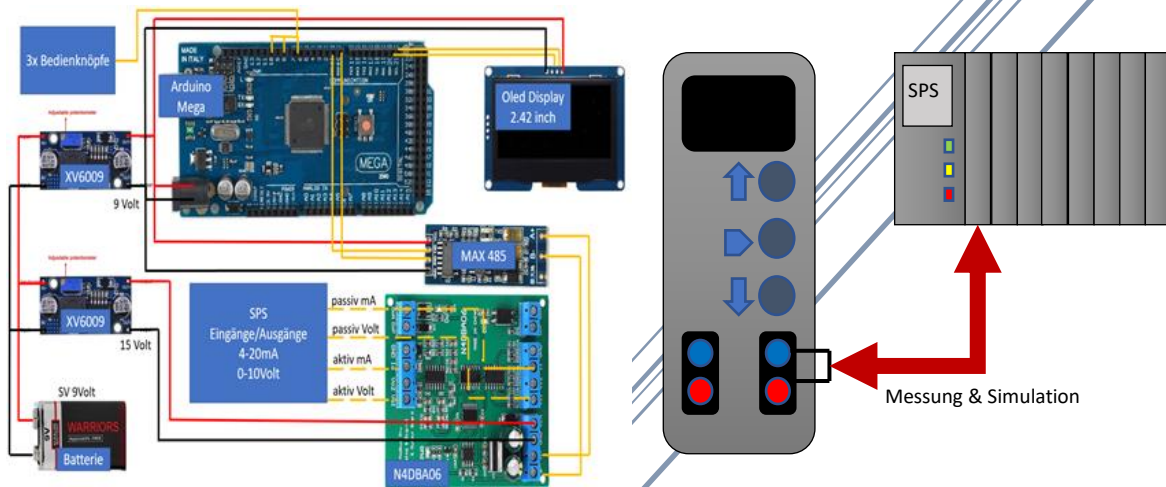
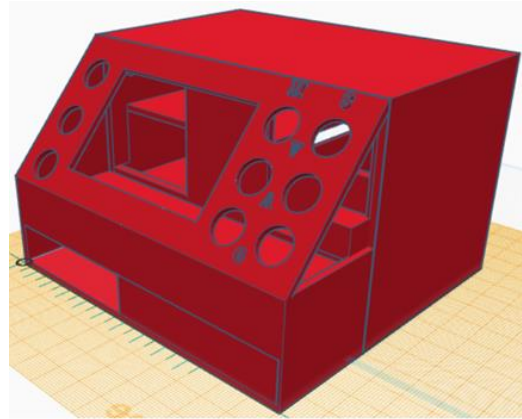
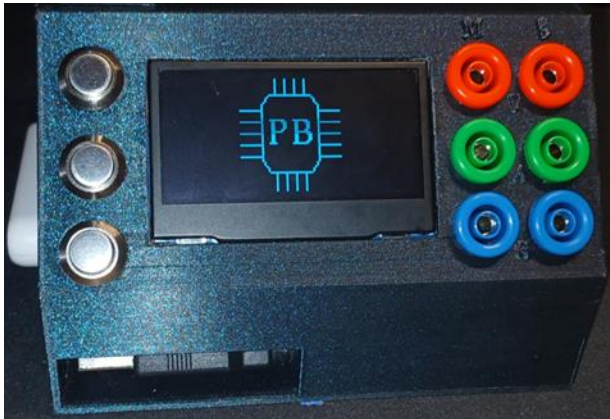


