- und Ereignis-Dienste	Mitteilung von Alarm-, Betriebs- und Störungsmeldungen
Dateizugriffs-Dienste	Verarbeitung von Datei-Objekten
Objektzugriffs-Dienste	Ermöglichen Lesen und Schreiben von Properties
Device- und Netzwerkmanagement-Dienste	Bearbeitung von Administrationsaufgaben, wie anhalten, starten oder Neustart von Geräten
Virtual Terminal-Dienste	Terminal-Dienste, die zur Konfiguration von Devices eingesetzt werden
Fehler-, Zurückweisungs- und Abbruch-Codes	Im Zusammenhang mit dem BACnet-Protokoll auftretenden Fehler

Voranstehende Tabelle 3.3 zeigt die Kategorien, in die alle BACnet-Dienste eingruppiert sind. Typische Dienste sind:

- **Read Property:** Lesen von Objekteigenschaften
- **Write Property:** Schreiben von Eigenschaften
- **Create Object:** Neuanlegen eines Objekts
- **Delete Object:** Löschen eines Objekts

BACnet Interoperability Building Blocks

BACnet Interoperability Building Blocks, kurz BIBBs genannt, helfen Planern dabei, Bacnet-Geräte auf Interoperabilität zu bewerten.

BIBBs beschreiben den Umgang von Geräten mit Daten und geben einen Überblick über vorhandene Dienste. Ein Messfühler, dessen Messwert in einem BACnet-Objekt steht, besitzt den Interoperabilitätsbaustein „DS-RP-B“. „DS = data sharing“ gibt Auskunft über die

Datennutzung, in diesem Beispiel eine gemeinsame Nutzung. Durch „RP = read property“ werden Schreib- und Lesedienste angedeutet. Durch den Interoperabilitätsbereich „B“ ist erkenntlich, dass der Baustein seine Daten bereitstellt, also als Server-Device arbeitet.

Eine ausführliche Aufstellung kann der Literatur [7] entnommen werden.

Device Profile

Neben der Unterteilung in BIBBs, werden BACnet-Geräte in Device Profile unterteilt. Jede Profilgruppe spezifiziert dabei einen Mindestumfang an Fähigkeiten um Interoperabilität zu gewährleisten. Es sind folgende Profile definiert:

- **BACnet Operator Workstation (B-OWS):** Benutzerschnittstelle zu einem BACnet-System. Neben der Bedienung kann die B-OWS auch eingesetzt werden um das Netz zu konfigurieren.
- **BACnet Building Controller (B-BC):** Ein B-BC ist eine programmierbare Automatisierungsstation für vielfältige Aufgaben der Steuerungs- und Regelungstechnik.
- **BACnet Advanced Application Controller (B-AAC):** Ein BACnet Advanced Application Controller hat gegenüber dem BACnet Building Controller einen geringeren Funktionsumfang, ist aber ebenso programmierbar.
- **BACnet Application Specific Controller (B-ASC):** Der B-ASC ist für die Automatisierung spezieller Anwendungen vorgesehen und wird selten programmiert. Eher wird er parametrisiert.
- **BACnet Smart Actuator und BACnet Smart Sensor (B-SA und B-SS):** Ein BACnet Smart Actuator ist eine Schalt- oder Stelleinrichtung. Bei einem BACnet Smart Sensor handelt es sich um einen Messwertempfänger. Beide Gerätetypen besitzen einen geringen Funktionsumfang und können lediglich Schaltsignale umsetzen oder Messwerte aufnehmen.
- **BACnet Router:** Der BACnet-Router verbindet verschiedene BACnet-Netze miteinander. Dabei spielt die Netztopologie erst einmal keine Rolle.

Die voranstehenden Device-Profile erlauben dem Planer einen schnellen Überblick über die Funktionen der Hardware.

3.4.3. Einsatzbereich

Weit verzweigte Gebäudekomplexe und Liegenschaften werden bevorzugt mit BACnet automatisiert. Zur Kommunikation kann das vorhandene Datennetzwerk genutzt werden um sämtliche Gebäudeinformationen zu übermitteln. BACnet kann von der Management- bis zur Feldebene verwendet werden.

Abbildung 3.13 zeigt das Konzept einer BACnet-Automatisierung. Automatisierungssysteme werden über einen BACnet-Controller oder -Gateway miteinander verbunden. Dadurch wird eine zentrale Überwachung möglich, woraus ein reduzierter Administrationsaufwand und Kostenreduzierung folgen.

Die abgebildeten Abschnitte können innerhalb eines Gebäudes liegen, müssen es aber nicht. Ein Beispiel für BACnet-Netzwerke deren räumliche Ausbreitung über ein einziges Gebäude hinausgeht sind die Parlamentsbauten in Berlin. Hier sind das Reichstagsgebäude, das Bundeskanzleramt, der Alsen- und der Luisenblock sowie die Dorotheenblöcke über ein BACnet-System miteinander vernetzt. Von einer Hauptzentrale können alle Gebäude des Deutschen Bundestages überwacht und geleitet werden.

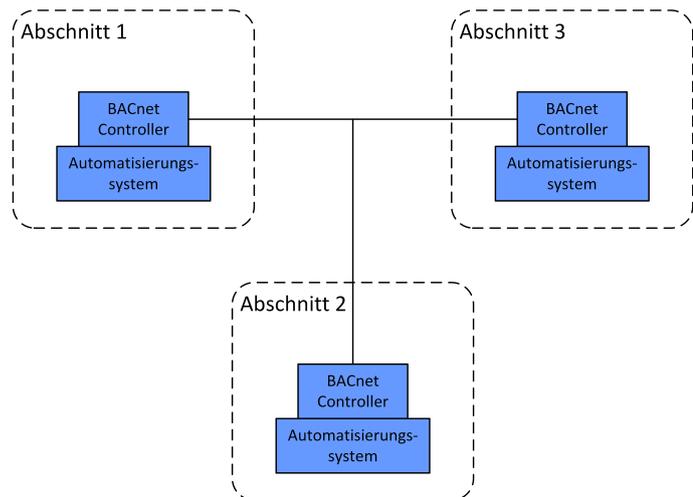


Abbildung 3.13.: BACnet-Topologie

Feldebene

Als Feldebene werden Sensoren und Aktoren, sowie ihr Anschluss und ihre Verdrahtung bezeichnet.

In der Feldebene ist das BACnet-Protokoll durch netzwerkfähige Schalt- oder Stelleinrichtungen und Sensoren vertreten. Sie stellen ihre Objekt-Eigenschaften zur Verfügung damit sie von anderen BACnet-Teilnehmern angesprochen werden können.

Automatisierungsebene

Ziel ist es, die Automatisierung komplexer Gebäudeanlagen wie Kliniken, Bürohäusern und Flughäfen mit offenen Standards zu realisieren. Durch speicherprogrammierbare Steuerungen, die den BACnet-Standard unterstützen, können auch weit verzweigte Gebäudekomplexe miteinander verbunden werden. Durch die Übertragung basierend auf der Ethernet-Technologie können Daten über weite Entfernungen übermittelt werden. Bestehende Netze können problemlos erweitert werden.

Managementebene

Als Managementebene wird die Automatisierungsebene bezeichnet, auf der Gebäudeeinrichtungen überwacht, gesteuert und für Nutzer visualisiert werden. In dieser Ebene kommt spezielle Software zum Einsatz, die für die Visualisierung ausgelegt ist.

BACnet ist, neben OPC³, eine der verbreitetsten Schnittstellen für Management Systeme. Auf dieser Ebene werden herstellerabhängige Lösungen über Gateways miteinander verbunden und in ein übergeordnetes System integriert.

3.4.4. Ableitung einer Aufgabe

Weil BACnet vor allem bei der Automatisierung von großen Komplexen und öffentlichen Gebäuden eingesetzt wird, sollten Studierende während ihrer universitären Ausbildung erste Erfahrungen damit machen. Durch eine geeignete Aufgabenstellung lernen Teilnehmer BACnet-Variablen kennen und wie Daten über dieses Protokoll übertragen werden.

³Open Platform Communications, standardisierte Software-Schnittstellen

4. Entwicklungsumgebung

4.1. CoDeSys

CoDeSys (CoDeSys (Controller Development System) ist eine Entwicklungsumgebung für viele Aufgabenstellungen der industriellen Automatisierungstechnik. Ziel ist die praxisgerechte Realisierung von Automatisierungsaufgaben. CoDeSys bietet dem Anwender dabei integrierte Lösungen zur Umsetzung. Das Development System beinhaltet alle Programmiersprachen nach IEC 61131-3. Durch den Betrieb im Online-Modus und Debugging-Funktionen, kann der Programmcode schnell auf Fehler untersucht und optimiert werden. Dazu können Variablen überwacht, geschrieben und zwangsgesetzt werden. CoDeSys unterstützt einen Simulations-Modus, der keine Hardware voraussetzt um Software zu testen.

Das Development Tool ist eine plattformunabhängige Software, die die wichtigsten 16- und 32-Bit-CPU Familien unterstützt. Zum Download auf die Steuerung wird der Programmcode durch integrierte Compiler in Binärcode übersetzt und übertragen.

Es beinhaltet alles, was zur Programmierung, Feldbus-, Ein- und Ausgangs-Konfiguration sowie Visualisierung benötigt wird. Weiter sind Treiber vorhanden, um OPC-Komponenten einzubinden oder Feldgeräte mit FDT¹ zu administrieren. [1]

Um den Studierenden den Einstieg in die Programmierung des Wago-Controllers zu erleichtern, wurde eine Anleitung erstellt. Sie unterstützt beim Erstellen von lauffähigen Projekten und der Übertragung sowie Inbetriebnahme von Programmen auf den Controller. Sie befindet sich im Anhang.

4.2. ETS5

ETS5 (Engineering Tool Software Version 5) ist eine Installationssoftware für die Planung und Konfiguration von KNX-Systemen. Sie wird von der KNX-Association entwickelt und

¹Field Device Tool, herstellerübergreifendes Konzept in der Automatisierungstechnik, welches die Parametrierung von Feldgeräten verschiedener Hersteller mit nur einem Programm ermöglicht

vertrieben und ist dadurch unabhängig von Herstellern. Durch die Entwicklung der KNX-Association, die gleichzeitig Inhaber des KNX-Standarts ist, ist maximale Kompatibilität der Software zum Standard gewährleistet.

Produkthersteller stellen Produktdatenbanken zur Verfügung, die in die ETS5 importiert werden. In diesen Datenbanken hinterlegen Hersteller alle Funktionen und Kommunikationsobjekte, die der Busteilnehmer verarbeiten kann und zur Verfügung stellt.

Die Engineering Tool Software wird weltweit von allen Planern und Installateuren, die KNX-Systeme in Betrieb nehmen verwendet. Durch die KNX-Association werden, je nach Projektumfang, verschiedene Versionen vertrieben. Darunter ist auch eine kostenlose Testversion, die für kleine Projekte geeignet ist. Die Raumautomatisierungsstationen besitzen vier KNX-Teilnehmer und können mit der Demo-Version bearbeitet werden.

Zur Speicherung von Produkt- und Projektdaten verwendet die Software statt speziellen Datenbanken ein XML-Format. Dadurch kann eine höhere Datenzugriffperformance, sowie eine vereinfachte Datensicherung und -wiederherstellung erreicht werden.

Durch Monitoringfunktionen, wie die Gruppen- und Busmonitore werden alle Telegramme, die über den Bus gesendet werden aufgezeichnet und können auf Fehler untersucht werden. Mit Hilfe der Diagnosewerkzeuge, wie den Linienscan, kann das Bussystem ausgelesen werden. Sie sind in der Lage, Adressen auf Überschneidung zu testen und Geräte im Programmiermodus zu lokalisieren.

KNX-Projekte können dokumentiert und archiviert werden. Durch das Projektlogbuch können Änderungen zentral aufgezeichnet und nachvollzogen werden. [14]

4.3. WAGO DALI Konfigurator

Der Wago-DALI-Konfigurator wird dazu genutzt, DALI-Busteilnehmer zu konfigurieren. Nötig ist dafür die DALI-Multi-Master-Klemme 647 (Kapitel 5.1.3) an einem Wago-Controller. Dieser muss in das DALI-Netzwerk integriert sein, welches konfiguriert werden soll.

Mit dem DALI-Konfigurator können verschiedene Netzwerke, also verschiedene Multi-Master, parallel eingerichtet werden.

Der DALI-Konfigurator ermöglicht, DALI-Linien zu scannen und angeschlossene Peripherien einzurichten. Sie unterscheiden sich im wesentlichen in EVG's und Sensoren. Es ist möglich, erkannten Geräten Namen zu geben, um sie auf den ersten Blick zuordnen zu können. Akteure lassen sich zusammen in Gruppen ablegen, die gemeinsam geschaltet werden können. Zusätzlich können beliebige Dimmer in Szenen abgelegt werden. In Szenen ist es möglich,

allen Dimmern verschiedene Helligkeiten zuzuweisen, um gewünschte Raumausleuchtung umzusetzen.

Nachdem alle Peripherien benannt, konfiguriert und beschrieben wurden, kann das Projekt exportiert werden. Der DALI-Konfigurator schreibt vergebene Bezeichnungen, Gruppennamen und Kurzadressen in eine Export-Datei. Diese Datei kann in ein CoDeSys-Projekt importiert werden. Dadurch stehen in der CoDeSys-Umgebung Objekte zur Verfügung, die Geräte, Gruppen und Szenen repräsentieren.

4.4. WAGO BACnet Konfigurator

Der Wago BACnet Konfigurator ist, wie der Wago DALI Konfigurator eine eigenständige Inbetriebnahme- und Verwaltungssoftware. Sie unterstützt die Funktionen des Wago BACnet Controllers 750-831 in vollem Umfang.

Der Konfigurator unterstützt dabei, den Datenaustausch zwischen Programmbausteinen und BACnet-Objekten herzustellen.

Um das angeschlossene BACnet-Netzwerk zu konfigurieren, scannt die Software das gesamte Netzwerk zyklisch und zeigt verbundene Controller an. Diese werden in einer Browserstruktur dargestellt.

Mit dem Konfigurator kann wahlweise on- oder offline gearbeitet werden. Die Geräte, Objekte und Konfigurationsdaten werden logisch in einer Netzwerkansicht dargestellt. Es können alle Konfigurationsdaten der Netzwerkteilnehmer angezeigt und bearbeitet werden. Nachdem BACnet-Objekte miteinander verknüpft wurden kann der Benutzer die Konfiguration auf eine oder mehrere Steuerungen laden.

Im Onlinebetrieb können die Werte der BACnet-Objekte überwacht und abgefragt werden. Weiter ist es möglich, BACnet-Werte zu schreiben und Dienste auszuführen.

5. Raumautomatisierungsstationen

Um den Studierenden eine praxisnahe Ausbildung bieten zu können, wurden sechs Raumstationen entwickelt, die zusammen mit weiteren Komponenten eine Gebäudeautomatisierung aus der Realität abbilden. An ihnen können gängige Konzepte der Raum- und Gebäudeautomatisierung entwickelt und getestet werden. Die Raumautomatisierungsstationen sollen flexibel und erweiterbar sein, um sie in der Zukunft um weitere Komponenten zu ergänzen.

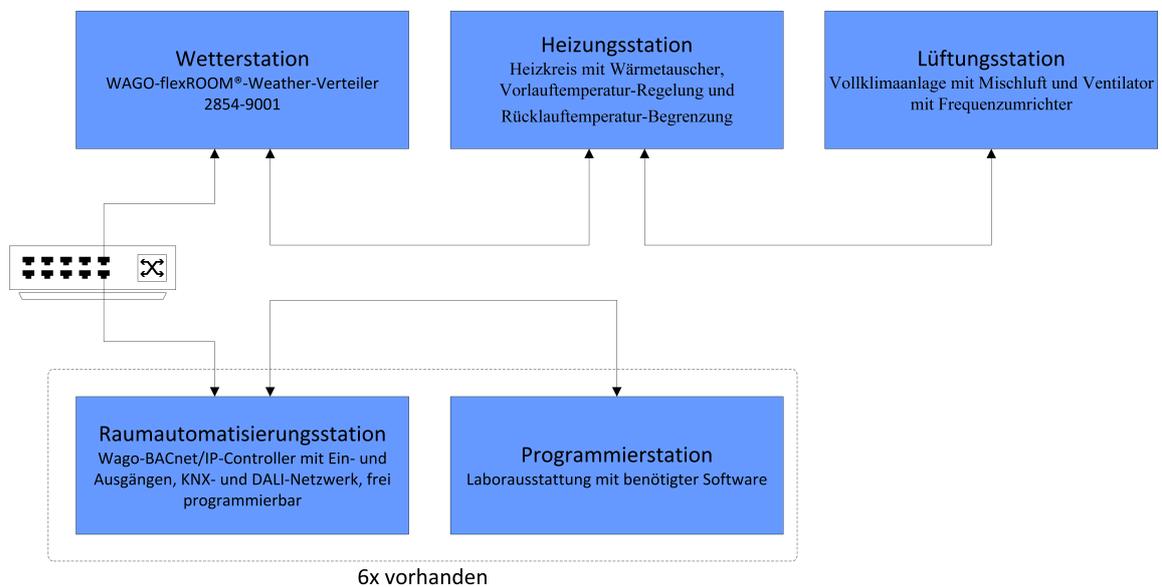


Abbildung 5.1.: Netzwerkübersicht des Gebäudeautomationsystems

Voranstehende Abbildung 5.1 gibt einen Überblick der Komponenten des Gebäudeautomationsystems. Es besteht aus einer Wetter-, einer Heizungs- und einer Lüftungsstation, sowie sechs Raumautomatisierungsstationen. Zur Programmierung werden Rechner benötigt, auf denen die benötigte Software installiert ist.

5.1. Komponenten

Auf den folgenden Seiten wird auf die Hardwarekomponenten eingegangen, die in die Raumautomatisierungsstation implementiert wurden. Neben der SPS sind ein KNX- und ein DALI-Netzwerk vorhanden.

5.1.1. KNX Betriebsmittel

Unterputz-Raumtemperaturregler mit 2-Fach Tastsensor

Kern des KNX-Strangs bildet ein Raumtemperaturregler Typ: 6128 (RTR) der Firma Busch-Jäger (Abbildung 5.2). Er wird mit Hilfe eines Busankopplers mit dem KNX-Bus verbunden.

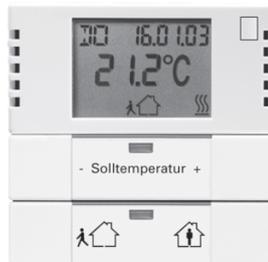


Abbildung 5.2.: Busch-Jäger Raumtemperaturregler
Quelle: Busch Jäger

Der RTR übernimmt die Einzelraumtemperaturregelung der Raumstation. Außerdem besitzt er zwei Tastwippen mit je zwei Tastern. Mit den beiden Tastwippen lassen sich Schalt-, Wert-, Dimm-, Jalousiesteuerungs- oder Lüftungssteuerungstelegramme an KNX-Aktoren senden. Das Modul wird ebenfalls zur Lichtszenenspeicherung genutzt.

Neben den Tastern besitzt der RTR Leuchtdioden, die wahlweise rot oder grün leuchten. Sie geben Rückmeldungen über Schaltzustände.

Das Display ist in zwei Bereiche eingeteilt. Auf der Hauptanzeige werden Soll- oder Isttemperatur angezeigt. Die Extrazeile kann durch den Nutzer frei parametrisiert werden. Hier können Datum, Uhrzeit, Werte von anderen Sensoren oder Text angezeigt werden.

Für eine visuelle Rückmeldung über die aktuelle Betriebsart, zeigt das Display eines von vier Symbolen an. Der RTR unterscheidet zwischen den Betriebsarten Frostschutz-, Nacht-, Standby- und Komfortbetrieb.

LUMENTO X3 RGB-Controller

Der Lumento X3 RGB-Controller der Firma Zennio übernimmt die Steuerung eines LED-Leuchtmittels. An den Controller ist ein RGB-LED-Streifen angeschlossen, der mit blauen, roten und grünen LED's ausgestattet ist und dadurch Farben darstellen kann. Für jede Farbe steht ein Kanal 12 - 24 VDC/2,5A zur Verfügung.



Abbildung 5.3.: Zennio Lumento X3 RGB-Controller
Quelle: Zennio

Der Controller kann alle Farben gleichzeitig oder unabhängig voneinander schalten oder dimmen. Durch die Engineering Tool Software (ETS5) wird das Modul konfiguriert. Es können Zeitfunktionen, Szenen oder Blinken parametrisiert und aufgerufen werden. Weiter ist der Controller in der Lage, Farbsequenzen zu definieren und diese dann auf Befehl abzuspielen.

Schnittstellen

Um den KNX-Strang zu parametrisieren und in Betrieb zu nehmen, wird eine USB/KNX-Schnittstelle der Firma ABB eingesetzt. Die USB-Schnittstelle USB/S 1.1 ermöglicht die Kommunikation zwischen PC und dem KNX-System. Durch die KNX-LED und die USB-LED wird die Datenübertragung angezeigt.

Als Schnittstelle zur SPS wird die *KNX/EIB/TP1-Klemme* genutzt. Auf diese wird im Kapitel [5.1.3](#) genauer eingegangen.

5.1.2. DALI Betriebsmittel

Im DALI-Netzwerk werden zwei Betriebsmittel, die im folgenden beschrieben werden, eingesetzt.

WAGO-DALI-MSensor 02

Der WAGO-DALI-MSensor 02 wird in Verbindung mit der DALI-Multi-Master-Klemme (5.1.3) betrieben. Konzipiert ist er für den Einsatz in Büros, Fluren und Präsentationsräumen. Der Sensor verfügt über eine Helligkeits- und Präsenzerfassung, die durch eine Fernbedienung ergänzt werden können. Er wird über die DALI-Leitung mit Energie versorgt.



Abbildung 5.4.: DALI MSensor
Quelle: Tridonic

Mit diesem Sensor kann eine umgebungslichtabhängige Konstantlichtregelung realisiert werden. Durch den integrierten Bewegungsmelder, können Anwendungen umgesetzt werden, die Anwesenheitserkennung benötigen.

Über den Wago-DALI-Konfigurator (Abschnitt 4.3) können Parameter, wie die Nachlaufzeit des Bewegungsmelders individuell angepasst werden.

TALEXcontrol C003

Der *TALEXcontrol C003* von Tridonic ist ein 3-Kanal-DALI-Controller, mit dem LED-Leuchtmittel geschaltet und gedimmt werden.



Abbildung 5.5.: DALI 3-Kanal Controller
Quelle: Tridonic

Er ist in der Lage, drei 24 Volt LED-Module anzusteuern. Seine Ausgänge sind auf die Frontplatte geführt, um sie mit drei RGB-LED-Streifen verbinden zu können. Über den DALI-Bus kommuniziert er bidirektional mit der Wago-SPS. Der Controller stellt jedem Kanal maximal 0,6 Ampere zur Verfügung.

5.1.3. WAGO I/O System

Mittelpunkt der Raumautomatisierungsstation ist eine speicherprogrammierbare Steuerung der Firma Wago.