ENTWICKLUNG EINES SIMULATIONSGERÄTES ZUM TESTEN VON STEUERPROGRAMMIERBAREN STEUERUNGEN

DOKUMENTATION DIPLOMARBEIT



STUDENT PASCAL BECK
ELEKTROTECHNIKER HF TEKO Basel

1.0	Inhaltsverzeichnis	
1.1	Abbildungsverzeichnis	2
1.2	Tabellenverzeichnis	2
1.3	Formelverzeichnis.....	2
4.0	Qualifikationsprofil	5
5.0	Aufgabenstellung	7
5.1	Zieldefinition.....	8
6.0	Terminplan.....	8
7.0	Lösung der Aufgaben	10
7.1	TTL MAX485 Modul.....	11
7.2	Modbus-Protokoll.....	13
7.3	Oled 2.42 inch Display	15
7.4	Spannungsversorgung.....	17
7.5	Powerbank.....	20
7.5	Programmierung	21
7.6	Programmstruktur	23
7.7	Erfolgskontrolle	25
8.0	Lessons learn	29
9.0	persönliches Schlusswort	30
9.1	Eigenständigkeitserklärung.....	30
10.0	Quellenangabe	31

1.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Systemübersicht/Schnittstellenübersicht	10
Abbildung 2: Übertragung TTL-Technologie und mit einem Modbus-Protokoll	12
Abbildung 3: Arduino/RS485/N4DBA06 Schnittstelle	13
Abbildung 4: Zusammensetzung des Modbus-Protokolls	14
Abbildung 5: Arduino/Display/Bediener Schnittstelle	16
Abbildung 6: Zusammensetzung des Spannungsversorgungsmoduls	17
Abbildung 7: Entladekurve des 9V-Blocks bei 200mA grau wurde verwendet	19
Abbildung 8: Powerbank und die Spezifikationsdaten	20
Abbildung 9: Powerbank und Einschub Mechanismus	20
Abbildung 10: Lopaka Website für Visualisierungen	21
Abbildung 11: Programmstruktur	23
Abbildung 12: Genauigkeit der Spannung Abweichung in Prozent	26
Abbildung 13: Abweichung im Verhältnis des Messbereiches	27

1.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kann und Mussziele	8
Tabelle 2: Soll Terminplan	9
Tabelle 3: Ist Terminplan	9
Tabelle 4: Modbus-Protokoll für N4DBA06-Modul	15
Tabelle 5: Spannungsversorgung Messung mit 9V-Block Batterie	18
Tabelle 6: Messung Powerbank mit System	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 7: Messung mit Powerbank mit ganzem System	20
Tabelle 8: Erfolgskontrolle	28

1.3 Formelverzeichnis

Formel 1: Leistungsbetrachtung des Systems	18
Formel 2: Berechnung der Betriebsdauer	20
Formel 3: Berechnung Abweichung im Verhältnis des Messbereiches	26

2.0 Management Summary

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Simulationsgeräts für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), das eine kostengünstige und effektive Alternative zu bestehenden kommerziellen Lösungen bietet. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Implementierung und Optimierung des Modbus-Protokolls sowie der TTL-Kommunikation, die eine zuverlässige und flexible Schnittstelle für die Signalübertragung zwischen dem Simulationsgerät und der SPS gewährleistet.

Das entwickelte Gerät basiert auf einem Arduino Mega, der als zentrale Steuereinheit dient und durch den Einsatz verschiedener Komponenten, darunter ein XL6009-DC Step-Up-Spannungswandler und ein TTL RS485 Modul, eine robuste und stabile Spannungsversorgung sicherstellt. Die TTL-Kommunikation in Verbindung mit dem Modbus-Protokoll ermöglicht eine effiziente und fehlerfreie Datenübertragung, was besonders in industriellen Anwendungen von großer Bedeutung ist. Das selbst in der heutigen Industrie immer noch zum Einsatz kommt.

Das Bedienmenü des Geräts ist benutzerfreundlich gestaltet und ermöglicht eine einfache Navigation zwischen den verschiedenen Betriebsmodi: Messung, Simulation und Standby. Auf einer tieferen Ebene können spezifische Parameter wie Strom und Spannung ausgewählt werden, um präzise Signale zu messen oder zu simulieren. Die Genauigkeit der simulierten Signale, die bei 99% liegt, ist entscheidend, um realitätsnahe Bedingungen zu schaffen und eine zuverlässige Simulation zu gewährleisten.