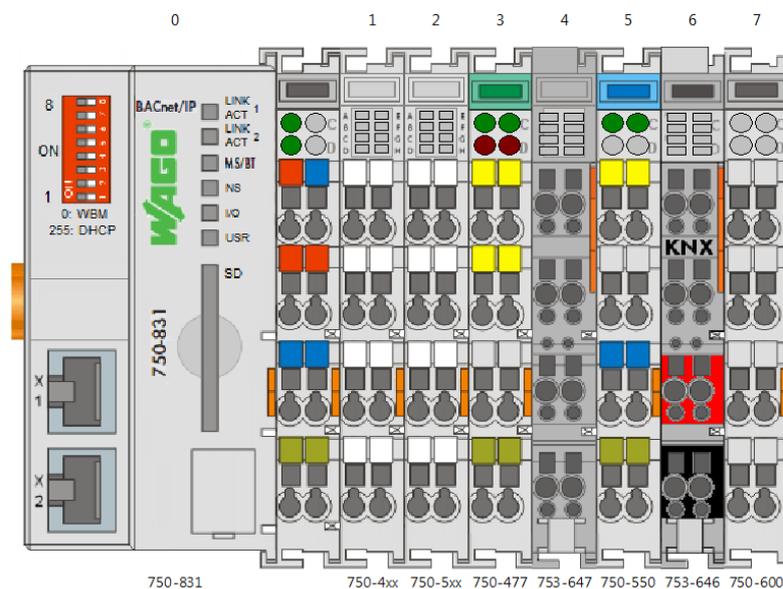


Abbildung 5.6.: Wago BACnet/IP-Controller 750-831 mit Busklemmen
Quelle: Wago I/O Check

WAGO Controller 750-831 BACnet/IP

Abbildung 5.6 zeigt die SPS mit angeschlossenen Erweiterungen. Kern ist der BACnet/IP-Controller 750-831. Der Controller entspricht, gemäß DIN EN ISO 16484-5, dem BACnet-Geräteprofil „BACnet-Building-Controller“ B-BC und kann einen Application-Server, einen Application-Client oder einen Native-Server bereitstellen.

Er besitzt zwei Ethernet-Schnittstellen mit integriertem Switch um ihn in eine Linientopologie einbinden zu können. Mit diesen Schnittstellen findet der Prozessdatenaustausch über

das MODBUS/TCP- und das BACnet/IP-Protokoll statt. Sie können wahlweise einzeln oder parallel verwendet werden.

Über den internen Klemmenbus (K-Bus) kann der Controller um unterschiedliche digitale und analoge Ein- und Ausgangsklemmen sowie Sonderfunktionen erweitert werden.

Der BACnet/IP-Controller ermittelt nach dem Einschalten alle gesteckten Busklemmen und erstellt ein lokales Prozessabbild. Es wird in einen Eingangs- und Ausgangsbereich unterteilt. Daten der analogen Busklemmen werden direkt in das Prozessabbild gemappt. Bits digitaler Busklemmen werden erst gemappt, nachdem sie zu Worten zusammengefasst wurden.

Das System benötigt eine 24 Volt Gleichspannung und versorgt damit alle systeminternen Bausteine und den Klemmenbus. Die Versorgungsspannung auf der Feldseite wird ebenfalls am Controller eingespeist und für einige Busklemmen benötigt. Dadurch können Sensoren und Aktoren direkt an die Busklemmen angeschlossen und betrieben werden.

8-Kanal-Digitaleingangsklemme

Die 8-Kanal-Digitaleingangsklemme (Abb. 5.6 (Abschnitt 1)) erfasst binäre Steuersignale aus dem Feldbereich. Sie besitzt acht Eingangskanäle an die Sensoren in 1-Leiter-Technik angeschlossen werden.

Die Eingänge der Busklemme sind positiv schaltend. Liegen an einem Anschluss 24 Volt an, ist der Signalzustand des Eingangs „high“. Die Busklemme wird über den Klemmenbus durch voranstehende Klemmen mitversorgt und stellt diese Versorgung auch nachstehenden Klemmen zur Verfügung.

8-Kanal-Digitalausgangsklemme

Um binäre Steuersignale an angeschlossene Aktoren auszugeben, ist eine 8-Kanal-Digitalausgangsklemme in das System integriert. Es können acht Aktoren durch 1-Leiter-Technik angeschlossen werden.

Sie schaltet die Ausgangsspannung von 24 Volt und den Ausgangsstrom von 0,5 Ampere. Die Ausgänge sind kurzschlussfest und können eine maximale Schaltfrequenz von 2 kHz umsetzen. Wie die 8-Kanal-Digitaleingangsklemme wird sie über den Klemmenbus mitversorgt.

2-Kanal-Analogeingangsklemme

Diese Busklemme verarbeitet analoge Eingangsspannungen (0-10V max. 20V AC/DC) aus dem Feld. Durch zwei galvanisch getrennte Differenzeingänge können Spannungen mit einer Auflösung von 16 Bit erfasst werden. Das LSB beträgt 1 mV und die Daten werden auf den Bits B0 bis B14 abgebildet. Die Klemme skaliert den Eingangsspannungsbereich von 0 V bis 20 V auf den Zahlenwertebereich 0 bis 20000.

Die Feldbusklemme wird ebenfalls über die vorausgehenden Systemkomponenten versorgt und reicht diese Versorgung weiter.

2-Kanal-Analogausgangsklemme

Die 2-Kanal-Ausgangsklemme (Abb. 5.6 Abschnitt 5) erzeugt analoge Ausgangsspannungen. Die Klemme ist kurzschlussfest und besitzt zwei Anschlüsse um zwei 2-Leiter-Aktoren zu verbinden.

Das Ausgangssignal ist gegenüber der Systemebene galvanisch getrennt und wird mit 12 Bit aufgelöst. Die Busklemme skaliert den Zahlenbereich 0 bis 32767 auf einen Ausgangsspannungsbereich von 0 Volt bis 10 Volt.

DALI-Multi-Master-Klemme

Die DALI-Multi-Master-Klemme ist in Abbildung 5.6, Abschnitt 4, zu erkennen. Sie dient zur Anschaltung einer DALI-Linie an den Feldbuscontroller um digitale Beleuchtungsaktoren anzusteuern und DALI-Sensoren auszuwerten. Die Klemme ist konform gegenüber der ICE 62386.

Die DALI-Klemme ist in der Lage, 64 DALI-EVGs und 64 DALI-Sensoren zu adressieren. Die Konfiguration des DALI-Busses wird mit dem DALI Konfigurator (Abschnitt 4.3) vorgenommen und anschließend in das CoDeSys-Projekt (4.1) importiert.

Der DALI-Multi-Master besitzt ein 24-Byte Prozessabbild, darunter 1 Byte zur Übermittlung des Status und 23 Byte für die azyklischen Daten. Ist der Kommunikationsbaustein im CoDeSys-Projekt erfolgreich eingebunden, werden DALI-Komponenten mit Telegrammbausteinen verbunden und sind einsatzbereit.

Ausgewählte Einstellungen und Prozessdaten, wie Helligkeitsmesswerte von Sensoren können durch die Busklemme ausgelesen und an den Controller gesendet werden, um sie weiter zu verarbeiten.

KNX/EIB/TP1-Klemme

Um den KNX-Bus der Raumautomatisierungsstation an die SPS anzubinden wird die KNX/EIB/TP1-Klemme verwendet. Mit der KNX-Busklemme werden Zweidraht-(TP1)-Netzwerke in das System integriert.

Sie stellt dem Feldbuscontroller ein 24-Byte-Ein- und Ausgangsabbild zu Verfügung. Dieses Abbild wird über den Klemmbus an den Controller übertragen. Sollte ein KNX-Telegramm länger als 24-Byte sein, wird es geteilt und in zwei Arbeitsschritten übertragen.

Im CoDeSys-Projekt werden die Kommunikationsobjekte definiert, die später zur Verfügung stehen sollen. Beim Kompilieren des Programms wird eine `.sym_xml`-Datei erzeugt, die diese Informationen enthält. In der ETS5 wird die erzeugte `.sym_xml`-Datei importiert. Nun stehen im Vorfeld definierte Kommunikationsobjekte auch in der ETS5 bereit und können mit Gruppen verknüpft werden.

5.2. Verdrahtung

Die Hardwareausstattung sowie die Verdrahtung aller sechs Raumstationen sind identisch. Nachfolgend wir auf die Verdrahtung eingegangen.

Alle Stromlauf- und Tragschienenpläne befinden sich im Anhang.

5.2.1. Klemmenplan

Auf im Anhang befindet sich der Tragschienenplan. Die Reihenklemmen XPE, XL und XN führen 230 V-Netzspannung, speisen das System und versorgen die Netzgeräte. Die primär getaktete Stromversorgung 787-1002 versorgt neben der SPS auch die angeschlossenen Sensoren und Anzeigeelemente. Verbraucher, wie der LED-Dimmer, werden durch die Stromversorgung 787-1022 versorgt. Für den KNX-Bus steht ein gesondertes Netzteil zur Verfügung. Die ABB SV/S 30.160.1.1 versorgt die KNX-Busleitung mit der 30 V-KNX-Spannung, die benötigt wird, um den Bus zu betreiben.

5.2.2. Stromlaufpläne

Die Stromlaufpläne der Raumautomatisierungsstation befinden sich im Anhang.

5.3. Inbetriebnahme

Zur Inbetriebnahme der Raumstationen wurde ein Projekt angelegt, mit dem alle analogen und digitalen Ein- und Ausgänge auf Funktion getestet werden. Mit Hilfe des KNX- und DALI-Gateways der Wago-SPS werden auch die Buskomponenten eingebunden und auf Funktion und Verdrahtung überprüft.

CoDeSys-Projekt

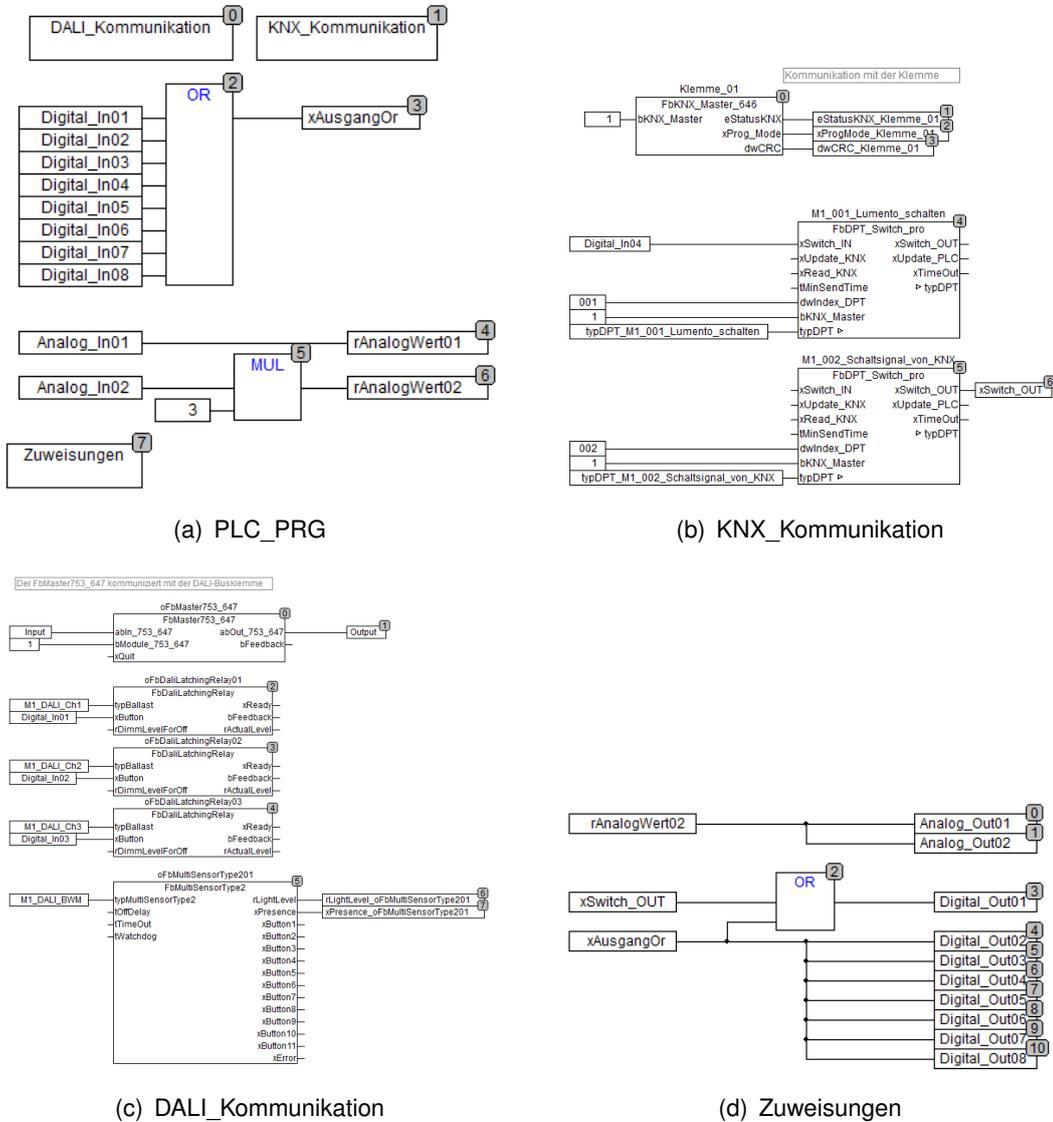


Abbildung 5.7.: Inbetriebnahme CoDeSys-Projekt

Abbildung 5.7 zeigt die vier Programmbausteine des Inbetriebnahme-Projekts. Das PLC_PRG wird in Abbildung 5.7(a) dargestellt und zyklisch aufgerufen. Es ruft die Programmbausteine für die Buskommunikation (*DALI_Kommunikation*, *KNX_Kommunikation*) und die Ausgangszuweisung (*Zuweisungen*) auf. Hier sind alle acht digitalen Eingänge mit einem Oder-Gatter verknüpft. Das Ergebnis wird in einer Variablen gespeichert. Der analoge

Eingang 1 wird in eine Variable geschrieben. Der zweiten REAL-Variable ist das Ergebnis der Multiplikation des analogen Einganges 2 und der Integerzahl 3 zugewiesen.

Die KNX-Kommunikation der SPS wird in Abbildung 5.7(b) gezeigt. Der Baustein „Klemme_01“ stellt die Verbindung des Projektes zum KNX-Bus her. Auf den KNX-Bus wird mit dem Baustein „M1_001_Lumento_schalten“ ein „Schalten“-Telegramm gesendet, in Abhängigkeit des digitalen Eingang 4. Mit dem Baustein „M1_002_Schaltsignal_von_KNX“ wird eine bool'sche Variable geschrieben, die durch Telegramme vom KNX-Bus beeinflusst wird.

Darstellung 5.7(c) zeigt die Schnittstelle mit dem DALI-Bus. Der „FbMaster753_647“ baut die Verbindung zum Bus auf. Die Stromstoßrelais „FbDaliLatchingRelay“ schalten die DALI-Objekte, die die drei Kanäle des Controllers darstellen. Der Bewegungsmelder wird durch den Baustein „FbMultiSensorType2“ eingebunden. Die Ausgänge dieses Bausteines werden in zwei Variablen geschrieben um weiter verarbeitet zu werden.

Im Programmbaustein „Zuweisungen“ (Abbildung 5.7(d)) werden Variablen den Ausgängen zugewiesen. Diese Vorgehensweise bietet sich an, wenn mehrere Variablen an verschiedenen Stellen einen Ausgang schreiben. Der Wert der Variable „rAnalogWert02“ wird auf beide analogen Ausgänge gegeben. Der Wert der Ausgangsspannung des zweiten Kanals wird auf der Digitalanzeige ausgegeben. Mit dem Oder-Gatter werden alle Variablen, die auf den digitalen Ausgang *Digital_Out01* wirken, verknüpft. Ein *TRUE*-Signal auf einem digitalen Eingang bewirkt ein *TRUE*-Signal auf allen digitalen Ausgängen.

DALI-Projekt

Mit dem Wago-DALI-Konfigurator (Abschnitt 4.3) werden die verbundenen Busteilnehmer ausgelesen und mit eindeutigen Namen versehen. Dadurch können sie nach dem Import in das CoDeSys-Projekt intuitiver verwendet werden.

Tabelle 5.1.: DALI-Konfiguration Inbetriebnahme

Objektname	Typ	Bemerkung
DALI_Ch1	Standard-EVG	Kanal 1 des DALI-Controllers
DALI_Ch2	Standard-EVG	Kanal 2 des DALI-Controllers
DALI_Ch3	Standard-EVG	Kanal 3 des DALI-Controllers
DALI_BWM	SensorType2	
	Lichtsensor	Lichtsensor des Präsenzmelders
	Präsenzmelder	Anwesenheitssensor

Die voranstehenden Objekte (Tabelle 5.1) werden in das CoDeSys-Projekt importiert und können dort angesprochen werden (vgl. Abbildung 5.7(c)).

KNX-Projekt

Um alle Teilnehmer des KNX-Busses auf Funktion zu testen, wurde ein Projekt in der ETS 5 erstellt und alle Teilnehmer importiert. Die TP1-Klemme verfügt über zwei Objekte, die je eine Ein- und eine Ausgangsvariable im CoDeSys repräsentieren.

Gruppenadressen	Objekt	Gerät
<ul style="list-style-type: none"> Dynamische Ordner 0 Schalten 0/0 Inbetriebnahme 0/0/1 Lumento_schalten 0/0/2 LED_schalten 	0: KNX_Kommunikation.M1_001_Lumento_schalten -	1.1.3 TP1-Klemme
	1: Ein/Aus - 0=Ausgesch.; 1=Eingesch.	1.1.2 LUMENTO X3
<ul style="list-style-type: none"> Dynamische Ordner 0 Schalten 0/0 Inbetriebnahme 0/0/1 Lumento_schalten 0/0/2 LED_schalten 	1: KNX_Kommunikation.M1_002_Schaltsignal_von_KNX -	1.1.3 TP1-Klemme
	16: Wippe 2.0 - Schalten -	1.1.1 2fach Bedienelement mit Raumtemperaturregler

Abbildung 5.8.: Gruppenadressen im ETS-Projekt

Die voranstehende Abbildung 5.8 zeigt die beiden Gruppenadressen die im KNX-Projekt erstellt wurden.

Die Gruppe *0/0/1 Lumento_schalten* enthält ein Kommunikationsobjekt der KNX/TP1-Klemme, welches einen Schaltbefehl von der SPS repräsentiert und an den LED-Dimmer übergeben wird, der ebenfalls durch ein 1-Bit-Objekt abgebildet wird.

Das Schalttelegramm, das der Raumtemperaturregler mit einer Wippe verschickt, wird an die Gruppe *0/0/2 LED_schalten* gesendet. In dieser Gruppe befindet sich auch ein Objekt der KNX/TP1-Klemme, welches den Schaltbefehl an die Steuerung überträgt, um ihn dort zu verwenden (vgl. Abbildung 5.7(b))

6. Wetterstation

Der WAGO-flexROOM-Weather-Verteiler 2854-9001 wurde entwickelt, um Wetterdaten zu erfassen und sie Wago-Office-Verteilern zur Verfügung zu stellen. In einem Netzwerk mit Office-Verteilern werden die Daten durch den Weather-Verteiler verarbeitet und an die Office-Verteiler weitergeleitet. Die Wetterstation ist mit einem integrierten Webserver ausgestattet, dieser ermöglicht eine webbasierte Konfiguration der Station. Auf diesem Webserver wird auch das Applikationsprogramm ausgeführt, welches zur Parametrisierung benötigt wird.

Im Inneren der Wetterstation befindet sich eine Wago 750-884 SPS die mit analogen und digitalen Eingängen erweitert ist, um Signale zu erfassen.

Abbildung 6.1 zeigt die Übersicht über die vorhandenen Anschlüsse der Wetterstation. Zur Kommunikation mit dem Netzwerk besitzt der Weather-Verteiler zwei Ethernet-Anschlüsse. Es besteht die Möglichkeit, einen GPS¹- und DCF77²-Empfänger anzuschließen um genaue Standort- und Uhrzeitinformationen zu empfangen. Diese Informationen lassen sich wahlweise auch über die Webvisualisierung in die Steuerung schreiben.

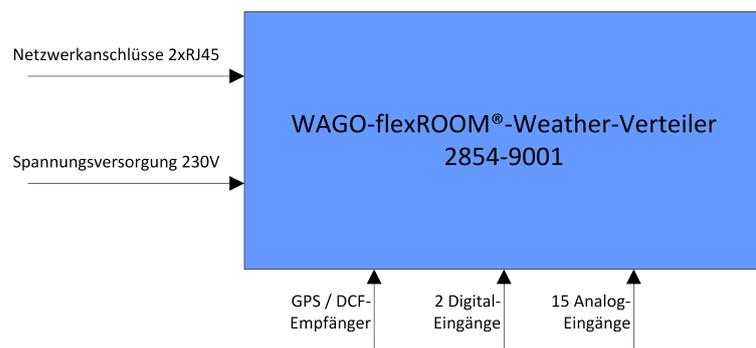


Abbildung 6.1.: Anschlüsse der Wetterstation

Zur Erfassung der Wetterinformationen stehen zwei digitale Eingänge und fünfzehn analoge Eingänge zur Verfügung. Mit den Digitaleingängen werden ein Regensensor und ein Zentralschalter, der alle Jalousien öffnet, verbunden. Temperatur-, Feuchte-, Wind-, Windrichtungs-, Helligkeits-, Dämmerungs- und Globalstrahlungssensoren werden an die Analogeingänge angeschlossen. Die Windmessung besteht neben einem Hauptwindsensor aus acht optionalen Windsensoren, mit denen die Windgeschwindigkeit an verschiedenen Punkten des Gebäudes gemessen werden kann, um Rollläden und Jalousien bei starkem Wind vor Beschädigung zu schützen.

¹Global Positioning System, Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung

²DCF77, Rufzeichen für Uhrzeit und Wetterprognosen

In der Laborumgebung werden Zustände und Messwerte der Wetterdaten durch Schalter und Potentiometer eingestellt. Dadurch kann das Wetter gewünscht verändert werden um Funktionen zu testen.

Grenzwerte und Messbereiche für die Sensoren werden manuell über die Applikation eingestellt. Hier werden auch alle erfassten Wetterdaten und gegebenenfalls Überschreitungen von Grenzwerten und Messbereichen angezeigt. In der Applikation ist es ebenfalls möglich, Wetterdaten zu übersteuern, falls Sensoren defekt sind oder Funktionen getestet werden sollen.

Die Wetterstation ermöglicht es, Gebäude in bis zu 64 Fassadenbereiche zu unterteilen. Definierte Fassaden helfen dabei, ein Gebäude in Beschattungszonen einzuteilen. Das ist relevant, wenn Teile des Gebäudes bei Sonneneinstrahlung durch ein anderes Gebäude verschattet werden und Jalousien nicht benötigt werden, um Räume vor direkter Sonneneinstrahlung zu schützen.

Um Jalousien und Rollläden vor Beschädigung durch starken Wind zu schützen stehen neun Windsensoren zur Verfügung. Mit diesen Sensoren und der Geometrie des Gebäudes können bis zu 10 Windgruppen gebildet werden. Ziel ist es, das Gebäude in Bereiche einzuteilen, in denen die Windgeschwindigkeit annähernd gleich ist. Dadurch können nur Jalousien in die Schutzposition gefahren werden, die wirklich geschützt werden müssen.

Die Applikation unterstützt bis zu 10 Zeitschaltkanäle. Sie werden in der Wetterstation definiert und von Office-Verteilern verwendet. Zeitschaltkanäle erlauben eine zeitabhängige Steuerung von Jalousien, Licht und Heizungsbetriebsarten. Wird eine SD-Karte verwendet, kann die Wetterstation Daten wie Messwerte und Uhrzeiten aufzeichnen und archivieren. Um einen Ausfall der Wetterstation zu detektieren, kann ein Heartbeat-Signal konfiguriert und überwacht werden.

Um die Funktionen der Weather-Applikation in CoDeSys-Projekten zu nutzen, wird die Bibliothek *DecodeFlexweather_01.lib* benötigt, die durch Wago zur Verfügung gestellt wird. Sie enthält zwei Funktionsbausteine, die Signale der Wetterstation decodieren und Schaltbefehle oder Zustände ausgeben.

Ein Baustein verarbeitet dabei alle Schaltaktionen, die durch Zeitschaltkanäle ausgeführt werden. Dem Baustein muss der Kanal übergeben werden und er liefert Zustände für Licht, Jalousien und Heizung.

Der zweite Baustein dient zur Steuerung von Jalousien. Ihm werden Wind- und Fassadengruppe der zu steuernden Jalousien übergeben, dadurch gibt er Alarme, Schaltsignale und Positionen für ausgewählte Jalousien aus.

Durch die Bibliothek ist es dem Entwickler nicht möglich auf Messwerte oder Zustände zuzugreifen. Werden für die Programmierung einer Anwendung exakte Werte, wie Globalstrahlung oder die Sonnenhöhe benötigt, stellt die Wetterstation alle erfassten und berechneten Werte in Modbus-Registern zur Verfügung. Diese können mit Hilfe des Modbus-Masters des Controllers der Raumstation gelesen und geschrieben werden. Eine ausführliche Beschreibung der Modbus-Register befindet sich im Handbuch der Weather-Applikation.

6.1. Ableitung einer Aufgabe

Zum Schutz von Jalousien und Rollläden müssen diese bei starken Windverhältnissen in eine Sicherheitsposition gefahren werden. Wetterdaten, wie die Außentemperatur, werden zur Steuerung von Heizungs- und Lüftungsanlagen benötigt. Daher ist die Einbindung einer Wetterstation und die Wetterdatenauswertung eine weitere wichtige Aufgabe, die in der Gebäudeautomatisierung anfällt. Um Studierende mit der Verarbeitung von Wetterdaten vertraut zu machen, wird eine Aufgabe erstellt, in der Teilnehmer die Wetterstation einbinden.

7. Lüftungsstation

Werden Heizungs-, Lüftungs- oder Klimaanlage in die Gebäudeautomatisierung integriert, werden umfangreiche Programme und Visualisierungen benötigt. Viele dieser Lösungen verwenden wiederkehrende Funktionen. Daher stellt die Firma Wago Anlagenmakros zur Verfügung, die diese Programmierarbeit reduzieren.

Anlagenmakros basieren auf Verknüpfungen verschiedener Funktionsbausteine aus der HVAC¹-Bibliothek *Building_HVAC_03.lib*. In Anlagenmakros sind alle Konfigurationsparameter der einzelnen Bausteine in einer Struktur zusammengefasst.

Um eine umfangreiche Gebäudeautomatisierung simulieren zu können, wird eine Lüftungsanlage in das System integriert. Es handelt sich dabei um eine Vollklimaanlage mit Mischluft und Ventilator mit Frequenzumrichter.

7.1. Funktionsbeschreibung

Die Lüftungsanlage (7.1) betreibt einen Ventilator mit Schütz- und Laufüberwachung, der stetig durch eine Druckregelung im Zu- und Abluftkanal geregelt wird. Zur Sicherheit vor Frostschäden werden sowohl Luft-, als auch Wassertemperaturen überwacht. Durch bedarfsabhängiges Schalten aller Pumpen arbeitet die Lüftungsanlage energieeffizient. Das Makro regelt Temperatur und Feuchte der Abluft und überwacht die Funktion aller Pumpen, sowie den Zustand des Außenluftfilters.

Bei anlagenkritischen Störungen wird die Lüftungsanlage durch das Makro abgeschaltet. Zur Signalisierung einer Störung stehen Schaltausgänge für eine Leuchte und eine Hupe zur Verfügung, außerdem wird dem Benutzer über die Visualisierung eine Fehlermeldung ausgegeben.

Das Makro regelt alle Klappen in Abhängigkeit der Zu- und Ablufttemperaturen und ist in der Lage, Positionen und Endlagen zu überwachen. Durch die Bedieneroberfläche ist es möglich, alle Klappen zu übersteuern und ihnen Stellungen vorzugeben.

¹Heating, Ventilation and Air Conditioning, dt. Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage

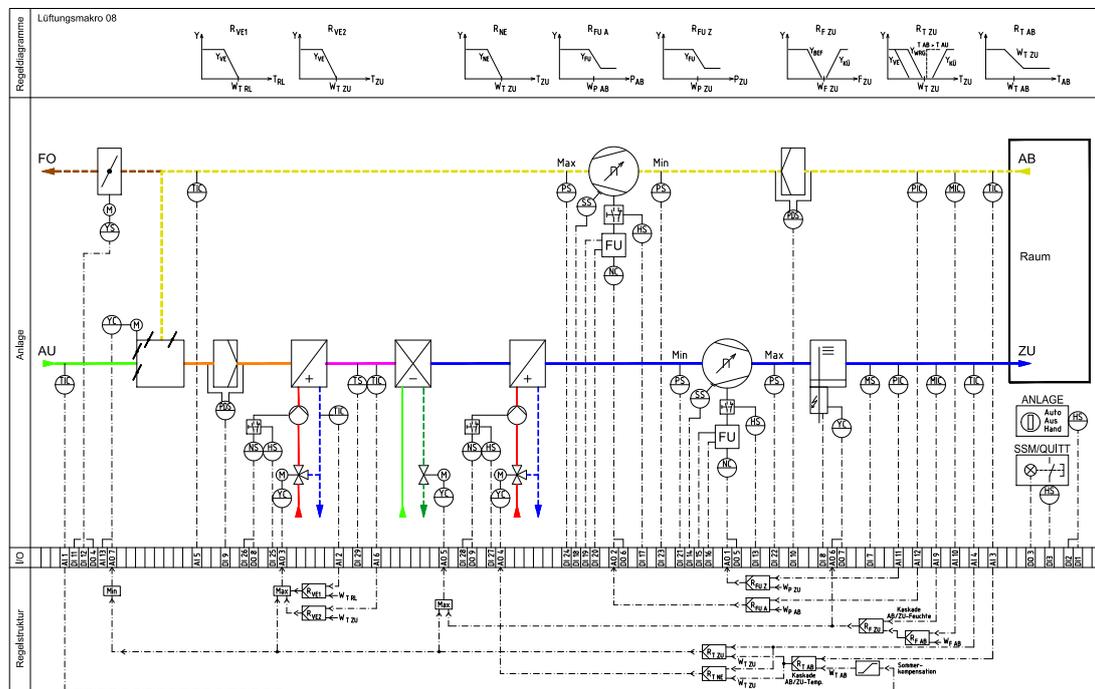


Abbildung 7.1.: Anlagenschema Vollklimaanlage mit Mischluft und Ventilator mit Frequenzumrichter
Quelle: Wago Makrobeschreibung

Zur Inbetriebnahme wurde ein Anfahrbetrieb realisiert, der das Heizregister vorspült, bis es die vorgegebene Mindesttemperatur erreicht hat. Die beiden Klappen bleiben während des Anfahrens geschlossen, bis alle Temperaturen erreicht wurden.

Die Erhitzerpumpe, wird bei Bedarf eingeschaltet und nach einer konfigurierbaren Nachlaufzeit abgeschaltet. Sie besitzt eine Blockierschutzfunktion und kann ebenfalls übersteuert werden.

Über eine Heizkurve wird die Soll-Vorlauftemperatur ermittelt. Sie wird in Abhängigkeit des Heizregisters optimiert.

Die Ventilatoren werden, in Abhängigkeit des Druckes in den Kanälen, geregelt. Dafür stehen zwei PID-Regelparametersätze zur Verfügung, mit denen das Verhalten vorgegeben werden kann. Die Ansteuerung erfolgt über Frequenzumrichter, dessen Status optional überwacht werden kann. Durch Keilriemenüberwachung wird die Funktion der Ventilatoren überwacht.

Über die Visualisierung kann eine Einschaltverzögerung vorgegeben werden und die Regler übersteuert werden.

Luft- und Feuchteregler halten das Raumklima auf dem gewünschten Niveau. Weiter steht eine Sommernachtslüftung zur Verfügung, die in der Lage ist, Räume in der Nacht abzukühlen.

Alle aufgenommenen Temperaturmesswerte werden durch einen Tiefpass 1.-Ordnung geglättet und auf Grenzwertüberschreitungen überwacht.

7.2. Stromlaufplan

Die Stromlaufpläne der Lüftungsstation befindet sich ebenfalls im Anhang.

Die Verdrahtung der Klemmen X201 bis X204 wurde auf einer Lochplatine vorgenommen. Die Verbindungen sind gelötet. Die Klemmleiste X202 führt die Leitungen zu einem D-Sub-Stecker auf der Außenseite der Station. Von der Klemmleiste X203 sind die Leitungen mit einer D-Sub-Buchse, die sich ebenfalls auf der Außenseite befindet, verbunden. Um Potentiometer auf der Frontplatte zu nutzen, muss diese Verbindung mit einer Leitung geschlossen werden. Werden Potentiometer von einer Raumstation simuliert, ist der D-Sub-Stecker mit der Simulationsstation zu verbinden.

Durch die Widerstände R_1 bis R_6 und die nachfolgenden Potentiometer können Widerstandswerte zwischen 1000Ω und 1470Ω eingestellt werden.

Die digitalen Eingänge wurden, neben Schaltern auf der Frontplatte, ebenfalls auf Stecksysteme geführt um sie von außen einspeisen zu können. Dioden verhindern Spannungen an den ungenutzten Komponenten.

Alle analogen Ausgänge werden von Messelementen erfasst und auf der Frontplatte visualisiert. Über Steckkontakte können die analogen Ausgänge durch eine Simulationsstation erfasst und verarbeitet werden.

Wie die analogen Ausgänge sind auch die digitalen Ausgänge auf Steckkontakte geführt. Außerdem sind sie über Vorwiderstände mit Leuchtdioden verbunden, die ihren Status anzeigen.

7.3. Inbetriebnahme

Das Projekt der Lüftungsstation befindet sich im Anhang.

Den Ein- und Ausgängen der Busklemmen wurden selbsterklärende Namen zugewiesen.

Das Projekt besteht aus zwei Programmbausteinen. Das Programm *PLC_PRG* wird zyklisch ausgeführt und ruft in jedem Zyklus das Programm für Ein- und Ausgangszuweisungen auf.

Die Eingänge der Analogeingangsklemmen, die die Stellungen der Regelklappen messen, werden in der Software skaliert, damit sie Messwerte zwischen 0...100 % liefern.

8. Heizungsstation

Soll eine Heizungsanlage in die Gebäudesteuerung integriert werden, kann ebenfalls auf ein Makro zurückgegriffen werden. Für die Ausstattung des Gebäudeautomationsystems wurde eine Steuerung für einen Heizkreis mit Wärmetauscher, Vorlauftemperatur-Regelung und Rücklauftemperatur-Begrenzung realisiert.

8.1. Funktionsbeschreibung

Die Heizungsstation (Abb. 8.1) dient dazu, eine Heizungsanlage zu steuern. Zur Umschaltung zwischen Tag- und Nachtbetrieb dient ein Zeitschaltprogramm. Im Nachtbetrieb ist es möglich, zwischen einer Nachtabsenkung und einer Nachtabschaltung zu wählen. Je nach Nutzung des Raumes, wird dabei die Heizkurve parallel verschoben oder soweit wie möglich abgesenkt. Die Heizperiode wird durch die Außentemperatur ermittelt. Die gewünschten Grenzwerte können für jede Betriebsart separat eingestellt werden. Ein Maximalthermostat schützt die Anlage vor Überhitzung und schaltet die Umwälzpumpe ab.

Bei niedrigen Außentemperaturen schaltet sich die Umwälzpumpe automatisch ein um die Anlage vor Frost zu schützen. Durch einen Frostschutzregler wird die Vorlauftemperatur überwacht. Fällt die Temperatur unter den Grenzwert, wird die Umwälzpumpe eingeschaltet und eine Störung ausgegeben.

Der Umwälzpumpe kann eine Nachlaufzeit übergeben werden, um häufiges Schalten zu verhindern. Durch die Visualisierung ist es dem Nutzer möglich, sie zu übersteuern.

Um Leitungen vor starken Temperaturunterschieden zu schützen, wird die Soll-Vorlauftemperatur über eine Rampenfunktion angepasst. Die Vorlauftemperatur-Regelung ist witterungsgeführt und wird über die Heizkurve eingestellt.

Temperaturmesswerte werden durch einen Tiefpass 1.-Ordnung geglättet und jederzeit überwacht. Werden Grenzwerte über- oder unterschritten wird eine Störmeldung ausgegeben.

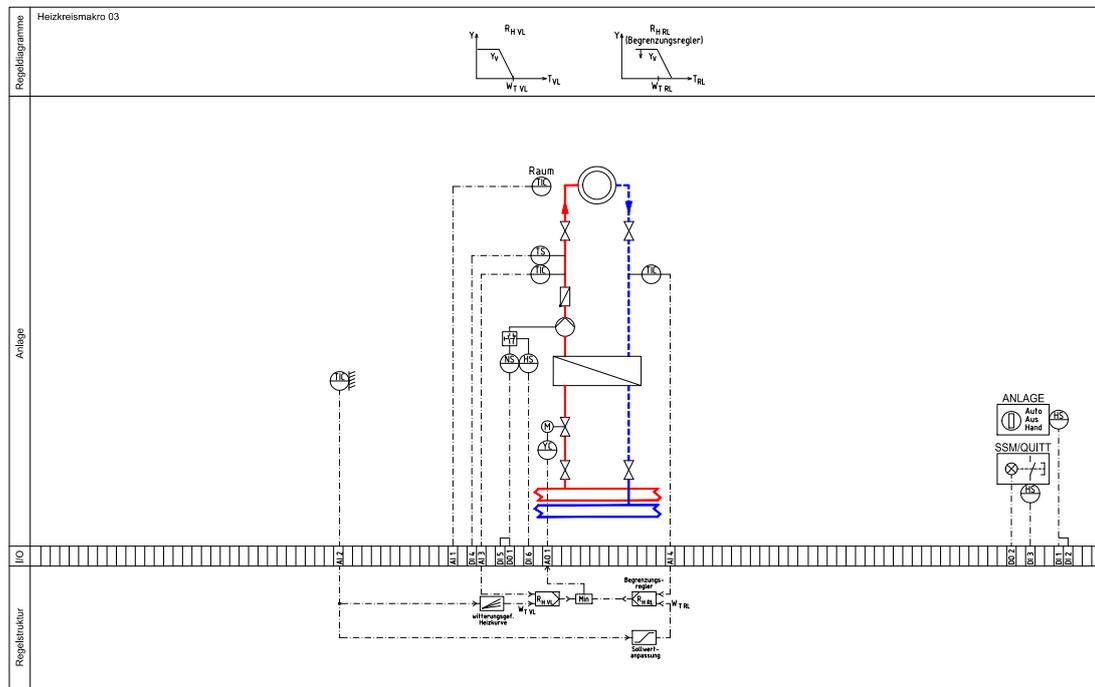


Abbildung 8.1.: Anlagenschema Heizkreis mit Wärmetauscher, Vorlauftemperatur-Regelung und Rücklauftemperatur-Begrenzung
Quelle: Wago Makrobeschreibung

8.2. Stromlaufplan

Der Stromlaufplan der Heizungsstation befindet sich im Anhang.

Die Digitaleingangsklemme ist über Steckverbinder X100 mit einem Schalterelement verbunden. Mit dem Schalterelement werden Zustände eingestellt. Durch die Steckkontakte können Zustände von einer Simulationsstation übertragen werden.

Die Analogeingänge werden durch Potentiometer und Vorwiderständen zwischen 1000Ω und 1470Ω eingestellt. Dazu muss eine Brücke in die Frontplatte gesteckt werden. Alternativ sind die Klemmeneingänge an Kontakten auf der Frontplatte angeschlossen.

Die Anlage besitzt zwei Digitalausgänge. Durch LED's wird der Zustand auf der Frontplatte angezeigt. Durch parallele Steckkontakte können die Signale an der Frontplatte abgegriffen werden.

Neben Kontakten auf der Frontplatte sind die analogen Ausgänge ebenfalls mit Mess- und Anzeigeelementen verbunden um die Ausgangsspannung anzuzeigen.

8.3. Inbetriebnahme

Zu Beginn wurden den Ein- und Ausgängen Namen zugewiesen um sie bei der Programmierung schnell finden zu können. Diese Namen repräsentieren auch die Funktion der Ein- und Ausgänge.

Im Anhang befindet sich das Projekt der Heizungsstation. Im Zuweisungsprogramm werden alle Eingänge in globalen Variablen gespeichert und allen Ausgängen werden globale Variablen zugewiesen. Dadurch können Programmänderungen übersichtlich umgesetzt werden.

Dem vorbereiteten Funktionsbaustein werden alle zuvor erstellten Variablen übergeben. Der Baustein verarbeitet die Eingänge gemäß Funktionsbeschreibung (Abschnitt 8.1) und schreibt die Ausgangsvariablen, die dann an die Hardware übergeben werden.

9. Laboraufgaben

9.1. Laboraufgabe 1: Inbetriebnahme KNX-System

9.1.1. Zielsetzung

Im ersten Laborversuch sollen sich die Studierenden mit den Funktionen des KNX-Busses vertraut machen und die vorhandenen Busteilnehmer in Betrieb nehmen. Hierzu muss der Umgang mit der Programmiersoftware ETS5 erlernt und vertieft werden. Weiter sollen die Möglichkeiten des Raumtemperaturreglers erkannt und angewendet werden, um festzustellen, wie groß die Möglichkeiten mit dieser Komponente sind.

9.1.2. Benötigte Hilfsmittel

Um dieses Praktikum durchführen zu können, werden folgende Hilfsmittel, Programme und Bibliotheken benötigt:

- **Engineering Tool Software Version 5** *Ets5Setup.exe*:
Installationsdatei für die KNX-Engineering-Software ETS 5.
Dies ist die Entwicklungsumgebung zur Inbetriebnahme von KNX-Komponenten.
- **KNX Powertool** *ap_PT_1_2_68_BJE.zip*
Zusatzsoftware zur Parametrisierung des Raumtemperaturreglers.
- **ETS5-KNX-Anleitung** *GF-Labor.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung in ETS 5.
- **KNX-Bibliothek von Busch Jäger** *Ap_solo_RTR_6124_01_6128_01_v1.vd5*
Die benötigte Bibliothek für den Raumcontroller von Busch Jäger.
- **KNX-Bibliothek von Lumento** *Lumento_X3_RGB_1.3 EIFARSIIP_CERT.knxprod*
Die benötigte Bibliothek für den KNX-Dimmer von Lumento.

9.1.3. Aufgabenstellung

Aufgabe 1.1

Nehmen Sie den KNX-Bus in Betrieb.

Sorgen Sie dafür, dass bei kurzer Betätigung der rechten oberen Taste des Raumbediengeräts der rechte Äußere LED-Streifen eingeschaltet wird und mit voller Helligkeit weiß leuchtet und bei erneuter kurzer Betätigung wieder erlischt.

Aufgabe 1.2

Das verwendete KNX-Bediengerät verfügt über Status-LED's auf jeder Taste. Sorgen Sie dafür, dass bei eingeschaltetem Licht auch die Status-LED grün leuchtet. Achten Sie weiter darauf, dass das Licht nicht direkt mit voller Helligkeit eingeschaltet wird, sondern, dass es sich innerhalb von 5 Sekunden auf volle Helligkeit steigert.

Aufgabe 1.3

Jetzt soll das weiße Licht gedimmt werden, wenn die Bedientasten länger gedrückt werden: Mit der rechten oberen Taste heller, mit der linken oberen Taste dunkler. Der aktuell eingestellte Helligkeitswert (prozentual) soll in der Alarm- und Textzeile des Raumbediengeräts angezeigt werden.

Aufgabe 1.4

Belegen Sie drei Tasten des Raumbediengerätes mit Farbsteuerungs-Funktionen. Jede Taste soll eine Farbe (RGB) ansteuern. Dadurch soll die Farbe des Lichts frei einstellbar sein.

Aufgabe 1.5

Alarmsituation:

Es soll ein Alarmfall simuliert werden. Als Alarmauslöser soll der linke untere Taster genutzt werden. Wird er gedrückt, soll der LED-Streifen mit einer Pulsdauer von 1 Sekunde blinken. Parallel dazu soll in der Alarm- und Textzeile die Meldung „Alarm“ angezeigt werden. Liegt kein Alarm an, bleibt die Anzeige leer. Der Alarmfall wird mit einem erneuten Druck auf den Taster quittiert.

Aufgabe 1.6

Programmieren Sie das Raumbediengerät und zeigen Sie auf dem Display die aktuell gemessene Raumtemperatur an.

Aufgabe 1.7

Fügen Sie nun das Datum und die Uhrzeit zusätzlich zur aktuellen Raumtemperatur in die Alarm- und Textanzeige ein. Datum und Uhrzeit sollen sich im 5 Sekundentakt abwechseln.

Aufgabe 1.8

Der Raumtemperaturregler ist in der Lage, zwischen vier Betriebsarten umzuschalten. Programmieren Sie den RTR im Heizbetrieb. Auf der linken oberen Wippe soll zwischen dem Komfort- und dem Standbybetrieb gewechselt werden. Mit der rechten oberen Wippe kann der Nacht- bzw. Frostschutzbetrieb ausgewählt werden.

Aufgabe 1.9

Parametrisieren Sie den Raumtemperaturregler im Modus Heizen. Der Basis-Sollwert des Reglers soll im Komfortbetrieb 22°C betragen. Während des Standbybetriebs ist eine Raum-Solltemperatur von 18°C ausreichend. In der Nachtabenkung muss der Regler eine Temperatur von 16°C halten. Dem Bediener muss es möglich sein, den Sollwert um +/- 5°C anzupassen. Steuern Sie mit dem Ausgang des Reglers das Stellventil des Heizkörpers. Nutzen Sie im Labor anstatt des Ventils den LED-Streifen und schalten Sie rotes Licht ein, wenn der Stellantrieb geöffnet wird.

Aufgabe 1.10

Verfolgen Sie die Telegramme des letzten Aufgabenteils im Diagnosefenster der ETS 5. Worin unterscheiden sich Schaltbefehle von Temperaturtelegrammen?

Aufgabe 1.11 (optional)

Erweiterung des Laboraufbaus um den KNX-Koffer. Ansteuerung von Rollläden über alle Bediengeräte:

- das im Koffer eingebaute Raumbediengerät,
- das im Versuchsaufbau eingebaute Raumbediengerät.

9.1.4. Musterlösung

Die Projektdateien der Musterlösung befinden sich im digitalen Anhang.

9.1.5. Probleme und Lösungen

Verbindungsaufbau zwischen Programmierstation und Programmierschnittstelle

Bei neuen Betriebssystemen (Windows 8 oder neuer) traten unregelmäßig Probleme bei der USB-Verbindung zwischen dem Computer und der *ABB Programmierschnittstelle* auf. Die ETS 5 konnte die USB-Verbindung nicht nutzen, da sie seitens des Betriebssystems genutzt wurde.

Lösungsansatz:

Abhilfe schafft hier der **KNX USB Fix** (*KnxUsbFix.exe*). Dieser kann kostenlos über den KNX-Support bezogen werden und konfiguriert die USB-Interfaces um sie zur Programmierung nutzen zu können.

Für die Zukunft sollten als Programmierstationen die vorhandenen Laborcomputer genutzt werden, um Software- und Verbindungsproblemen aus dem Weg zu gehen.

Busteilnehmer adressieren

Bei der Inbetriebnahme eines KNX-Systems ist es nötig, alle Busteilnehmer zu adressieren. Aufgrund der Bedeutung dieses Arbeitsschrittes sollte er auch von Studierenden durchgeführt werden, um das Konzept zu verinnerlichen.