Zusammenfassend demonstriert diese Arbeit, wie durch den gezielten Einsatz von Modbus und TTL-Kommunikation in Kombination mit kostengünstigen Hardwarekomponenten ein leistungsfähiges Simulationsgerät entwickelt werden kann, das den Anforderungen moderner industrieller Anwendungen gerecht wird. Dieses Projekt stellt nicht nur eine technische Innovation dar, sondern bietet auch eine wirtschaftlich attraktive günstige Lösung im Vergleich zu bestehenden Produkten auf dem Markt.

3.0 Kurzer beruflicher Lebenslauf

Seit Oktober 2022 absolviere ich die Ausbildung zum dipl. Techniker HF Elektrotechnik an der TEKO Schweizerischen Fachschule. Der Fokus dieser Ausbildung liegt auf Elektrotechnik sowie Kompetenz- und Projektmanagement. Voraussichtlich werde ich diese Ausbildung Ende Oktober 2024 abschließen.

Von 2010 bis 2014 absolvierte ich meine Ausbildung zum Elektroniker für Geräte und Systeme im Ausbildungszentrum Maulburg bei Endress+Hauser. Während dieser Zeit erreichte ich einen Notendurchschnitt von 2,2. Der Schwerpunkt meiner Ausbildung lag auf der Digitaltechnik. Besonders bereichernd war für mich der tiefe Einblick in die Prozess- und Sensortechnik, von dem ich bis heute in meinem beruflichen Werdegang profitiere.

Berufserfahrung:

Seit September 2023 bin ich bei der ALSAGO Engineering GmbH in Allschwil als Projektleiter tätig. Meine Aufgaben umfassen die Projektleitung im Bereich Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik (E/MSR). Dazu gehört das Erstellen von Hardware- und Software-Steuerungskonzepten sowie die Programmierung von Steuerungen und Visualisierungen. Zudem bin ich für die Spezifikation und Beschaffung von MSR-Geräten verantwortlich, überwache die Montage von Installationen und den Schaltschrankbau und führe Inbetriebnahmen durch.

Von 2019 bis September 2023 arbeitete ich bei Bilfinger am Standort CABB in Pratteln, nachdem dieser 2019 von Bilfinger übernommen wurde. Meine Hauptaufgaben umfassten die Instandhaltung von Anlagen, die Störungssuche sowie die Inbetriebnahme von Anlagen und Systemen. Darüber hinaus war ich für die eigenständige Planung und Durchführung von Projekten zuständig und leistete Bereitschaftsdienst.

Zuvor war ich von 2018 bis 2019 als Automatiker bei CBRE GWS GmbH ebenfalls am Standort CABB in Pratteln tätig, bis das Unternehmen den Standort 2019 verließ. Auch dort konzentrierte sich meine Arbeit auf die Instandhaltung und Störungssuche sowie die eigenständige Planung und Durchführung von Projekten und Inbetriebnahmen.

Meine berufliche Laufbahn begann ich 2014 bei der Lüber GmbH in Möhlin als Maschinenbauelektriker. In dieser Position war ich im Prototypenbau tätig und arbeitete an Kernschießmaschinen für Gießereien. Zusätzlich war ich im Außendienst und bei Montageeinsätzen involviert, inklusive Prüfungen und Endabnahmen der Maschinen.

4.0 Qualifikationsprofil

Beck Pascal

Dipl. Techniker HF Elektrotechnik
Neumattstrasse.5, 4133 Pratteln

Menschen führen (Prozess 1)

- In mehreren Projekten habe ich bewiesen, dass ich mein Team motivieren und durch anspruchsvolle Phasen führen kann. Ein Beispiel ist die Leitung eines Projekts zur Verbesserung einer Pumpenkontrollstation, bei dem das Team durch klare Kommunikation und Zielsetzung dazu gebracht wurde, die Arbeiten eine Woche vor dem Endtermin abzuschließen. Dabei wurde besonders auf das Wohlergehen der Teammitglieder geachtet, indem ich regelmäßige Check-ins durchführte und sicherstellte, dass jeder seine Aufgaben versteht und unterstützt wird.

Projekte planen und leiten (Prozess 3)

- Während meiner Tätigkeit als Projektleiter war ich für die erfolgreiche Planung und Umsetzung verschiedener Projekte verantwortlich. Ein Beispiel ist ein Kundenauftrag, bei dem die Anforderungen an ein Steuerungssystem für eine Produktionsanlage klar definiert und in Zusammenarbeit mit dem Kunden umgesetzt wurden. Ich habe Arbeitspakete erstellt, diese im Team verteilt und sichergestellt, dass alle Arbeitsschritte innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens abgeschlossen wurden. Dank meiner strukturierten Vorgehensweise wurde das Projekt fristgerecht und zur vollen Zufriedenheit des Kunden abgeschlossen.
- In einem weiteren Projekt habe ich drei mögliche Lösungsansätze für ein IT-Konfigurationssystem erarbeitet. Der Fokus lag auf der Kosten-Nutzen-Optimierung, was dazu führte, dass die wirtschaftlichste Lösung gewählt wurde, wodurch das Unternehmen langfristig 1.500 CHF einsparen konnte.

Sich sprachlich verständigen (Prozess 4)

- Die Fähigkeit, komplexe technische Informationen verständlich zu kommunizieren, war in mehreren Projekten entscheidend. In einem Projekt, bei dem ich eine Präsentation über die Vor- und Nachteile von verschiedenen Anlagenteilen halten musste, konnte ich sicherstellen, dass die Zuhörer die Inhalte verstanden und in der Praxis anwenden konnten. Dabei war es wichtig, die Fachbegriffe und Konzepte so zu erklären, dass sie sowohl für Experten als auch für weniger erfahrene Teilnehmer nachvollziehbar waren.

Wirkungsvoll präsentieren und kommunizieren (Prozess 5)

- Während meiner Laufbahn habe ich zahlreiche Präsentationen geplant und durchgeführt. Ein Beispiel hierfür war eine Schulung über die Nutzung von Messgeräten, bei der ich durch eine klar strukturierte und anschauliche Präsentation dafür sorgte, dass alle Teilnehmer die Geräte nach der Schulung eigenständig bedienen konnten. Zudem habe ich die Präsentation so gestaltet, dass das Interesse der Zuhörer geweckt und aufrechterhalten wurde, was sich in der aktiven Teilnahme und den positiven Rückmeldungen widerspiegelte.
- In einer weiteren Präsentation über die Funktionsweise von Hoch- und Tiefpassfiltern konnte ich das Fachpublikum durch eine Kombination aus theoretischer Erklärung und praktischer Vorführung überzeugen, was zu einem tiefen Verständnis und erfolgreicher Anwendung des Wissens in der Praxis.

Probleme analysieren und lösen (Prozess 9)

- In meiner Rolle als Techniker und Projektleiter war es häufig meine Aufgabe, technische Probleme zu erkennen und effizient zu lösen. Ein Beispiel hierfür ist die Optimierung einer digitalen Schaltung, bei der ich durch eine detaillierte Fehleranalyse herausfand, dass ein Bauteil falsch dimensioniert war. Nach der Anpassung des Bauteils konnte die Schaltung die geforderte Leistung erbringen.
- Ein weiteres Beispiel ist die Entwicklung einer Steuerung für eine Waschmaschine, bei der ich die Zustandsmaschine als Programmieransatz nutzte, um verschiedene Funktionen effizient zu steuern. Diese Methode ermöglichte es, das System flexibel an unterschiedliche Waschprogramme anzupassen.