Während der Durchführung hat sich allerdings herausgestellt, dass die Adressierung des Raumtemperaturreglers sehr mühsam ist, da dieser dabei vom Busankoppler entfernt werden muss, um die Programmier Taste zu betätigen. Wird der Raumtemperaturregler wieder aufgesetzt, muss darauf geachtet werden, dass sich die rückseitigen Pins nicht verbiegen und das Gerät beschädigt wird.

Lösungsansatz:

Alle Busteilnehmer, ausgenommen der *Zennio Lumento X3 Dimmer*, sollten mit festen Adressen versehen und den Studierenden bekanntgegeben werden, um Schäden an den Geräten zu vermeiden. Die Teilnehmeradressierung kann mit Hilfe des Dimmers vermittelt werden, da die Programmier Taste offen zugänglich ist.

9.2. Laboraufgabe 2: Lichtsteuerung

9.2.1. Zielsetzung

In diesem Laborversuch sollen die Studierenden die Raumautomatisierungsstation in Betrieb nehmen. Es soll der Umgang mit der CoDeSys-Programmierungsumgebung in der Programmiersprache CFC (Continuous Function Chart) erlernt werden. Weiter sollen Studierende erlernen, KNX- und DALI-Komponenten in das Projekt einzubinden.

9.2.2. Benötigte Hilfsmittel

Für dieses Praktikum werden folgende Software und Hilfsmittel benötigt:

- **Engineering Tool Software Version 5** *Ets5Setup.exe*:
Installationsdatei für die KNX-Engineering-Software ETS 5.
Dies ist die Entwicklungsumgebung zur Inbetriebnahme von KNX-Komponenten.
- **KNX Powertool** *ap_PT_1_2_68_BJE.zip*
Zusatzsoftware zur Parametrisierung des Raumtemperaturreglers.
- **ETS5-KNX-Anleitung** *GF-Labor.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung in ETS 5.
- **KNX-Bibliothek von Busch Jäger** *Ap_solo_RTR_6124_01_6128_01_v1.vd5*
Die benötigte Bibliothek für den Raumcontroller von Busch Jäger.
- **KNX-Bibliothek von Lumento** *Lumento_X3_RGB_1.3_EIFARStP_CERT.knxprod*
Die benötigte Bibliothek für den KNX-Dimmer von Lumento.
- **CoDeSys V2.3** *CODESYS_2.3.9.47_RELEASE_BUILD_20150615.zip*:
Installationsdatei für die CoDeSys-Entwicklungsumgebung V2.3. Bereitgestellt wird diese Software von WAGO.
- **WAGO-Dali-Konfigurator** *DALI_Configuratur_FULL_de.exe*:
Die Konfigurations-Software für das DALI-Netzwerk. Bereitgestellt wird diese Software ebenfalls von WAGO.
- **Schnellstart Gebäudeeffizienz** *Laboranleitung.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung um erste CoDeSys-Projekte zu erstellen, sowie Informationen zum Einbinden von Bibliotheken und KNX- und DALI-Anbindung.
- **DALI-Bibliothek** *DALI_647_02.lib*:
Bibliothek um DALI-Kommunikation herzustellen.

- **KNX-Bibliothek** *KNX_02.lib*:
Bibliothek um KNX-Kommunikation herzustellen.
- **Leeres CoDeSys-Projekt** *Leeres_Projekt.pro*:
Als Vorlage für eigene Programmierung. Hier ist die Labor-Hardware bereits eingebunden.

9.2.3. Aufgabenstellung

Allgemeines

In diesem Versuch sollen der Wago-Knoten sowie der KNX-Bus gekoppelt werden. Dafür müssen zwei Brücken zwischen den Buchsen „KNX“ und „Koppler-Klemme 759-646“ auf der Frontplatte eingesetzt werden.

Die letzte Zahl der IP-Adresse des verwendeten Wago-Controllers finden Sie auf dem Aufkleber auf dem Gerät „WAGO 750-831“. Dort steht z. B. „.11“, der Controller hat also die IP-Adresse 192.168.1.11.

Um den WAGO-Controller per Ethernet-Kabel ansprechen zu können, muss Ihr Rechner im selben Subnetz sein: 192.168.1.x.

Bitte versetzen Sie Ihren Rechner in den Modus „feste IP-Adresse verwenden“ und geben ihm die Adresse Ihres Controllers plus 100. Im Beispiel also die Adresse 192.168.1.111.

Verbinden Sie Ihren Rechner per Ethernet-Kabel mit der SPS.

Verbinden Sie Ihren Rechner per USB-Kabel mit der KNX-Klemme ABB USB / S1.1.

Vorbereitung

Beantworten Sie im Vorfeld folgende Frage:

Sie wollen einen 1-Bit-Schaltbefehl über die KNX-Klemme 753-646 vom WAGO-Controller auf den Bus senden. Zur Verfügung steht die Bibliothek *KNX_02.lib*. Die Verbindung mit der Klemme (*Fb_KNX_Master_646*) ist bereits erstellt und konfiguriert. Welchen Funktionsbaustein aus der *KNX_02.lib* verwenden Sie? Warum?

Aufgabe 2.1

Inbetriebnahme CoDeSys

Laden Sie das leere Projekt und speichern Sie es unter neuem Namen.

Lesen Sie die beiden ersten digitalen Eingänge der Digital-Input-Klemme 750-430 in lokale Variablen ein.

Die Schalter S0 bis S7 sind mit den digitalen Eingängen dieser Klemme verbunden. Prüfen Sie, ob sich Ihre Variablen ändern, wenn Sie die Schalter betätigen.

„UND“-Verknüpfen Sie nun die beiden Variablen und geben Sie das Ergebnis auf eine Variable der Digital-Output-Klemme 750-530.

An den Ausgängen dieser Klemme sind die LEDs auf der Frontplatte des Laboraufbaus angeschlossen. Prüfen Sie, ob diese aufleuchten.

Lesen Sie den zweiten analogen Eingang der Klemme 750-477 in eine lokale Variable ein.

An diesem Anschluss ist das Potentiometer auf der Frontplatte angeschlossen.

Prüfen Sie, ob sich der Wert Ihrer Variablen ändert, wenn Sie das Potentiometer drehen.

Welcher Eingangsspannungsbereich lässt sich mit dem Potentiometer erreichen?

Am ersten Kanal der analogen Ausgangsklemme 750-550 soll durch Betätigen des Potentiometers ein Wert von 1-8V anliegen. Rechnen Sie Ihre Variable entsprechend um und legen Sie diese auf den entsprechenden Ausgang. Sie können die tatsächlich ausgegebene Spannung mit der Digitalanzeige 789-904 überprüfen, die an diesem Ausgang angeschlossen ist. Achten Sie darauf, dass die Anzeige des Mess- und Anzeigeelements auf 0-10V gestellt ist.

Aufgabe 2.2

KNX-Anbindung

Bearbeiten Sie das Programm „KNX_Kommunikation“ im leeren Projekt.

Der digitale Eingang „Digital_In01“ soll ein 1-Bit KNX-Telegramme senden. Ergebnis dieses Telegramms soll das Ein- bzw. Ausschalten der KNX-LED sein (die rechte LED unter dem Laboraufbau).

Sichten Sie dazu die Bibliotheksbeschreibung und nutzen Sie den vorhandenen Programmbaustein „KNX_Kommunikation“!

Durch Betätigung eines Tasters am KNX-Raumcontroller soll eine LED auf der Frontplatte ein- und ausgeschaltet werden. Die LED's sind mit den digitalen Ausgängen der Klemme 750-530 verbunden. Gestalten Sie die CoDeSys- und die KNX-Software entsprechend!

Aufgabe 2.3

DALI-Anbindung

Der digitale Eingang „Digital_In01“ soll passende DALI-Befehle „Einschalten“ und „Ausschalten“ auslösen. Sichten Sie dazu die Bibliotheksbeschreibung und nutzen Sie den vorhandenen Programmbaustein „DALI_Kommunikation“!

Ergebnis dieses Befehls soll das Einschalten bzw. Ausschalten aller DALI-LED-Streifen sein (die ersten drei Streifen von links). Die LED-Streifen sollen orange leuchten.

Aufgabe 2.4

Programmieren Sie ein Lauflicht, das mit allen 4 LED-Streifen arbeitet: Durch die untere KNX-Wippe soll das Lauflicht ein- und ausgeschaltet werden:

- Rechts unten antippen → weißes Lauflicht rechtsherum starten
- Links unten antippen → weißes Lauflicht linksherum starten
- Links oder rechts oben antippen → Lauflicht abschalten

Hinweise:

1. Für das Lauflicht sind 3 DALI-LEDs und eine KNX-LED anzusprechen
2. Das Lauflicht soll mit 1 Hz weitergeschaltet werden
3. Alle LED-Streifen sind RGB-LED's
4. Die Farbe des KNX-LED-Streifens wird über den KNX-Dimmer gesetzt
5. Der DALI-LED-Dimmer kann drei Ausgangskanäle ansprechen. Durch entsprechende Beschaltung des Steckerfelds „DALI RGB-LED-Controller“ können damit folgende Betriebsarten realisiert werden:
 - Separate Ansteuerung der Farbkanäle R, G und B bei allen drei DALI-LED-Streifen,
 - separate Ansteuerung der drei DALI-LED-Streifen, die dann weiß leuchten

9.2.4. Musterlösung

Die Dateien der Musterlösung befinden sich im digitalen Anhang.

Vorbereitung

Hier muss der Baustein „FbDPT_Switch_pro“ verwendet werden. Dieser schickt einen 1-Bit-Schaltbefehl im EIS/DPT 1 Format auf den Bus.

Aufgabe 2.1

Die Analogeingangsklemme liefert bei einer Eingangsspannung von $0V \dots 10V$ einen Wertebereich von $0 \dots 10000_{dez}$.

Die Analogausgangsklemme bildet den Wertebereich $0 \dots 32767_{dez}$ in einen Ausgangsspannungsbereich von $0V \dots 10V$ ab.

Daraus resultiert dann folgende Zuordnung:

$$1V \hat{=} 3277_{dez} \quad (9.1)$$

$$8V \hat{=} 26214_{dez} \quad (9.2)$$

Aus 9.1 und 9.2 ergibt sich dann folgende Formel zur Berechnung des Wertebereiches der Analogausgangsklemme:

$$W_{Ausgang} = W_{Eingang} \cdot 2,294 + 3277 \quad (9.3)$$

Die Projektdateien der Musterlösung befinden sich im Anhang.

9.2.5. Probleme und Lösungen

Adressierung der KNX/EIB/TP1-Klemme

Um den Programmiermodus der *KNX/EIB/TP1-Klemme* zu aktivieren muss ein Kontakt an der Klemme kurzgeschlossen werden.

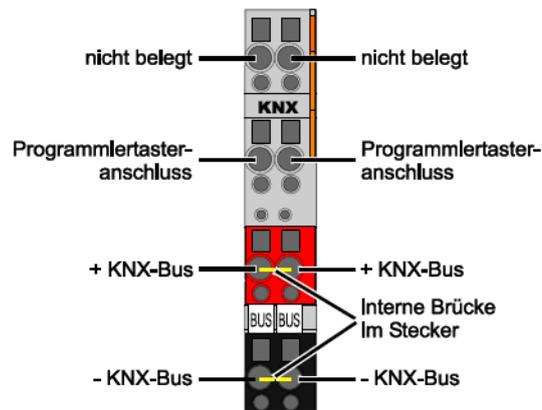


Abbildung 9.1.: Frontansicht KNX/EIB/TP1-Klemme

Quelle: Wago Handbuch KNX/EIB/TP1-Klemme

Abbildung 9.1 zeigt die Frontansicht der *KNX/EIB/TP1-Klemme*. An den Raumautomatisierungsstationen sind diese Anschlüsse nicht belegt und wurden in der Vorbereitung mit einem Stück Draht überbrückt.

Während der Durchführung des Praktikums haben viele der Laborgruppen zufällige eigene physikalische Adressen für die Busklemme vergeben.

Lösungsansatz

In Zukunft sollte der Busklemme, ähnlich, wie auch dem Raumtemperaturfühler, eine statische Adresse zugewiesen werden, die nicht durch Teilnehmer geändert werden darf. Lediglich der *Zennio Lumento X3 Dimmer* kann dann noch durch Teilnehmer adressiert werden.

9.3. Laboraufgabe 3: Raumautomatisierung

9.3.1. Zielsetzung

In diesem Laborversuch sollen Studierende typische Raumautomatisierungsfunktionen kennenlernen. Die Aufgaben können mit Hilfe vorhandener Bibliotheken und Funktionen bearbeitet und gelöst werden.

9.3.2. Benötigte Hilfsmittel

Für dieses Praktikum werden folgende Software und Hilfsmittel benötigt:

- **Engineering Tool Software Version 5** *Ets5Setup.exe*:
Installationsdatei für die KNX-Engineering-Software ETS 5.
Dies ist die Entwicklungsumgebung zur Inbetriebnahme von KNX-Komponenten.
- **KNX Powertool** *ap_PT_1_2_68_BJE.zip*
Zusatzsoftware zur Parametrisierung des Raumtemperaturreglers.
- **ETS5-KNX-Anleitung** *GF-Labor.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung in ETS 5.
- **KNX-Bibliothek von Busch Jäger** *Ap_solo_RTR_6124_01_6128_01_v1.vd5*
Die benötigte Bibliothek für den Raumcontroller von Busch Jäger.
- **KNX-Bibliothek von Lumento** *Lumento_X3_RGB_1.3_EIFARStP_CERT.knxprod*
Die benötigte Bibliothek für den KNX-Dimmer von Lumento.
- **KNX-Bibliothek von WAGO** *Wago_TP1Klemme_753_646_2_0_318_457_b.vd4*
Die benötigte Bibliothek für die KNX-Klemme von WAGO.
- **CoDeSys V2.3** *CODESYS_2.3.9.47_RELEASE_BUILD_20150615.zip*:
Installationsdatei für die CoDeSys-Entwicklungsumgebung V2.3. Bereitgestellt wird diese Software von WAGO.
- **WAGO-Dali-Konfigurator** *DALI_Configurator_FULL_de.exe*:
Die Konfigurations-Software für das DALI-Netzwerk. Bereitgestellt wird diese Software ebenfalls von WAGO.
- **DALI-Bibliothek** *DALI_647_02.lib*:
Bibliothek um DALI-Kommunikation herzustellen und Betriebsgeräte zu steuern.

- **DALI-Multisensor-Bibliothek** *DALI_647_SensorType2_02.lib*:
Bibliothek um die Daten des Präsenzmelders zu erfassen und verarbeiten zu können.
- **KNX-Bibliothek** *KNX_02.lib*:
Bibliothek um KNX-Kommunikation herzustellen und Kommunikationsobjekte zu senden und zu empfangen.
- **Gebäudeautomation-Bibliothek** *WagoBuilding_01.lib*:
In dieser Bibliothek befinden sich grundlegende Raumautomatisierungsfunktionen.
- **Gebäudeautomation-Bibliothek** *Gebaeude_allgemein.lib*:
In dieser Bibliothek befinden sich grundlegende Raumautomatisierungsfunktionen.
- **Leeres CoDeSys-Projekt** *Leeres_Projekt03.pro*:
Als Vorlage für eigene Programmierung. Hier ist die Labor-Hardware bereits eingebunden und der Raum gezeichnet.
- **Schnellstart Gebäudeeffizienz** *Laboranleitung.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung um erste CoDeSys-Projekte zu erstellen, sowie Informationen zum Einbinden von Bibliotheken und KNX- und DALI-Anbindung.

9.3.3. Aufgabenstellung

Allgemeines

In diesem Versuch sollen der Wago-Knoten sowie der KNX-Bus gekoppelt werden. Dafür müssen zwei Brücken zwischen den Buchsen „KNX“ und „Koppler-Klemme 759-646“ auf der Frontplatte eingesetzt werden.

Die letzte Zahl der IP-Adresse des verwendeten Wago-Controllers finden Sie auf dem Aufkleber auf dem Gerät „WAGO 750-831“. Dort steht z. B. „.11“, der Controller hat also die IP-Adresse 192.168.1.11.

Um den WAGO-Controller per Ethernet-Kabel ansprechen zu können, muss Ihr Rechner im selben Subnetz sein: 192.168.1.x.

Bitte versetzen Sie Ihren Rechner in den Modus „feste IP-Adresse verwenden“ und geben ihm die Adresse Ihres Controllers plus 100. Im Beispiel also die Adresse 192.168.1.111.

Verbinden Sie Ihren Rechner per Ethernet-Kabel mit der SPS.

Verbinden Sie Ihren Rechner per USB-Kabel mit der KNX-Klemme ABB USB / S1.1.

Aufgabe 3.1

Elementare Raumsteuerung

Öffnen die das vorbereitete Projekt *Leeres_Projekt03.pro* und speichern Sie es unter einem anderen Namen auf Ihrer Festplatte.

Öffnen Sie die PLC_VISU (Reiter Visualisierung). Hier finden Sie den Raum, den es zu automatisieren gilt.

Es sollen zwei Betriebsarten implementiert werden:

- Handbetrieb für die manuelle Steuerung von Rollläden und Leuchten. Diese Betriebsart soll automatisch gewählt werden, sobald eine Person im Raum erkannt wurde.
- Automatikbetrieb für die automatische Reaktion auf die Sonneneinstrahlung. Diese Betriebsart soll eine Stunde nach dem Verlassen des Raumes aktiviert werden.

Implementieren Sie folgende Basisfunktionen:

- Licht im Handbetrieb
Über die linke obere Taste am KNX-Raumtemperaturregler sollen alle Leuchten ein- bzw. ausgeschaltet werden. Schalten Sie dabei alle vier LED-Streifen (Weiß) unter dem Laboraufbau ein bzw. aus. Verknüpfen Sie ebenfalls die Objekte der Visualisierung mit den Variablen: diese sollen Rückmeldung über den Zustand der Leuchten geben (weiß = aus, gelb = ein).
- Rollläden im Handbetrieb
Nutzen Sie den Baustein „FbJalousie“ aus der „Gebaeude_allgemein.lib“.
 - Taste rechts oben: Rollladen Nord auf/ab
 - Taste links unten: Rollladen Ost auf/ab
 - Taste rechts unten: Rollladen Süd auf/ab
- Konfigurieren Sie die Balkenanzeigen der Fenster, so dass sie die Stellung der betreffenden Jalousien andeuten. Belegen Sie die digitalen Ausgänge und behalten Sie diese Einstellung für die folgenden Aufgaben bei:
 - Rollladen Nord auf → DO1
 - Rollladen Nord ab → DO2
 - Rollladen Ost auf → DO3
 - Rollladen Ost ab → DO4
 - Rollladen Süd auf → DO5

- Rollläden Süd ab → DO6
- Präsenzmelder
 - Konfigurieren Sie das Objekt des Präsenzmelders (in der Mitte des Raumes) so, dass zu erkennen ist, ob sich eine Person im Raum befindet (rot = keine Person im Raum, grün = eine oder mehrere Personen im Raum).
 - Geben Sie im Textfeld neben der Rückmeldung die aktuelle Helligkeit aus.
 - Tipp: Belegen Sie den Eingang „tOffDelay“ des Bausteins „FbMultiSensorType2“ mit einer Zeit. Die Default-Zeit beträgt 10 Minuten.

Aufgabe 3.2

Erste Energieeffizienzfunktionen

Zeigen Sie im Display des Raumtemperaturfühlers die aktuelle Raumtemperatur an. Senden Sie die Temperatur über den KNX-Bus auch an die WAGO-SPS und zeigen Sie sie in der Visualisierung an (vorbereitetes Objekt „Temperatur Innen“). Senden Sie außerdem das Objekt der eingestellten Solltemperatur an die SPS und zeigen Sie es auf der Visualisierung an (vorbereitetes Objekt „Temperatur Soll“). Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass sich keine Personen im Raum befinden und der Raum automatisch betrieben wird.

Unterscheiden Sie den Tag in vier verschiedenen Phasen.

- 19.00-07.00 Nachtbetrieb
- 07.00-11.00 Sonne Osten,
- 11.00-15.00 Sonne Süden,
- 14.00-19.00 Sonne Westen.

Im Automatikbetrieb ist das Licht ausgeschaltet und die Rollläden fahren automatisch auf und ab. Es werden zwei Betriebsarten unterschieden:

- Raum heizen
 - Vergleich der Temperatur „Innen“ und „Soll“.
 - Vergleich der Temperatur „Innen“ und „Außen“.

- Ist die gemessene Raumtemperatur geringer, als die Solltemperatur, soll der Raum erwärmt werden. Vergleichen Sie die Raumtemperatur mit der Außentemperatur, ist es außen wärmer, können die Rollläden geöffnet werden. Die Rollläden müssen geschlossen werden, wenn es draußen kälter ist, es sei denn, die Sonne scheint in das betroffene Fenster, dann muss der Rollladen geöffnet werden.
- Raum kühlen
 - Vergleich der Temperatur „Innen“ und „Soll“.
 - Vergleich der Temperatur „Innen“ und „Außen“.
 - Ist die gemessene Raumtemperatur höher, als die Solltemperatur, soll der Raum gekühlt werden. Vergleichen Sie die Raumtemperatur mit der Außentemperatur, ist es außen wärmer, müssen die Rollläden geschlossen werden. Die Rollläden können geöffnet werden, wenn es draußen kälter ist, es sei denn, die Sonne scheint in das betroffene Fenster, dann muss der Rollladen geschlossen werden.

Aufgabe 3.3

Erweiterte Raumautomatisierung

Bearbeiten Sie den Handbetrieb. Er soll jetzt auch automatisiert werden. Verwenden Sie den Konstantlichtregler „FbDaliConstantLightControl“ aus der Bibliothek „DALI_647_02.lib“ um die Beleuchtung auf 500 lx einzustellen.

Es sollen grundsätzlich alle Rollläden geöffnet sein. Fällt allerdings Sonne in ein Fenster (vgl. 3.2) muss dieser Rollladen geschlossen werden, um blendfreies Arbeiten zu gewährleisten. Außerdem muss der Benutzer in der Lage sein, andere Rollläden ebenfalls zu öffnen und zu schließen.

9.3.4. Musterlösung

Die Dateien und Projekte befinden sich im digitalen Anhang.

Aufgabe 3.1

Um die Aufgabe 3.1 zu lösen, muss der DALI-Bewegungsmelder konfiguriert und in das Projekt eingebunden werden. Dieser stellt eine Variable zur Verfügung, die Informationen über die Präsenz von Personen im Raum gibt. Um das Licht ein- bzw. auszuschalten, müssen der Raumtemperaturregler und die DALI- bzw. KNX-Leuchten ebenfalls konfiguriert und angesteuert werden. Die Rollladensteuerung kann mithilfe des „FbJalousie“ einfach realisiert werden.

Aufgabe 3.2

Um die Stellung der Rollläden zu bestimmten, ist es hilfreich, ein Karnaugh-Veitch-Diagramm zu erstellen.

Es muss unterschieden werden, ob der Raum gekühlt oder erwärmt werden soll. Daher werden die Raumtemperatur und die Solltemperatur verglichen und in der Variable $xCool$, die im Kühlbetrieb „true“ ist, abgelegt.

Ist die Außentemperatur (ϑ_a) niedriger als die Raumtemperatur (ϑ_i) ist die Variable $xDiffIO$ „true“.

In der Variable $xSun$ wird die Sonneneinstrahlung berücksichtigt. Wenn die Sonne in ein Fenster scheint, ist diese Variable „true“.