Programme entwickeln (Prozess 12)

- In meinen Projekten habe ich mich auf die Entwicklung und Implementierung von Programmen konzentriert, die zur Steuerung von Maschinen und Anlagen genutzt wurden. Ein Beispiel ist die Programmierung eines Frequenzgenerators mithilfe von Arduino, der zur Testung von Hoch- und Tiefpassfiltern eingesetzt wurde. Die entwickelte Software ermöglichte eine präzise und zuverlässige Darstellung der Filterfunktionen, was das Projekt erfolgreich abschloss.
- Bei der Programmierung einer Waschmaschine konnte ich durch den Einsatz der Programmiersprache C++ die gewünschten Funktionen zuverlässig umsetzen und die Maschine flexibel auf verschiedene Anforderungen einstellen.

Projektmanagement und IT-Qualität (Prozess 13 & 16)

- Im Bereich des Projektmanagements habe ich erfolgreich IT-Projekte geplant und Testeinrichtungen für physikalische Messgrößen konzipiert. Ein Beispiel ist die Planung einer Testeinrichtung, bei der ich durch gezielte Recherchen und die Auswahl passender Messgrößen die Leistung einer neuen Grafikkarte deutlich verbessern konnte. Die Taktrate wurde um mehr als 150 % erhöht und der Speicher der Karte verdoppelt.
- Zudem habe ich im Rahmen eines IT-Projekts verschiedene Lösungsansätze entwickelt, um die Qualitätssicherung eines Systems zu gewährleisten. Durch meine Vorschläge konnte eine kosteneffiziente Lösung implementiert werden, die langfristig Einsparungen ermöglichte.

5.0 Aufgabenstellung

Aufgabenstellung:

Im Rahmen dieses Projekts soll ein Simulationsgerät für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) entwickelt werden, das dazu dient, analoge Signale wie 4-20 mA und 0-10 Volt zu simulieren und zu testen. Ziel des Geräts ist es, die Funktionsfähigkeit von SPS-Steuerungen bei der Inbetriebnahme neuer Systeme sicherzustellen, indem die korrekte Signalübertragung und Verarbeitung überprüft wird. Das Gerät soll mobil, benutzerfreundlich und in industriellen Umgebungen einsatzfähig sein. Es muss über ein Display und Bedientasten verfügen, um die verschiedenen Simulationsmodi zu steuern, und eine intuitive Benutzeroberfläche bieten.

Zieldefinition:

- 1. Entwicklung eines funktionsfähigen Simulationsgeräts:**
Das Simulationsgerät muss in der Lage sein, die Signale 4-20 mA und 0-10 Volt sowohl zu simulieren als auch zu messen. Die Signale sollen auf einem Display visualisiert werden und es muss möglich sein, über Bedientasten zwischen verschiedenen Betriebsmodi (Simulieren, Messen, Standby) zu wechseln.
- 2. Einsatzfähigkeit in der Praxis:**
Das Gerät soll mobil und kompakt sein, sodass es problemlos im Feld, z. B. bei der Inbetriebnahme von Anlagen, eingesetzt werden kann. Dabei soll die Spannungsversorgung über einen internen Akku gewährleistet werden. Zudem soll das Gerät in unterschiedlichen Umgebungen verwendet werden können, einschließlich industrieller Anlagen.
- 3. Überprüfung und Sicherstellung der Signalübertragung:**
Das Simulationsgerät soll es ermöglichen, die Signalübertragung vom Messgerät zur SPS zu testen und potenzielle Fehlerquellen wie fehlerhafte Signalinterpretationen oder Verdrahtungsfehler frühzeitig zu erkennen. Dies schließt die Überprüfung der gesamten Messkette von Sensoren bis zur SPS ein.
- 4. Ergonomisches und intuitives Design:**
Die Bedienung des Geräts soll ohne spezielle Schulung möglich sein. Dafür ist eine benutzerfreundliche und intuitive Oberfläche erforderlich, auf der alle Funktionen des Geräts übersichtlich dargestellt werden. Die wichtigsten Funktionen sollen mit nur wenigen Handgriffen erreichbar sein.
- 5. Sicherheits- und Qualitätsanforderungen:**
Das Gerät muss den geltenden Sicherheitsanforderungen entsprechen, insbesondere den Normen für Niederspannungsinstallationen und Schutzmaßnahmen gegen Kurzschlüsse. Es muss robuste und zuverlässige Hardware-Komponenten verwenden, die auch unter industriellen Bedingungen eine lange Lebensdauer garantieren.