Tabelle 9.1.: Karnaugh-Veitch-Diagramm Rollladenautomatik

$$RL_{Auf} = f(xCool, xDiffIO, xSun) :$$

	$\overbrace{\hspace{4cm}}^{xCool}$			
	$\overbrace{\hspace{2cm}}^{xSun}$			
	0	1	5	4
$xDiffIO$	1	1	0	0
	2	3	7	6

Aus Tabelle 9.1 lassen sich folgende Funktionen für das Auf- bzw. Abfahren eines einzelnen Rollladens ableiten, wenn man berücksichtigt, dass eine 1 einen öffnenden Rollladen beschreibt.

$$xRL_{Auf} = (\overline{xCool} \wedge \overline{xDiffIO}) \vee (xSun \wedge \overline{xCool}) \vee (xCool \wedge xDiffIO \wedge \overline{xSun}) \quad (9.4)$$

$$xRL_{Ab} = (xCool \wedge \overline{xDiffIO}) \vee (xSun \wedge xCool) \vee (\overline{xCool} \wedge xDiffIO \wedge \overline{xSun}) \quad (9.5)$$

Mit diesen beiden Gleichungen können die Eingänge des Jalousie-Bausteins belegt werden um den automatischen Betrieb zu realisieren.

Aufgabe 3.3

Zur Lösung dieser Aufgabe kann der Konstantlichtregler aus der DALI-Bibliothek genutzt werden. Der Regler muss mit Hilfe des Konfigurationseingangs parametrisiert werden, damit er die Helligkeit auf die gewünschten 500lx regelt.

Die Rollladensteuerung erfolgt über die Auswertung der Tageszeit. In späteren Versuchen ist es sinnvoll, auch die Sonneneinstrahlung der Wetterstation zu berücksichtigen um den Rollladen nur bei wirklicher Sonneneinstrahlung zu verstellen.

9.3.5. Probleme und Lösungen

Umfang der Aufgabenstellung

Es war keiner Gruppe möglich, alle Aufgaben zu lösen. Gründe sind unter anderem:

- **Programmier-Computer:** Die Rechner der Teilnehmer waren nicht auf die Aufgaben abgestimmt. Teilweise gab es Probleme mit USB-Schnittstellen.
- **Verbindungsaufbau:** Die Versuchsgruppen haben die Raumstationen untereinander vertauscht, dadurch mussten KNX-Teilnehmer neu adressiert werden.
- **Aufgabenstellung zu umfangreich:** Die Aufgaben waren für unerfahrene Anwender in vorgegebener Zeit nicht zu lösen. Auch nach fünf Terminen konnten nicht alle Gruppen die Aufgabenstellung vollständig lösen.

Lösungsansatz

Für die voranstehenden Probleme kommen folgende Lösungen in Betracht:

- **Programmier-Computer:** In Zukunft müssen den Studierenden Laborrechner zur Verfügung stehen. Auf diesen Rechnern muss die Entwicklungsumgebung fehlerfrei und stabil laufen.

- **Verbindungsaufbau:** Wie in anderen Laborversuchen, werden den Studierenden feste Arbeitsplätze zugewiesen, an denen sie an allen Terminen arbeiten.
- **Aufgabenstellung zu umfangreich:** Die Aufgabenstellungen der Labore sollte angepasst werden. Um Konzepte der Gebäudeautomatisierung kann auf Aufgaben wie das Lauflicht verzichtet werden.

9.4. Laboraufgabe 4: Wetterstation

9.4.1. Zielsetzung

In dieser Aufgabe sollen Teilnehmer lernen, Daten der Wetterstation auf die Steuerung zu übertragen und die zu verwenden.

Mit Hilfe der Wetterstation soll eine Jalousiesteuerung realisiert werden. Die Daten werden durch Netzwerkvariablen übertragen.

Auf der Wetterstation sind drei Fassadengruppen und drei Kanäle für Zeitschaltprogramme implementiert.

9.4.2. Benötigte Hilfsmittel

Für dieses Praktikum werden folgende Software und Hilfsmittel benötigt:

- **CoDeSys V2.3** *CODESYS_2.3.9.47_RELEASE_BUILD_20150615.zip*:
Installationsdatei für die CoDeSys-Entwicklungsumgebung V2.3. Bereitgestellt wird diese Software von WAGO.
- **Gebäudeautomation-Bibliothek** *Gebaeude_allgemein.lib*:
In dieser Bibliothek befinden sich grundlegende Raumautomatisierungsfunktionen.
- **Schnellstart Gebäudeeffizienz** *Laboranleitung.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung um erste CoDeSys-Projekte zu erstellen, sowie Informationen zum Einbinden von Bibliotheken und KNX- und DALI-Anbindung.

9.4.3. Aufgabenstellung

Allgemein

Erstellen Sie ein neues Projekt, wie es in der Laboranleitung beschrieben ist und binden Sie anschließend die erforderlichen Bibliotheken ein.

Funktionsüberwachung der Wetterstation

Die Wetterstation verfügt über eine Variable, mit der der Status der Station überwacht werden kann. Die Variable *xHeartbeat* wechselt alle 10 Sekunden ihren Zustand. Ändert sich der Zustand nicht, liegt ein Fehler vor.

Werten Sie das Signal aus und schalten Sie die erste LED (DO1) ein, sollte ein Fehler vorliegen.

Auswertung der Zeitschaltsignale

Decodieren Sie die Zeitschaltkanäle 1-3 der Wetterstation. Dazu steht Ihnen der Baustein *FbDecodeFlexTime* zur Verfügung.

Die LED's (DO2-DO4) sollen als Lampen genutzt werden. Schalten Sie die Digitalausgänge in Abhängigkeit der Zeitschaltprogramme.

Auswertung der Fassadensignale

Werten Sie die Fassaden- und Windgruppen 1 bis 3 gemeinsam aus. Nutzen Sie dazu den Funktionsbaustein *FbDecodeSunblind*.

Legen Sie ebenfalls drei Funktionsbausteine zur Steuerung von Jalousien (*FbSunblind_2*) an den drei Fassaden an.

Die Jalousien der Fassaden sollen manuell über je einen Schalter (DI1-DI6) oder automatisch über die Zeitschaltprogramme auf- und abgefahren werden.

Die Sicherheitsposition muss bei Brand-, Wind- oder Frostalarm angefahren werden. Ist die Wetterstation ausgefallen, muss ebenfalls die Sicherheitsposition angefahren werden. Dazu kann die Laufzeitüberwachung aus dem vorangehenden Aufgabenteil verwendet werden.

Die Wetterstation stellt Fassaden einen Ausgang zum Anfahren einer Sperrposition zur Verfügung. Sorgen Sie dafür, dass die Jalousien die definierten Sperrpositionen anfahren. Gleiches gilt auch für die Beschattungsposition.

Programmieren Sie die Ausgänge (DO5-DO7), um Rückmeldung über die Ausführung von Fahrbefehlen zu geben. Steht die Jalousie still, bleibt die LED aus, wird sie heraufgefahren soll die LED mit einer Frequenz von 1 Hz blinken. Wird die Jalousie geschlossen, Leuchtet die LED durchgehend.

9.4.4. Musterlösung

Die Musterlösung befindet sich im digitalen Anhang.

Zur Laufzeitüberwachung werden zwei Einschaltverzögerungsbausteine verwendet. Ändert sich der Zustand des Signals nicht innerhalb von 10 Sekunden, wird eine Fehlervariable gesetzt.

Die Decoder für die Zeitkanäle setzen ein *Reset-Set-Flip-Flop*. Sie schalten Variablen, die mit entsprechenden Ausgängen verknüpft sind, um Leuchten anzusteuern.

Die Signale der Fassadengruppen werden decodiert und weiterverarbeitet. Die Signale der Alarme, die die Wetterstation übergibt, werden zusammen mit der Alarmvariable verknüpft und fahren die Jalousie in die Sicherheitsposition. Die Variablen für Sicherheits- und Beschattungsposition werden ebenfalls auf den Jalousiebaustein gegeben und führen entsprechende Fahrbefehle aus.

Die Jalousien werden durch je zwei Eingänge auf- und abgefahren.

Durch einen *TON*- und einen *TOF*- Baustein wird das blinken aus der Aufgabenstellung realisiert.

9.5. Laboraufgabe 5: BACnet

9.5.1. Zielsetzung

In dieser Aufgabenstellung geht es darum, das gesamte Automationssystem in Betrieb zu nehmen. Teilnehmer lernen dabei, Bussysteme und Protokolle aus der Gebäudeautomation zu nutzen.

9.5.2. Benötigte Hilfsmittel

Für diese Aufgabenstellung werden folgende Software und Hilfsmittel benötigt:

- **Engineering Tool Software Version 5** *Ets5Setup.exe*:
Installationsdatei für die KNX-Engineering-Software ETS 5.
Dies ist die Entwicklungsumgebung zur Inbetriebnahme von KNX-Komponenten.
- **KNX Powertool** *ap_PT_1_2_68_BJE.zip*
Zusatzsoftware zur Parametrisierung des Raumtemperaturreglers.
- **ETS5-KNX-Anleitung** *GF-Labor.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung in ETS 5.
- **KNX-Bibliothek von Busch Jäger** *Ap_solo_RTR_6124_01_6128_01_v1.vd5*
Die benötigte Bibliothek für den Raumcontroller von Busch Jäger.
- **KNX-Bibliothek von WAGO** *Wago_TP1Klemme_753_646_2_0_318_457_b.vd4*
Die benötigte Bibliothek für die KNX-Klemme von WAGO.
- **CoDeSys V2.3** *CODESYS_2.3.9.47_RELEASE_BUILD_20150615.zip*:
Installationsdatei für die CoDeSys-Entwicklungsumgebung V2.3. Bereitgestellt wird diese Software von WAGO.
- **KNX-Bibliothek** *KNX_02.lib*:
Bibliothek um KNX-Kommunikation herzustellen und Kommunikationsobjekte zu senden und zu empfangen.
- **BACnet-Bibliothek** *BACnet_01_easy.lib*:
Diese Bibliothek enthält BACnet-Datentypen um sie im Netzwerk zu verwenden.
- **Gebäudeautomation-Bibliothek** *WagoBuilding_01.lib*:
In dieser Bibliothek befinden sich grundlegende Raumautomatisierungsfunktionen.

- **Gebäudeautomation-Bibliothek** *Gebaeude_allgemein.lib*:
In dieser Bibliothek befinden sich grundlegende Raumautomatisierungsfunktionen.
- **Wago-BACnet-Konfigurator** *Laboranleitung.pdf*:
Installationsdatei für den Wago-BACnet-Konfigurator.
- **Schnellstart Gebäudeeffizienz** *Laboranleitung.pdf*:
Schritt für Schritt Anleitung um erste CoDeSys-Projekte zu erstellen, sowie Informationen zum Einbinden von Bibliotheken und KNX- und DALI-Anbindung.

9.5.3. Aufgabenstellung

Allgemeines

Für diese Aufgabenstellung soll der Raumtemperaturregler der Raumstation die Raumtemperatur erfassen und an die Heizungs- und Lüftungsstation übertragen. Die gemessene Außentemperatur der Wetterstation wird über den Modbus an die Raumstation übergeben und ebenfalls zur Heizungs- und Lüftungsstation übertragen.

Kommunikationsobjekte der Wago-TP1-Klemme erstellen

Konfigurieren Sie die KNX-Kommunikation. Es werden vier Kommunikationsobjekte benötigt. Zwei davon werden benötigt, um Raumsoll- und Raumisttemperatur zu übertragen. Um Ein- und Ausschaltbefehle zu übertragen werden zwei Schaltobjekte benötigt.

KNX-System konfigurieren

Binden Sie den Raumtemperaturregler und die Wago-TP1-Klemme in ein ETS-Projekt ein.

Der Raumtemperaturregler soll die Raumtemperatur erfassen, auf dem Display darstellen und an die SPS senden. Die Solltemperatur soll durch den RTR eingestellt werden und ebenfalls an die Steuerung übertragen werden.

Die Heizungsstation wird über die obere Wippe des Raumtemperaturreglers gestartet und gestoppt. Die untere Wippe funktioniert analog und schaltet die Lüftungsstation.

Wetterdaten übertragen

Nutzen Sie den Modbus-Master der Steuerung um Wetterdaten aus den Modbus-Registern der Raumstation zu übertragen. Die Auflistung der Modbus-Register befinden sich im Handbuch der flexROOM-Weather-Applikation. Unter *Ressourcen* → *Steuerungskonfiguration* ist der Modbus-Master zu finden.

Zur Laufzeitüberwachung wird die Heartbeat-Variable benötigt. Übertragen Sie außerdem die Außentemperatur auf die Steuerung.

BACnet

Um Variablen über das Netzwerk zu versenden soll das BACnet-Protokoll verwendet werden.

Legen Sie BACnet-Variablen an und verknüpfen Sie diese mit Hilfe des BACnet-Konfigurators.

Die BACnet-Bibliothek *BACnet_01_easy.lib* stellt die Datentypen *BACNET_BINARY_VALUE* und *BACNET_ANALOG_VALUE* bereit. Diese Datentypen sind Strukturen, die einen Eintrag *Presen_Value* enthalten.

Die Heizungs- und Lüftungsstationen stellen entsprechende Variablen bereit.

9.5.4. Musterlösung

Die Projekte und Dateien der Lösung befinden sich im digitalen Anhang.

Modbus-Kommunikation

Die Modbus-Kommunikation wird über CoDeSys parametrisiert. Unter *Ressourcen* → *Steuerungskonfiguration* ist der Modbus-Master zu finden. Über die Netzwerkansicht wird eine neue Ethernet-Schnittstelle hinzugefügt. Nachdem ein Modbus-Slave angelegt wurde, können generische Variablen hinzugefügt werden. Nachdem Variablen angelegt und die Konfiguration gespeichert wurde, wird der Code generiert. Dadurch erstellt der Modbus-Master-Konfigurator einen Programmbaustein. Im *PLC_PRG* aufgerufen, erhält er die Daten der Wetterstation.

BACnet-Kommunikation

Sind alle Temperaturen und Schaltsignale auf der Steuerung vorhanden, werden Sie in BACnet-Variablen geschrieben und dem Netzwerk zur Verfügung gestellt. Nach dem Kompilieren stehen die Variablen dem BACnet-Netzwerk zur Verfügung und werden durch den BACnet-Konfigurator aufeinander gemappt.

10. Simulation eines Heiz- und Lüftungssystems

10.1. Übersicht

Dem Labor für Automatisierungstechnik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften stehen sechs Raumautomatisierungs-, eine Lüftungs- und eine Heizungsstation zur Verfügung. Die Raumstationen sind frei programmierbar. Auf den beiden Stationen werden Anlagenmakros ausgeführt, die in der Lage sind, reale Heizungs- und Lüftungsanlagen zu steuern und zu regeln.

Die benötigte Hardware um Heizungs- oder Lüftungsanlagen zu betreiben steht dem Labor nicht zur Verfügung. Durch Potentiometer und Schalter können Zustände an das Makro auf dem Controller übergeben werden, die Software verarbeitet die Eingänge und stellt die Ausgänge entsprechend. Auf diese Art können Zustände statisch abgebildet werden.

Bei einem idealen Warmwasser-Heizsystem, ohne Druck- und Wärmeverluste, wird die Wärmeabgabe des Systems an einen Raum durch die Vorlauftemperatur und den Durchfluss des Mediums durch den Heizkörper bestimmt. Die Vorlauftemperatur kann Heizsystemen in der Regel vorgegeben oder durch die Außentemperatur berechnet werden. Der Durchfluss ergibt sich durch das System, also Pumpenleistungen, Rohrleitungen und Ventilstellungen.

Die Rücklauftemperatur folgt aus der Energiebilanz. Die Wärmeenergie des Rücklaufmediums entspricht der Differenz zwischen Wärmeenergie des Vorlaufmediums und abgegebener Wärmeenergie. Heizt sich ein Raum über Zeit auf, verringert sich durch die gesunkene Temperaturdifferenz auch die abgegebene Wärmeenergie. Dadurch steigt die Rücklauftemperatur über die Zeit an. Ist die Raumtemperatur erreicht, schließen Heizkörperventile und es fließt kein Medium durch das System.

Werden Heiz- und Lüftungssysteme genauer betrachtet, ergeben sich viele weitere Dynamiken, die nicht berücksichtigt werden, wenn Zustände durch Menschen an der Frontplatte eingestellt werden.

10.2. Ziel

Um das Labor in der Zukunft weiterzuentwickeln, bietet es sich an, reale Lüftungs- und Heizungsanlagen in Simulationen nachzubilden. Abbildung 10.1 zeigt das angedachte Konzept. Die Heizungs- und Lüftungsstationen wurden dafür bereits ausgelegt. Alle Ein- und Ausgänge sind auf Stecksysteme geführt und können über Leitungen mit anderen Steuerungen verbunden werden. Wie in der Abbildung ebenfalls zu erkennen, ist es möglich die Raumautomatisierungsstationen zu verwenden um reale Anlagen zu simulieren.

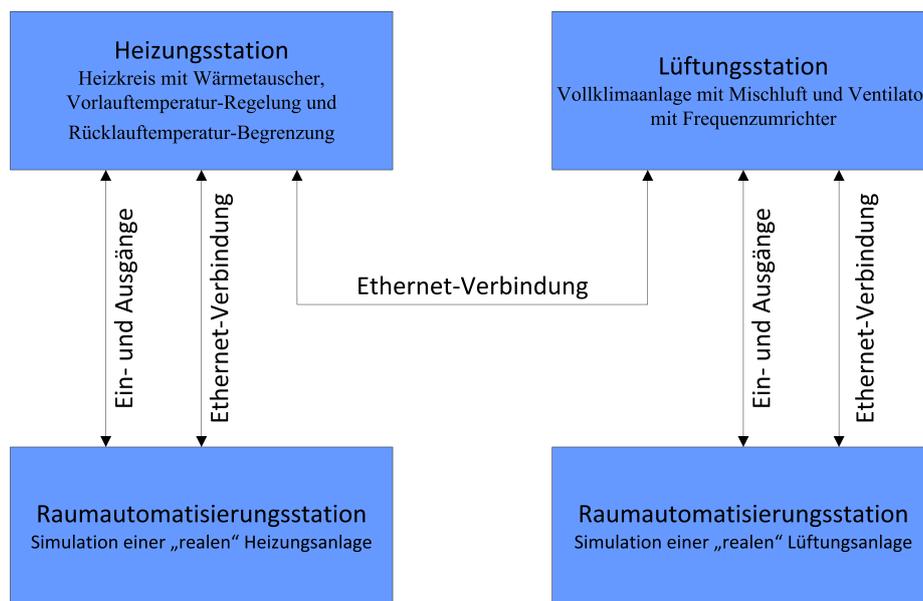


Abbildung 10.1.: Konzept der Anlagensimulation

Während der Entwicklung der Simulationsstationen müssen Studierende sich mit der Steuerung von konventionellen Heizkreisen und Lüftungsanlagen auseinandersetzen. In der Veranstaltung „Thermische Energietechnische Systeme“ sollen Studierende erlernen, thermo- und fluiddynamische Beziehungen anzuwenden, um Anlagen zu planen, zu berechnen und zu konstruieren. Das Wissen, was in der Vorlesung vermittelt wird kann dazu genutzt werden, um die Anlagen in Simulationen nachzubilden.

Nachdem Simulationen zur Verfügung stehen, ergeben sich weitere Aufgabenstellungen für andere Veranstaltungen. Mit dieser Laborausstattung können Projekte umgesetzt werden um methodische und soziale Kompetenzen der Teamarbeit zu vermitteln. Es sind Aufgabenstellungen denkbar, in denen Studierende ein Gebäude mit vier Raumstationen, den Heizungs- und Lüftungsstationen sowie den Simulationsstationen automatisieren. Dazu kann das Gebäude, wie in der Praxis üblich, in Teilbereiche unterteilt werden. Unter Berücksichtigung

gängiger Methoden der Gebäudeautomation hinsichtlich Energieeffizienz können Teilprojekte automatisiert und zusammengesetzt werden. Dabei müssen Teilnehmer Schnittstellen definieren und Variablen über Netzwerkprotokolle, wie BACnet, austauschen und anderen Controllern zur Verfügung stellen.

Um vorhandene Raumautomatisierungsstationen für die Simulation nutzen zu können, müssen sie um weitere Ein- und Ausgänge ergänzt werden um sie mit den Technikstationen zu verbinden.

Tabelle 10.1.: Übersicht: Ein- und Ausgänge der Stationen

	Raumstation	Heizungsstation	Lüftungsstation
Digitale Eingänge 24 V	8	8	32
Digitale Ausgänge 24 V	8	2	10
Analoge Eingänge 0 - 10 V	-	-	8
Analoge Eingänge Pt1000	-	4	8
Analoge Eingänge Diff.	2	-	-
Analoge Ausgänge 0 - 10 V	2	2	8

In der Tabelle 10.1 sind die Ein- und Ausgänge der Stationen dargestellt. Eingänge der Heizungs- und Lüftungsstation werden durch Ausgänge der Raumstationen angesteuert. Ausgänge der Stationen werden über Eingangsbusklemmen in die Raumstationen geführt. Auf diese Weise stehen der Simulationstation alle benötigten Zustände zur Verfügung.

Tabelle 10.2.: Übersicht: Benötigte Ein- und Ausgänge

	Raumstation Heizung	Raumstation Lüftung
Digitale Eingänge 24 V	0	2
Digitale Ausgänge 24 V	0	26
Analoge Eingänge 0 - 10 V	2	8
Analoge Ausgänge 0 - 10 V	0	6
Digitale Ausgänge 24 V (Pt1000) ¹	4	8

Tabelle 10.2 zeigt die Ein- und Ausgänge um die die Raumstationen erweitert werden müssen. Die analogen Eingänge, des Wago 750-463 Temperaturwiderstandsmessensors können jedoch nicht durch Analogausgangsklemmen versorgt werden.

¹vgl. Kapitel 10.3

10.3. Ansatz zu Simulation eines Temperaturwiderstandes

Die Analogeingangsklemme für Widerstandssensoren misst keine Spannungen, sondern Ströme. Temperaturwiderstände werden durch Zweileitertechnik angeschlossen. Durch das Potentiometer wird ein Widerstand eingestellt, der den Strom beeinflusst. Um die temperaturabhängigen Widerstände zu simulieren, muss die Steuerung auf der die Simulation ausgeführt wird einen Widerstand ansteuern und einstellen können.

Ein Ansatz das zu realisieren, ist ein Netzwerk aus Widerständen, Thyristoren und Logikgattern die von einer Digitalausgangsklemme angesteuert werden.

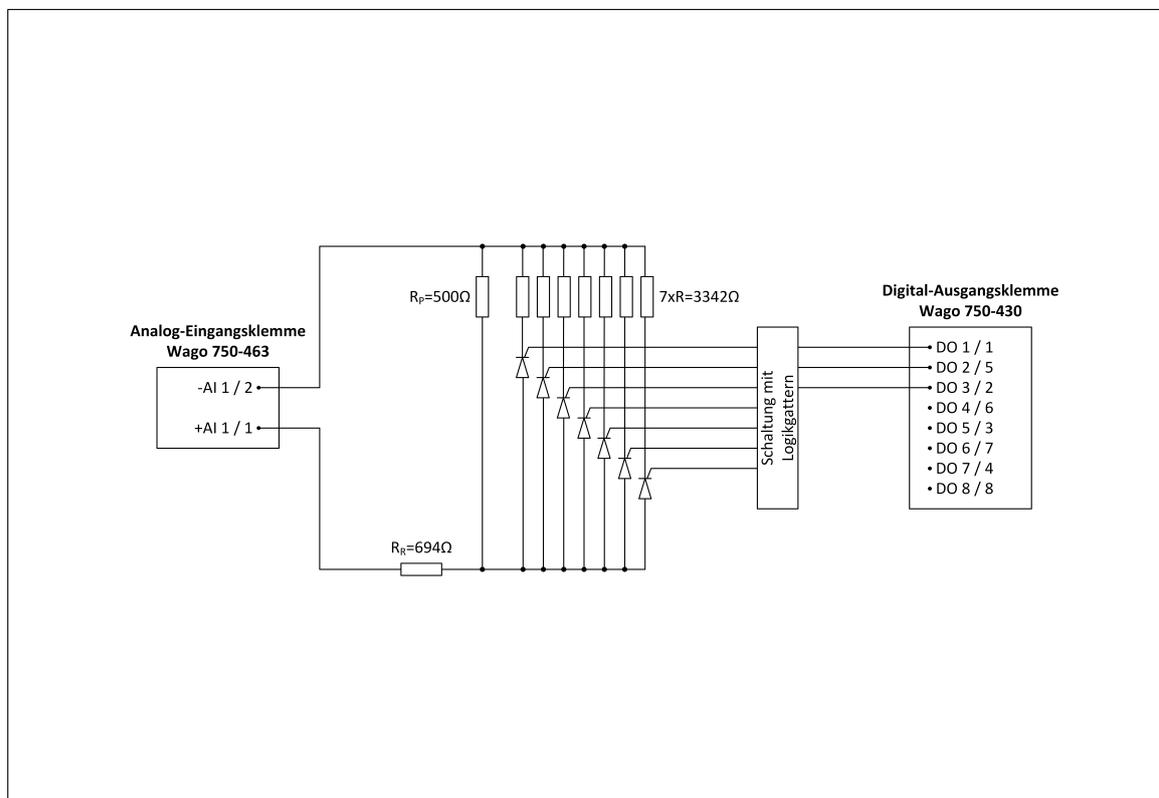


Abbildung 10.2.: Schaltbild Temperaturwiderstand

Abbildung 10.2 zeigt diesen Ansatz. Durch die Thyristoren können Widerstände parallel geschaltet werden. Je mehr Widerstände hinzugeschaltet werden, je geringer ist die gemessene Temperatur.

Aus dem Datenblatt der Analogeingangsklemme kann die Temperatur/Widerstandskennlinie entnommen werden. Bei $-16,2^{\circ}\text{C}$ hat ein Pt1000 einen Widerstand von $947,25\Omega$, bei $+50^{\circ}\text{C}$ einen Widerstand von $1194,0\Omega$.

Durch die Schaltung (Abb. 10.2) können dann folgende Temperaturen eingestellt werden:

Tabelle 10.3.: Temperaturen für $R_R = 694\Omega$, $R_P = 500\Omega$ und $R = 3342\Omega$

Zustand	Binärwert	Gesamtwiderstand	Temperatur
0	0 0 0	1194,00 Ω	50 $^{\circ}\text{C}$
1	0 0 1	1149,29 Ω	33,7 $^{\circ}\text{C}$
2	0 1 0	1108,42 Ω	20,6 $^{\circ}\text{C}$
3	0 1 1	1070,89 Ω	10,2 $^{\circ}\text{C}$
4	1 0 0	1036,32 Ω	1,7 $^{\circ}\text{C}$
5	1 0 1	1004,38 Ω	-5,3 $^{\circ}\text{C}$
6	1 1 0	974,77 Ω	-11,2 $^{\circ}\text{C}$
7	1 1 1	947,25 Ω	-16,2 $^{\circ}\text{C}$

Tabelle 10.3 zeigt die einstellbaren Temperaturen, die durch die Schaltung (Abb. 10.2) zu erreichen sind. Durch Anpassen der Widerstände können der Temperaturbereich und die Sprungweite weiter beeinflusst werden.

Werden weitere Kanäle der Digitalausgangsklemme verwendet, kann die Schrittweite weiter verringert werden. Es können mit einer Ausgangsklemme bis zu $2^8 = 256$ Zustände realisiert werden. Dadurch erhöht sich jedoch auch der Materialaufwand.

Alternativ besteht die Möglichkeit, Temperaturen über BACnet-Variablen zu übertragen.

Alle vorhandenen Controller unterstützen den Datenaustausch durch das BACnet-Protokoll. Auf der Simulationsstation werden Temperaturen errechnet und stehen digital zur Verfügung. Anstatt sie durch Aus- und Eingangsklemmen analog zu übertragen und dadurch an Genauigkeit einzubüßen ist es möglich, sie mit der BACnet-Schnittstelle zu übermitteln.

Durch BACnet-Variablen können präzise Werte übermittelt werden und die Simulation genauer betrieben werden.

11. Fazit und Ausblick

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung einer Laborumgebung, an der Studierende durch praxisnahe Komponenten Methoden der Gebäudeautomatisierung kennenlernen und erproben können. Schließlich sollten Aufgaben und Lösungen entworfen werden, die Teilnehmer in der Praktikumsveranstaltung der Vorlesung „Gebäudeeffizienz“ bearbeiten. Sie sollen Studierenden Probleme und Lösungsmöglichkeiten der Gebäudeautomation näher bringen.

Als Plattform werden speicherprogrammierbare Steuerungen, die um Ein-, Ausgangs- und Gateway-Klemmen ergänzt sind, genutzt. Die Raumautomatisierungsstationen sind durch ein KNX- und ein DALI-Netzwerk ergänzt. Dadurch werden relevante Betriebsmittel, die in der Praxis eingesetzt werden, eingebunden.

Zu Beginn dieser Arbeit wurden sechs Raumautomatisierungsstationen erstellt und in Betrieb genommen. Durch KNX- und CoDeSys-Projekte wurde die Verdrahtung und die Funktion aller Komponenten überprüft. Vereinzelt Fehlfunktionen konnten dadurch entdeckt und behoben werden.

Nachdem die Heizungs- und Lüftungsstationen fertiggestellt wurden, konnten sie ebenfalls in Betrieb genommen werden. Die vorgefertigten Anlagenmakros wurden auf die Stationen übertragen, gestartet und die Funktion der Hardware überprüft.

Durch die Verdrahtung der Schalter und Potentiometer mit der Wetterstation, die gemeinsam in ein Gehäuse integriert sind, wurde die Wetterstation fertig gestellt. Dadurch können Wetterdaten eingestellt und verarbeitet werden.

Um die Praktika der Veranstaltung „Gebäudeeffizienz“ durchzuführen, wurden Aufgabenstellungen entwickelt, durch die Studierende sukzessiv wichtige Funktionen der Gebäudeautomatisierung kennenlernen und Komponenten einbinden.

Zu Beginn lernen Teilnehmer den KNX-Bus kennen und ihn zu parametrisieren. Durch diesen Laborversuch sind Studierende in der Lage, auch größere KNX-Netzwerke zu entwerfen und zu integrieren.

In dieser Aufgabe lernen Teilnehmer außerdem Einzelraumtemperaturreglungen kennen. Durch Parametrisierung des Raumtemperaturreglers und seine Implementierung in das Projekt lernen Studierende Wärmeenergie bedarfsabhängig anzufordern.

In der zweiten Aufgabe erwerben Studierende Kenntnisse über die Raumautomatisierungsstationen, sowie die Programmierumgebung CoDeSys. Dabei werden Bibliotheken eingebunden und die Bussysteme KNX und DALI in die Steuerung integriert.

Im Fokus steht die Einbindung von Lichtsteuerung in die Raumautomatisierung.

Durch die dritte Aufgabenstellung sollen grundlegende Funktionen der Gebäudeautomatisierung vermittelt werden. Studierende integrieren weitere Komponenten der Bussysteme und lernen Beschattungssteuerungen und Konstantlichtregelungen kennen.

Durch die Einbindung des Präsenz- und Helligkeitssensors werden Teilnehmer mit Funktionen vertraut gemacht, die abhängig von anwesenden Personen ausgeführt werden.

Rückblickend ist bei der Bearbeitung dieser Aufgaben aufgefallen, dass das Arbeitspensum gepaart mit der unbekannteren Entwicklungsumgebung und verschiedenen Programmiercomputern und dadurch auftretenden Verbindungsproblemen dem Zeitrahmen nicht angepasst war. Teilnehmer konnten die Aufgaben nicht im erwarteten Zeitraum lösen.

Darüber hinaus wurde eine Aufgabenstellung entworfen, in der Teilnehmer lernen, Zeitschaltprogramme und Witterungseinflüsse in die Automatisierungstechnik zu integrieren. Am Beispiel sollen Schaltsignale einer Zeitschaltfunktion verarbeitet werden und Jalousien durch die Auswertung der Wetterdaten geschützt werden.

Um die Heizungs- und Lüftungsstation, sowie die Datenübertragung mit Hilfe des BACnet-Protokolls kennenzulernen, wurde eine weitere Aufgabe erstellt. Durch die Bearbeitung dieser Aufgabe, lernen Studierende den Umgang mit Variablen, die netzwerkweit geschrieben und gelesen werden. Dazu müssen Wetterdaten und Temperaturen aus Modbus-Registern gelesen und BACnet-Variablen angelegt und verarbeitet werden.

Das Gebäudeautomationssystem, das Ergebnis dieser Bachelorarbeit ist, unterstützt angehende Ingenieure dabei, die Möglichkeiten der Gebäudeautomatisierung kennenzulernen und weiter zu erforschen.

Durch Schnittstellen der verwendeten Bussysteme und der Datenübertragung durch Ethernet-Verbindungen ist das entstandene Gebäudeautomationssystem unproblematisch erweiterbar. Damit steht der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg ein System zu Verfügung, mit dessen Hilfe Studierende Grundlagen der Automatisierungstechnik, speziell der Gebäudeautomation erlernen können.

Werden alle Komponenten, die aus der Gebäudetechnik stammen, vernachlässigt, bleibt immer noch die SPS eines weiteren Herstellers. Dadurch können herstellereigene Unterschiede an verschiedenen Steuerungen aufgezeigt und vermittelt werden.

Lohnenswerte Aufgaben für zukünftige Bachelorarbeiten sind die Simulationen der Heizungs- und Lüftungsanlagen, um die Funktionen realitätsnah in das System zu implementieren. Eine mögliche Vorgehensweise und Ideen zur Realisierung befinden sich in Kapitel 10.

Die in dieser Bachelorarbeit aufgezeigten Aufgabenstellungen und Ausblicke machen deutlich, dass das Gebäudeautomationssystem umfangreiche Möglichkeiten für verschiedene zukünftige Aufgabenstellungen und Projektarbeiten bietet.

Literaturverzeichnis

- [1] 3S-Smart Software Solutions GmbH. CoDeSys Engineering. Website, 2014. Broschüre Professionelles Engineering von Automatisierungsprojekten nach IEC 61131-3 erhältlich unter <https://de.codesys.com/produkte/codesys-engineering/development-system.html>; Eingesehen am 26.06.2016.
- [2] Bernd Aschendorf. *Energiemanagement durch Gebäudeautomation*. Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-8348-0573-7.
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. *Übereinkommen von Paris*, Dezember 2015.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. *Struktur des Energieverbrauchs*. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten-und-analysen/Energiedaten/energiegewinnung-energieverbrauch.html>. Eingesehen am 30.05.2016.
- [5] Bundesregierung, Presse- und Informationsamt. *Energiekonzept für eine umwelt-schonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*. https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5. Eingesehen am 01.06.2016.
- [6] Franz Wosnitza und Hans Gerd Hilgers. *Energieeffizienz und Energiemanagement*. Springer Spektrum, 2012. ISBN: 978-3-8348-1941-3.
- [7] Hans R. Kranz. *BACnet Gebäudeautomation 1.12*. cci Dialog GmbH, 2013. ISBN: 978-3-922420-25-5.
- [8] Herman Merz, Thomas Hansemann und Christof Hübner. *Gebäudeautomation*. Carl Hanser Verlag, 2010. ISBN: 978-3-446-42152-3.
- [9] Stefan Heinle. *Heimautomation mit KNX, DALI, 1-Wire und Co*. Rheinwerk Computing, 2016. ISBN: 978-3-8362-3461-0.
- [10] Udo Enste und Jochen Müller. *Datenkommunikation in der Prozessindustrie*. Oldenbourg Industrieverlag, 2007. ISBN: 978-3-8356-3116-8.

-
- [11] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. Das ist KNX. <http://www.knx.de/knx-de/bauen-mit-knx/das-ist-knx/index.php>. Eingesehen am 20.05.2016.
- [12] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. *DALI Members*. <http://www.dali-ag.org/about-us/members.html>. Eingesehen am 25.05.2016.
- [13] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. *KNX Community*. <https://www.knx.org/knx-en/community/index.php>. Eingesehen am 20.05.2016.
- [14] ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. *KNX Community*. <https://www.knx.org/lu-de/software/ets/ueber/index.php?navid=704726704726>. Eingesehen am 27.06.2016.

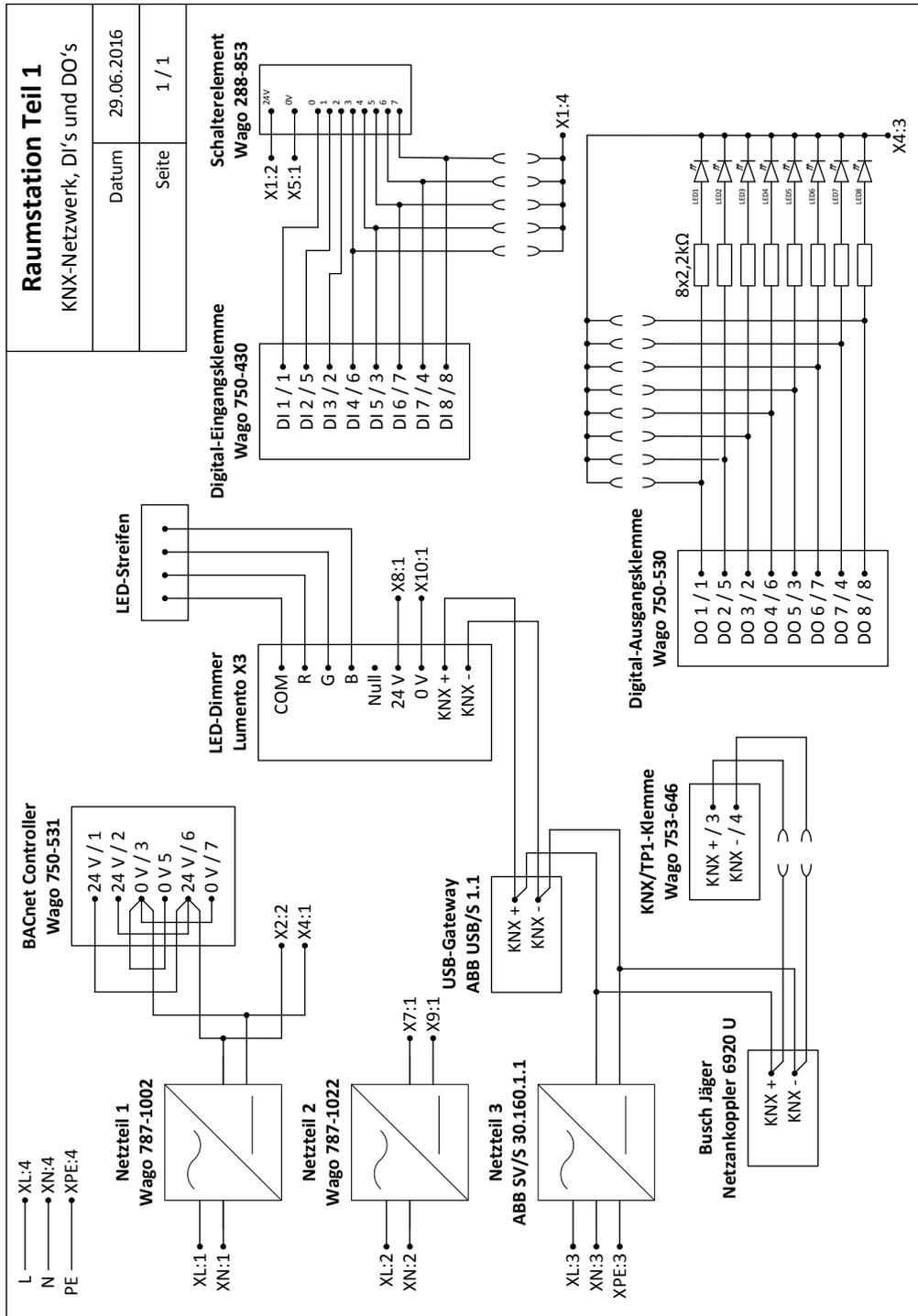
A. Anhang: Raumstation

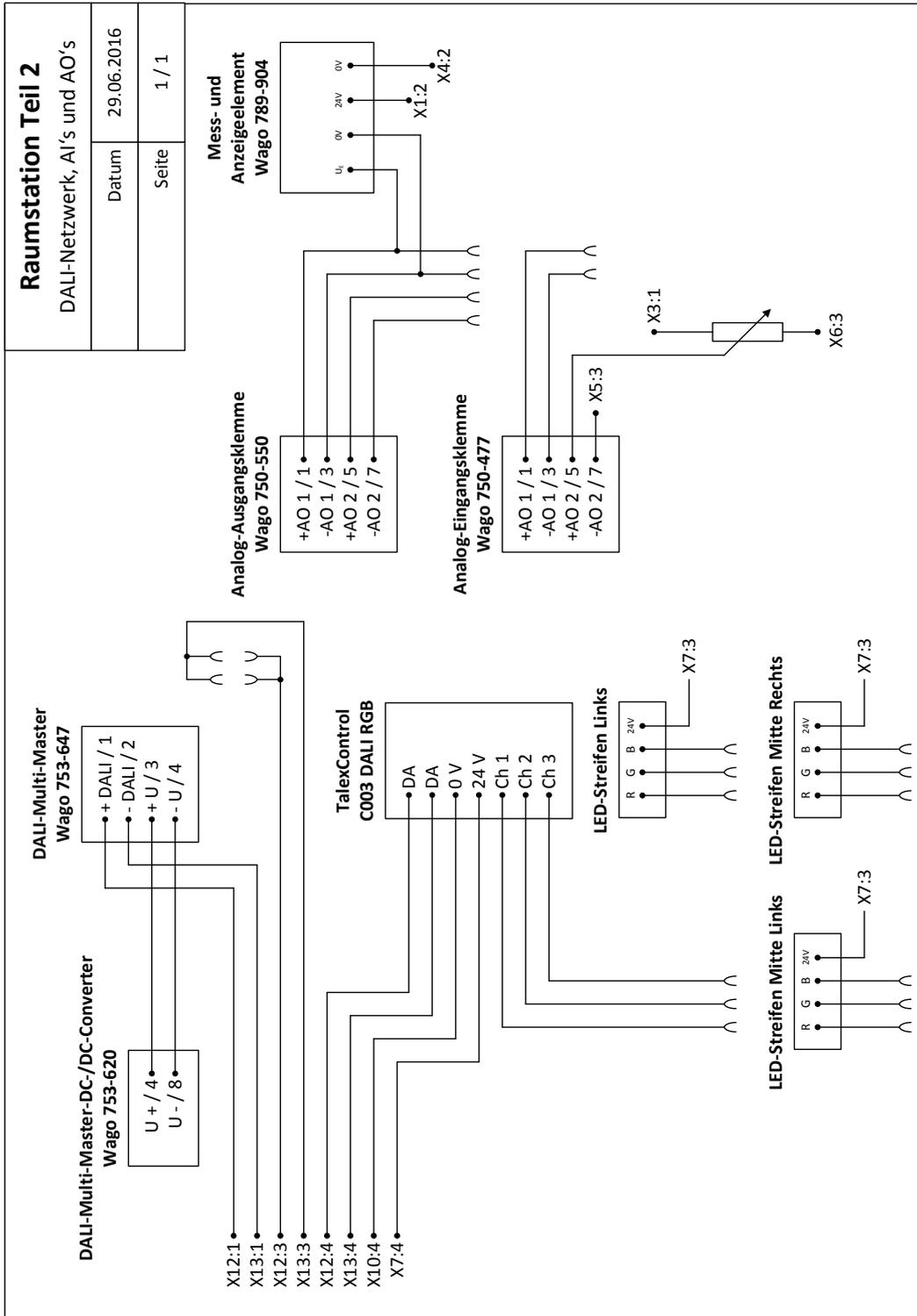
A.1. Tragschienenplan

Tragschienenplan Raumstationen

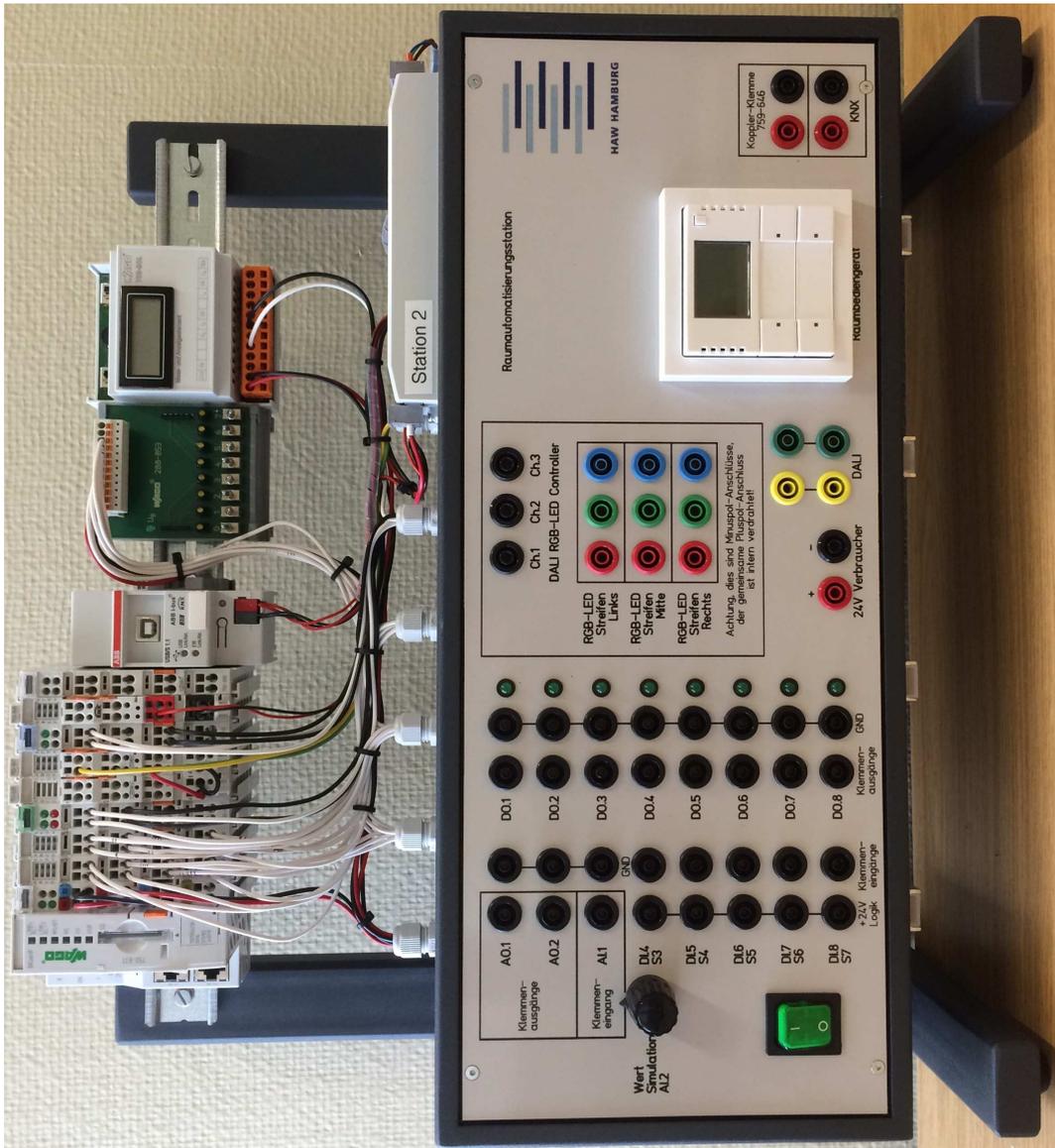
	3		1	Gehäuse
	4	XPE	2	ABB SV/S 30.160.1.1: PE
ABB SV/S 30.160.1.1: L	3		1	Wago 787-1002: L
Netzschalter	4	XL	2	Wago 787-1022: L
ABB SV/S 30.160.1.1: N	3		1	Wago 787-1002: N
Netzschalter	4	XN	2	Wago 787-1022: N
				L XL:1
				N XN:1
		Wago 787-1002	24V	Wago 750-831: 1.1
			24V	X2:2
			0V	Wago 750-831: 2.1
			0V	X4:1
				L XL:2
				N XN:2
		Wago 787-1022	24V	X7:1
			24V	
			0V	X9:1
			0V	
ABB USB/S 1.1	KNX -			L XL:3
BJ Busankoppler	KNX -			N XN:3
	KNX -			PE XPE:2
	KNX -			
ABB USB/S 1.1	KNX +	ABB SV/S		
BJ Busankoppler	KNX +	30.160.1.1		
	KNX +			
	KNX +			
	KNX +			
Vorwiderstand / Potentiometer			1	
Frontplatte 24V Buchsen DI	4	X1	2	Anzeigeeinheit 789-904: 24V
	3		1	Wago 288-853: 24V
	4	X2	2	Wago 787-1002: 24V
Vorwiderstand / Potentiometer	3		1	Potentiometer
	4	X3	2	
Frontplatte 0V Buchsen DO	3		1	Wago 787-1002: 0V
	4	X4	2	Anzeigeeinheit 789-904: 0V
	3		1	Wago 288-853: 0V
Frontplatte 0V Buchsen AI AO	4	X5	2	Wago 750-477: 6
Potentiometer	3		1	Wago 750-477: 2
	4	X6	2	Wago 750-550: 7
LED Streifen Links: 24V	3		1	Wago 787-1022: 24V
TalexControl C003 DALI RGB +U	4	X7	2	
LED Streifen Mitte: 24V	3		1	LED-Dimmer LumentoX3: 24V
Frontplatte Buchsen Verbraucher: 24V	4	X8	2	LED Streifen Rechts: 24V
	3		1	Wago 787-1022: 0V
Frontplatte Buchsen Verbraucher: 0V	4	X9	2	
	3		1	LED-Dimmer LumentoX3: 0V
TalexControl C003 DALI RGB -U	4	X10	2	
	3		1	
	4	X11	2	
Frontplatte Buchsen DALI Gelb	3		1	Wago 753-647: 1
TalexControl C003 DALI RGB DA	4	X12	2	
Frontplatte Buchsen DALI Grün	3		1	Wago 753-647: 2
TalexControl C003 DALI RGB DA	4	X13	2	

A.2. Stromlaufplan





A.3. Foto der Hardware



A.4. Stückliste

Stückliste Raumstation Teil 1

Anzahl	Bezeichnung	Beschreibung
1	Wago 750-831 Wago-I/O-System BACnet/IP-Controller	SPS
1	Wago 750-477 2-Kanal-Analogeingangsklemme	Differenzeingang, 0-10V
1	Wago 750-550 2-Kanal-Analogausgangsklemme	0-10V
1	Wago 750-430 8-Kanal-Digitaleingangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 750-530 8-Kanal-Digitalausgangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 753-646 KNX/EIB/TP1-Klemme	KNX-Gateway
1	Wago 753-647 DALI-Multi-Master-Klemme	DALI-Gateway
1	Wago 753-620 DALI-Multi-Master-DC-/DC- Konverter	Versorgungsklemme
1	Wago 750-600 Endmodul	Um den Klemmbus zu schließen
1	ABB USB/S 1.1	KNX-USB- Schnittstelle
1	Wago 288-853 Schalterelement	
1	Wago 789-904 Mess- und Anzeigeelement	
1	Busch-Jäger 6128-xx Raumtemperaturregler mit 2fach Tastsensor	KNX-Bedienelement
1	Busch-Jäger 6120 U-102 Busankoppler	
1	Zennio LUMENTO X3	KNX-LED-RGB- Kontroller
1	RGB LED-Streifen	LED- Beleuchtung
1	Tridonic C003 DALI RGB	DALI-Dimmer
1	Wago DALI Multi-Sensor	Präsenz- und Helligkeitssensor
3	RGB LED-Streifen	LED- Beleuchtung

Stückliste Raumstation Teil 2

Anzahl	Bezeichnung	Beschreibung
1	Kaltgerätebuchse	Einspeisung 230V
1	Kontroll-Aus-Schalter	Unterbrechung 230V
38	4-mm-Buchse	Schwarz
6	4-mm-Buchse	Rot
5	4-mm-Buchse	Grün
3	4-mm-Buchse	Blau
2	4-mm-Buchse	Gelb
8	Leuchtdiode	2,5V, Grün
8	Widerstand	2,2k Ω
1	Potentiometer	470 Ω
25	4-Kontakt-Reihenklemme	
1	Wago 787-1002 Spannungsversorgung	

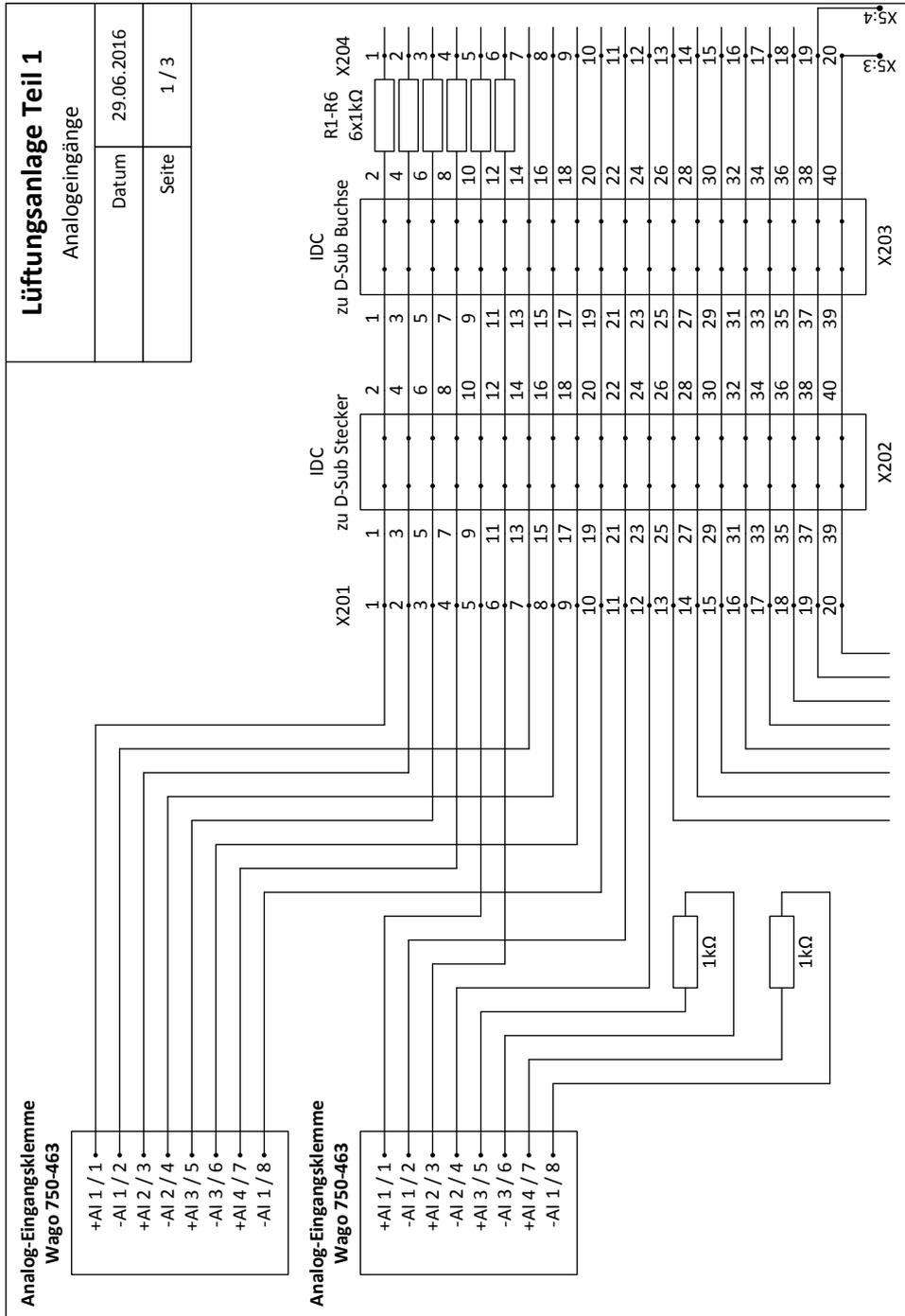
B. Anhang Lüftungsstation

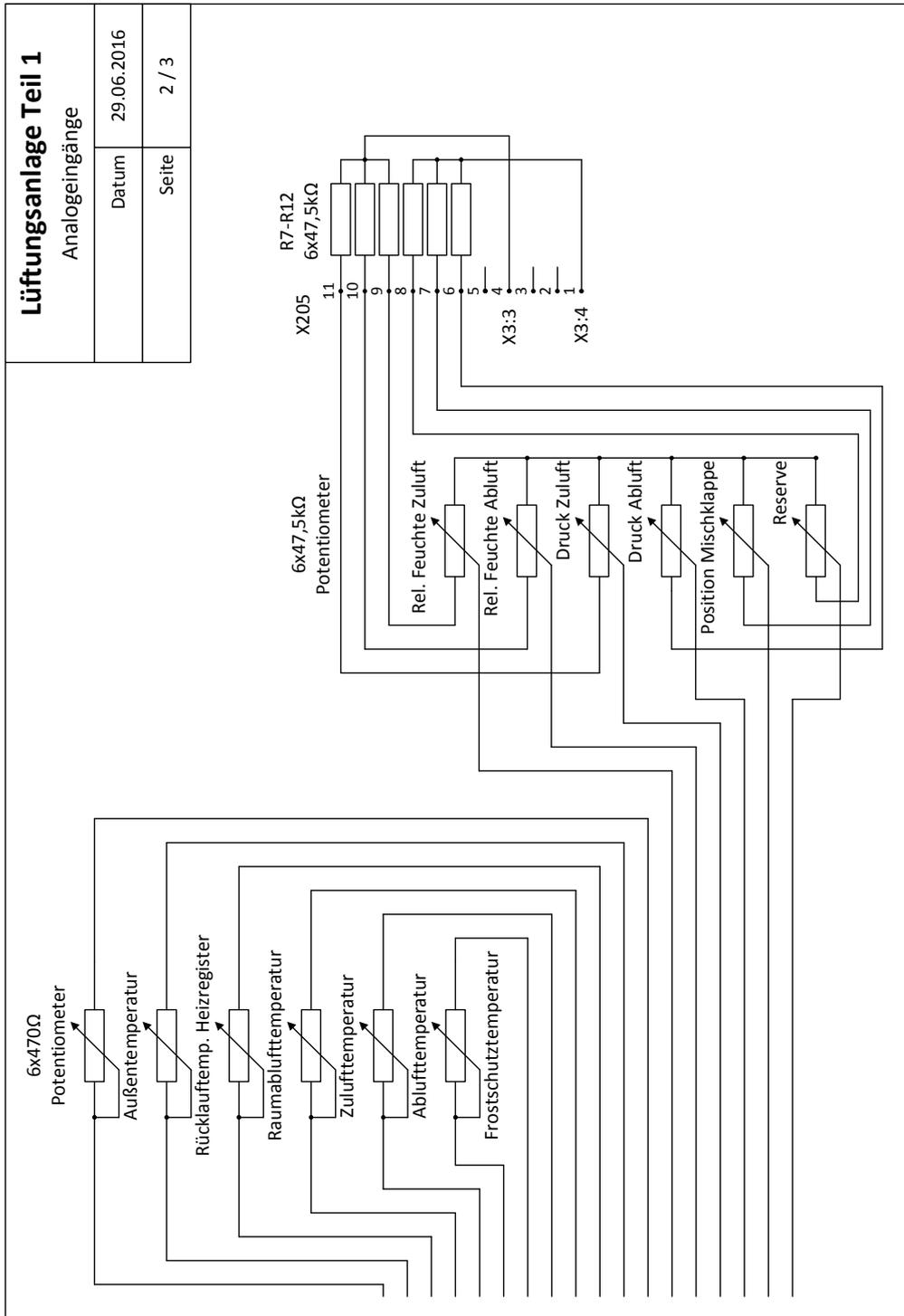
B.1. Tragschienenplan

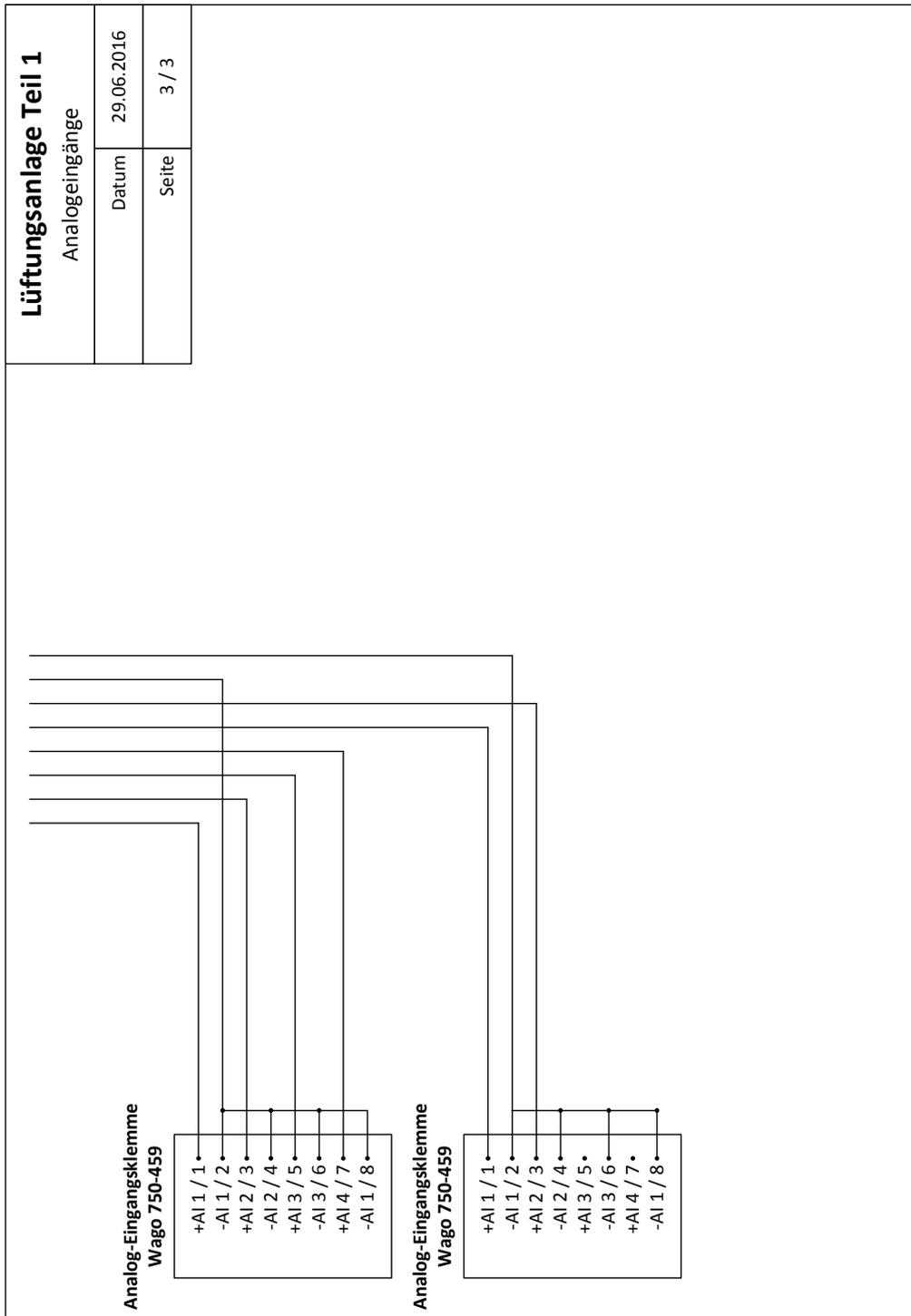
Tragschienenplan Lüftungsstation

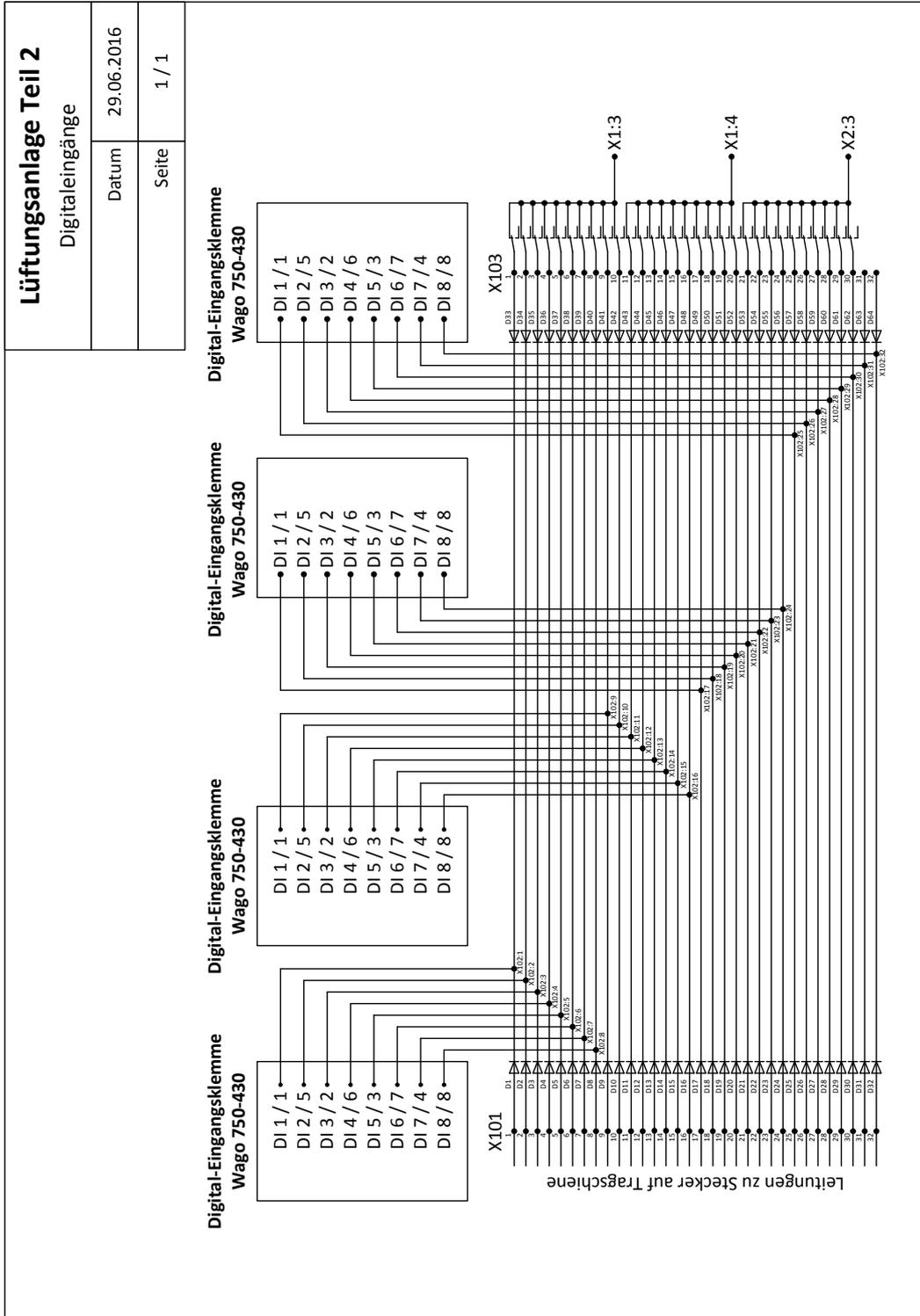
	3	XPE	1	
	4		2	
Netzschalter	3	XL	1	Wago 787-1002: L
	4		2	
Netzschalter	3	XN	1	Wago 787-1002: N
	4		2	
				L XL:1
				N XN:1
				24V Wago 750-831: 1.1
				24V X1:1
				0V Wago 750-831: 2.1
				0V X3:1
Schalter Frontplatte Oben	3	X1	1	Wago 787-1002: 24V
	4		2	
Schalter Frontplatte Mitte	3		1	
	4		2	
Schalter Frontplatte Unten	3	X2	1	
	4		2	
X205:8	3	X3	1	
X205:11	4		2	
	3	X4	1	Wago 787-1002: 0V
	4		2	
X204:19	3	X5	1	
X204:20	4		2	
LED Frontplatte Masse	3	X6	1	
Potentiometer Frontplatte Masse	4		2	

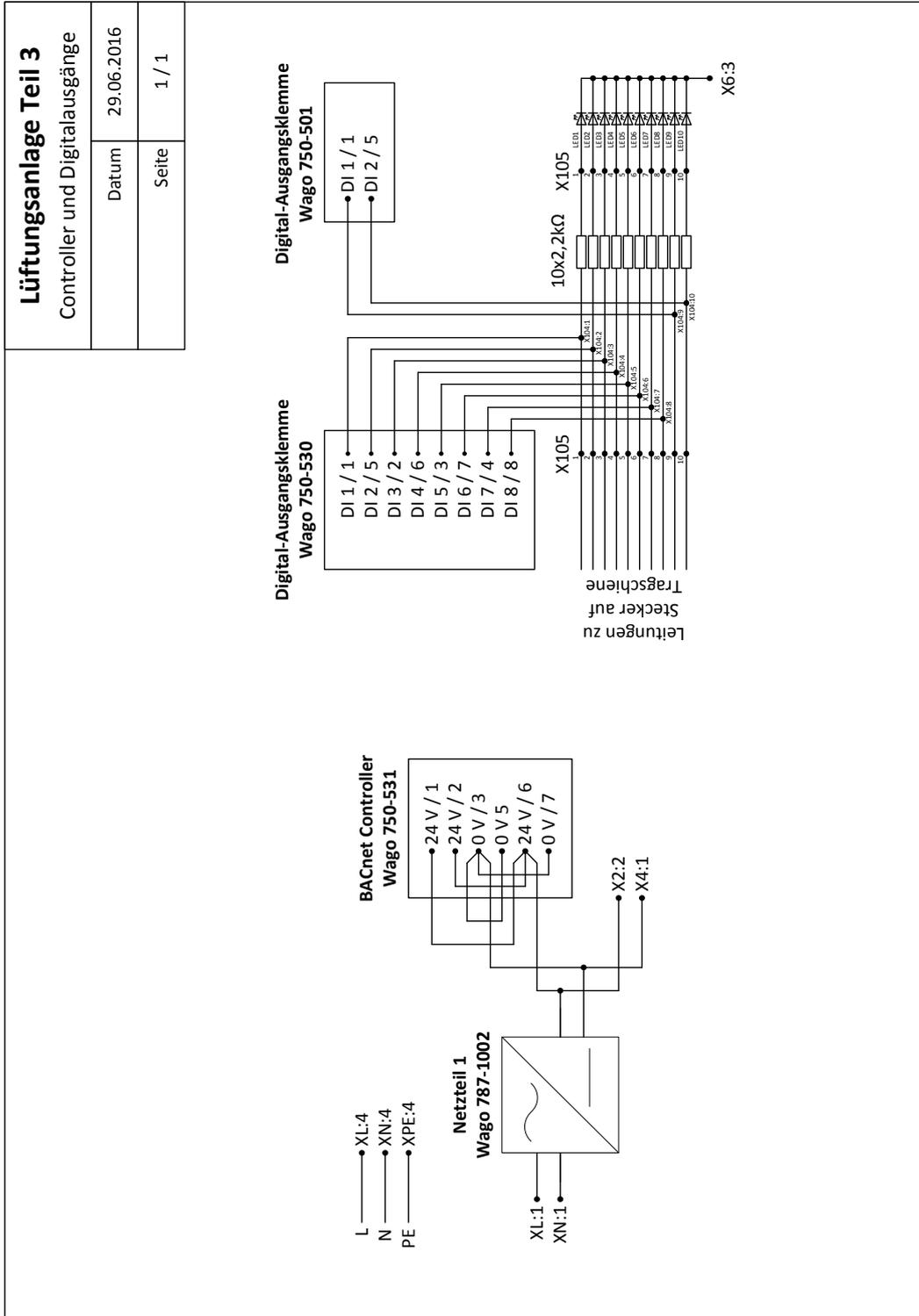
B.2. Stromlaufplan

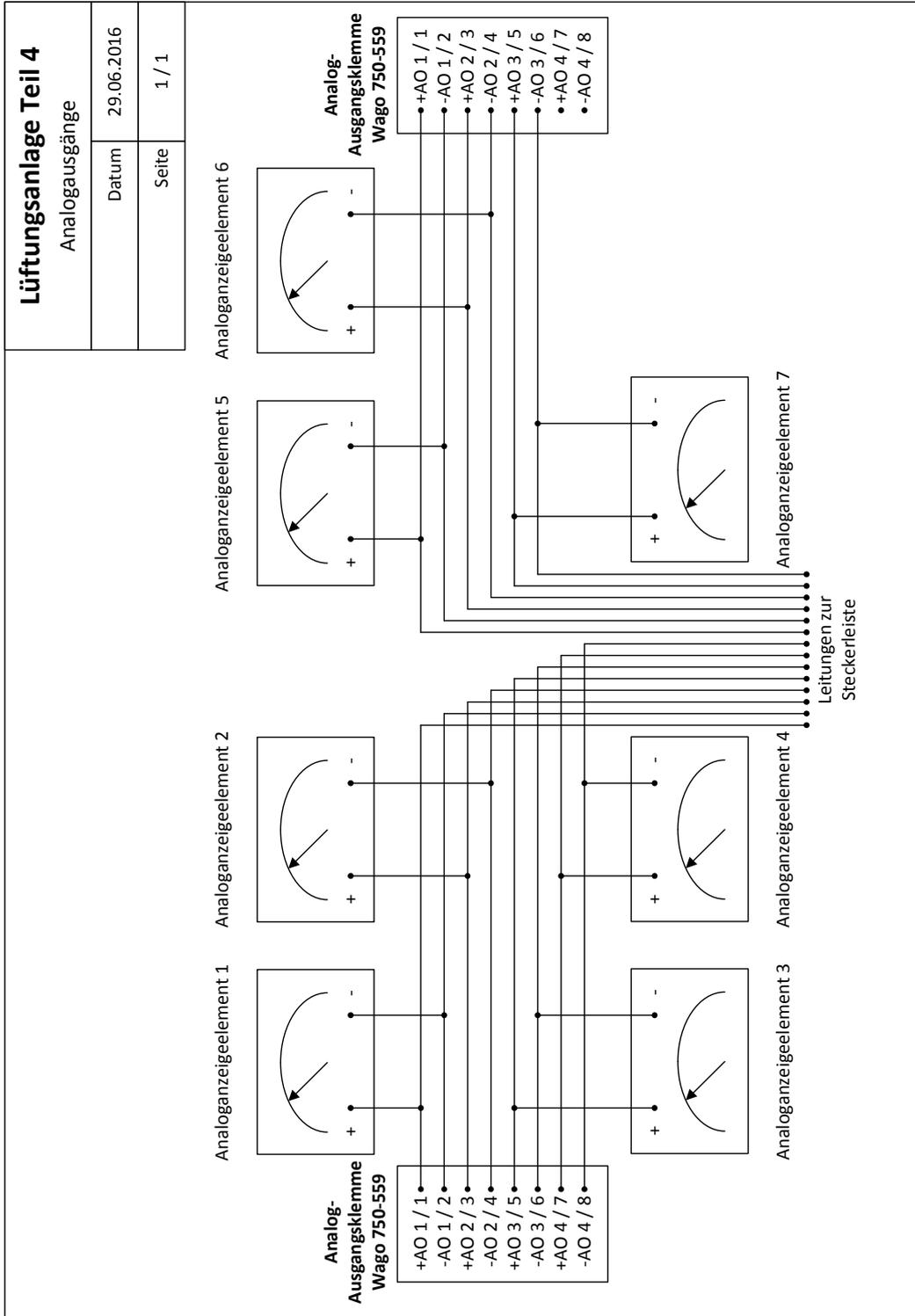




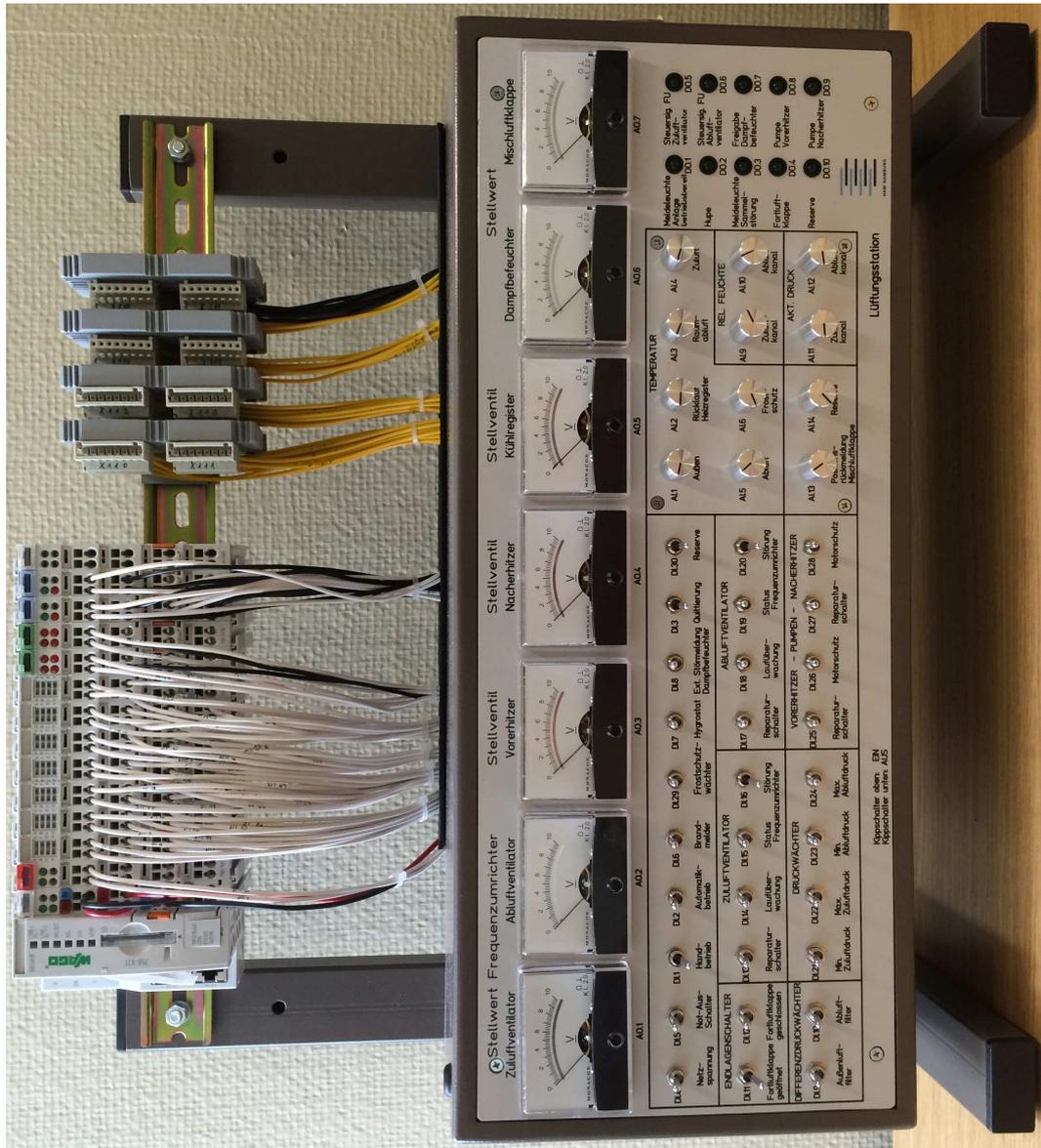








B.3. Foto der Hardware



B.4. Stückliste

Stückliste Lüftungsstation

Anzahl	Bezeichnung	Beschreibung
1	Wago 750-831 Wago-I/O-System BACnet/IP-Controller	SPS
4	Wago 750-430 8-Kanal-Digitaleingangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 750-530 8-Kanal-Digitalausgangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 750-501 2-Kanal-Digitalausgangsklemme	positivschaltend, 24V
2	Wago 750-463 4-Kanal-Analogeingangsklemme	Widerstandssensoren
2	Wago 750-459 4-Kanal-Analogeingangsklemme	0-10V
1	Wago 750-559 4-Kanal-Analogausgangsklemme	0-10V
1	Wago 750-600 Endmodul	Um den Klemmbus zu schließen
7	Spannungsmessgerät	
30	Schalter	
64	Diode	zum Sperren der DI-Signale
6	Potentiometer	470 Ω
6	Widerstand	1k Ω
6	Potentiometer	4,7k Ω
6	Widerstand	4,7k Ω
10	Leuchtdiode	2,5V, Grün
10	Widerstand	3,3k Ω
1	D-Sub-Stecker	25-polig
1	D-Sub-Buchse	25-polig
4	Steckverbindung	8-polig
2	Widerstand	1k Ω
1	Kaltgerätebuchse	Einspeisung 230V
1	Kontroll-Aus-Schalter	Unterbrechung 230V
9	4-Kontakt-Reihenklemme	
1	Wago 787-1002 Spannungsversorgung	

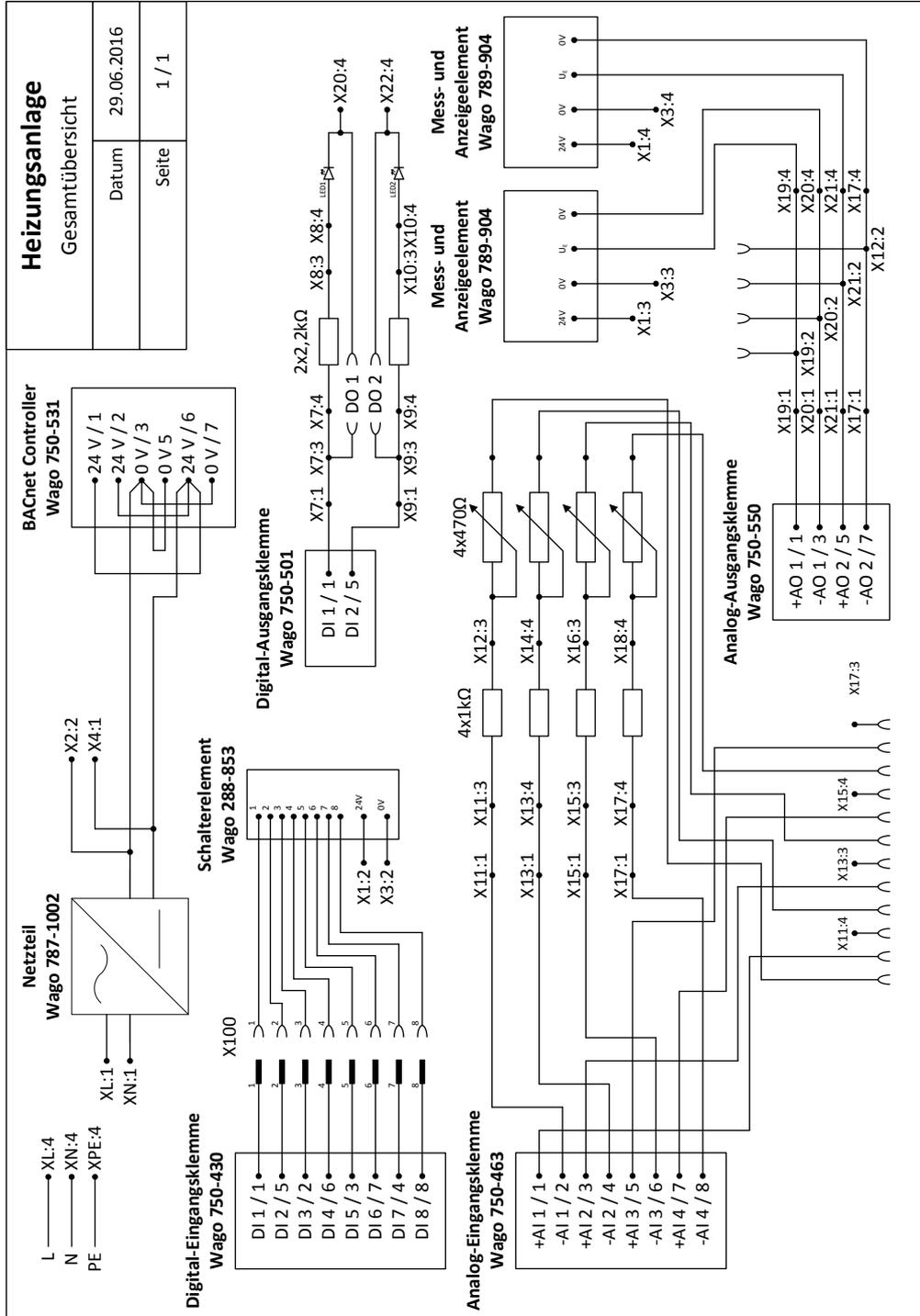
C. Anhang Heizungsstation

C.1. Tragschienenplan

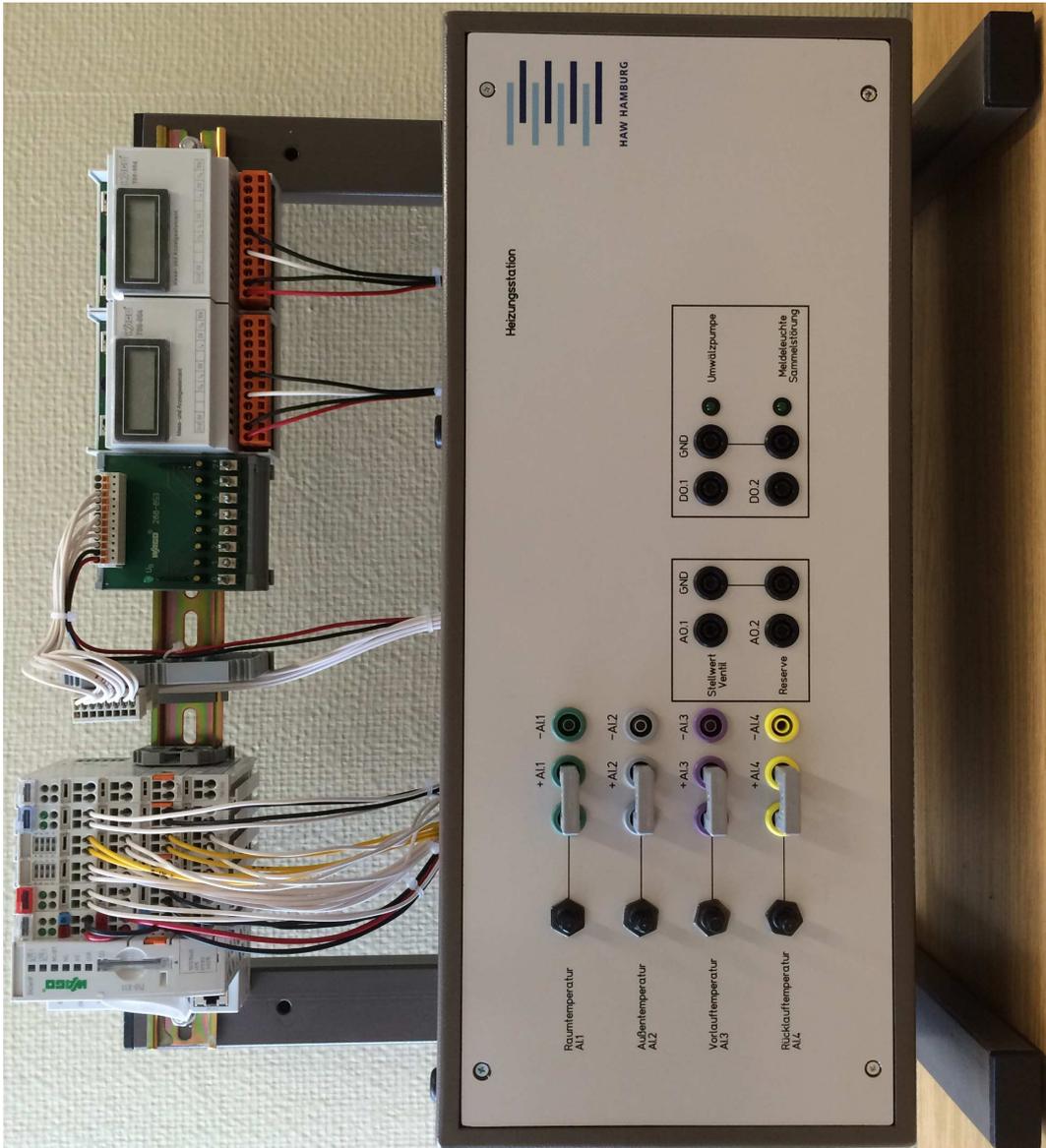
Tragschienenplan Heizungsstation

	3		1	
Netzschalter	4	XPE	2	
	3		1	Wago 787-1002: L
Netzschalter	4	XL	2	
	3		1	Wago 787-1002: N
Netzschalter	4	XN	2	
				L XL:1
				N XN:1
				24V Wago 750-831: 1.1
				24V X1:1
				0V Wago 750-831: 2.1
				0V X3:1
Wago 789-904(1): 24V	3	X1	1	Wago 787-1002: 24V
Wago 789-904(2): 24V	4		2	Wago 288-853: 24V
	3		1	
	4	X2	2	
Wago 789-904(1): 0V	3	X3	1	Wago 787-1002: 0V
Wago 789-904(2): 0V	4		2	Wago 288-853: 0V
Frontplatte DO 1	3	X4	1	Wago 750-501: 3
Frontplatte DO 2	4		2	Wago 750-501: 7
	3		1	
	4	X5	2	
	3		1	
	4	X6	2	
Vorwiderstand LED DO1	3	X7	1	Wago 750-501: 1
Frontplatte DO 1	4		2	
Vorwiderstand LED DO1	3	X8	1	
Frontplatte LED DO 1	4		2	
Frontplatte DO 2	3		1	Wago 750-501: 5
Vorwiderstand LED DO 2	4	X9	2	
Frontplatte LED DO 2	3		1	
Vorwiderstand LED DO 2	4	X10	2	
Vorwiderstand Potentiometer Al 1	3	X11	1	Wago 750-463: 2
Frontplatte Al 1	4		2	
Vorwiderstand Potentiometer Al 1	3	X12	1	
Potentiometer Al 1	4		2	
Frontplatte Al 2	3	X13	1	Wago 750-463: 6
Vorwiderstand Potentiometer Al 2	4		2	
Potentiometer Al 2	3	X14	1	
Vorwiderstand Potentiometer Al 2	4		2	
Vorwiderstand Potentiometer Al 3	3	X15	1	Wago 750-463: 4
Frontplatte Al 3	4		2	
Vorwiderstand Potentiometer Al 3	3	X16	1	
Potentiometer Al 3	4		2	
Frontplatte Al 4	3	X17	1	Wago 750-463: 8
Vorwiderstand Potentiometer Al 4	4		2	
Potentiometer Al 4	3	X18	1	
Vorwiderstand Potentiometer Al 4	4		2	
	3	X19	1	Wago 750-550: 1
Frontplatte AO 1	4		2	Wago 789-904(1): UE
	3	X20	1	Wago 750-550: 3
Frontplatte AO 1	4		2	Wago 789-904(1): 0V
	3	X21	1	Wago 750-550: 5
Frontplatte AO 2	4		2	Wago 789-904(2): UE
	3	X22	1	Wago 750-550: 7
Frontplatte AO 2	4		2	Wago 789-904(2): 0V

C.2. Stromlaufplan



C.3. Foto der Hardware



C.4. Stückliste

Stückliste Heizungsstation		
Anzahl	Bezeichnung	Beschreibung
1	Wago 750-831 Wago-I/O-System BACnet/IP-Controller	SPS
1	Wago 750-430 8-Kanal-Digitaleingangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 750-500 2-Kanal-Digitalausgangsklemme	positivschaltend, 24V
1	Wago 750-463 4-Kanal-Analogueingangsklemme	Widerstandssensoren
1	Wago 750-550 2-Kanal-Analogausgangsklemme	0-10V
1	Wago 750-600 Endmodul	Um den Klemmbus zu schließen
1	Wago 288-853 Schalterelement	
2	Wago 789-904 Mess- und Anzeigeelement	
1	Steckverbindung	8-polig
1	Kaltgerätebuchse	Einspeisung 230V
1	Kontroll-Aus-Schalter	Unterbrechung 230V
8	4-mm-Buchse	Schwarz
3	4-mm-Buchse	Grün
3	4-mm-Buchse	Grau
3	4-mm-Buchse	Lila
3	4-mm-Buchse	Gelb
2	Leuchtdiode	2,5V, Grün
2	Widerstand	2,2k Ω
4	Potentiometer	470 Ω
4	Widerstand	1k Ω

D. Digitaler Anhang

Alle Projektdateien sowie Hard- und Softwaredokumentation befinden sich auf der angehängten CD.

Glossar

- BACnet** Building Automation and Control Network, standardisiertes Kommunikationsprotokoll für die Gebäudeautomatisierung
- DALI** Digital Addressable Lighting Interface, Schnittstellendefinition, ausgelegt auf die Beleuchtungstechnik
- DCF** Rufzeichen für Uhrzeit und Wetterprognose
- EIB** Europäischer Installationsbus, Vorläufer des KNX-Busses
- FDT** Field Device Tool, Konzept, welches die Parametrierung von Feldgeräten verschiedener Hersteller mit nur einem Programm ermöglicht
- FSK** Frequency Shift Keying, Frequenzumtastung, Modulationstechnik zur Übertragung von Digitalsignalen
- GPS** Global Positioning System, Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung
- HVAC** Heating, Ventilation and Air Conditioning, dt. Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage
- KNX** ehemals Konnex, technischer Nachfolger des Europäischen Installationsbus
- OPC** Open Platform Communications, Name für standardisierte Software-Schnittstellen, die den Datenaustausch zwischen Anwendungen unterschiedlichster Hersteller in der Automatisierungstechnik ermöglichen
- SELV** Safety Extra Low Voltage, Schutzkleinspannung nach IEC 60449
- TCP** Transmission Control Protocol, Netzwerkprotokoll, das definiert, auf welche Art und Weise Daten zwischen Computern ausgetauscht werden

Versicherung über die Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §16(5) APSO-TI-BM ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen habe ich unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, 15. Juli 2016

Ort, Datum

Unterschrift