5.1 Zieldefinition

ID	Beschreibung	Klassifikation
R-U1100	Das Gerät muss 4-20 mA aktiv simulieren	MUSS
R-U1101	Das Gerät muss 0-10 Volt aktiv simulieren	MUSS
R-U1102	Das Gerät muss 4-20 mA messen können	MUSS
R-U1103	Das Gerät muss 4-20 mA messen können	MUSS
R-U1104	Das Gerät muss mobil sein und im Feld einsetzbar	MUSS
R-F1101	Es muss ein Display haben mit der sich die einzelnen Funktionen ansteuern lassen	MUSS
R-F1102	Es muss Bedientasten haben mit den sich das Gerät steuern lässt	MUSS
R-B1100	Es muss eine interne Spannung Spannungsversorgung haben um die Mobilität zu gewährleisten	MUSS
R-Q1100	Das Bedienpersonal muss das Gerät bedienen können ohne Schulung. Es braucht hierzu ein intuitiv zu bedienendes Bedienmenü	MUSS
R-Q1100	Das Gerät muss eine Genauigkeit von $\pm 0.25\%$ haben	MUSS
R-Q1101	Es sollte bei der Messung der Signale eine Visualisierung der Kennlinie haben	KANN
R-B1101	Es sollte Messbuchten haben die Standardisiert sind	KANN

TABELLE 1: KANN UND MUSSZIELE

Das Projekt legt den Schwerpunkt auf die Entwicklung eines mobilen Messgeräts, das in der Lage ist, sowohl 4-20 mA als auch 0-10 Volt aktiv zu simulieren und zu messen. Diese grundlegenden Funktionen sind wesentliche Anforderungen (MUSS-Kriterien) und bilden das Herzstück der technischen Fähigkeiten des Geräts. Die Messungen werden über eine intuitive Benutzeroberfläche gesteuert, die auf einem Display visualisiert wird. Der Benutzer kann durch die verschiedenen Funktionen mithilfe der Bedientasten navigieren, wodurch eine einfache Bedienbarkeit ohne spezielle Schulung sichergestellt wird.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des Geräts ist seine Mobilität, was durch eine interne Spannungsversorgung gewährleistet wird. Diese Eigenschaft ermöglicht es, das Gerät flexibel im Feld einzusetzen. Eine intuitive Steuerung und die Möglichkeit, Messungen ohne große Vorkenntnisse durchzuführen, sind entscheidende Faktoren, um die Effizienz bei der Anwendung zu erhöhen.

Obwohl es optional (KANN-Kriterium) vorgesehen ist, dass der Batteriezustand des Geräts angezeigt wird, ist diese Funktion im aktuellen System nicht implementiert. Eine solche Anzeige wäre hilfreich, um dem Benutzer rechtzeitig Informationen über einen niedrigen Batteriestand zu geben und so den Ausfall des Geräts im Einsatz zu verhindern. Die Implementierung dieser Funktion bleibt jedoch derzeit offen.

Zusätzlich sind weitere optionale Funktionen vorgesehen, die die Benutzerfreundlichkeit erhöhen könnten, wie zum Beispiel die Visualisierung der gemessenen Signale in Form von Kennlinien. Auch standardisierte Messbuchten wären eine nützliche Erweiterung, um die Kompatibilität des Geräts mit anderen Messsystemen zu gewährleisten. Diese optionalen Funktionen sind nicht zwingend erforderlich, könnten jedoch in zukünftigen Iterationen des Projekts Berücksichtigung finden, um das Gerät weiter zu optimieren und benutzerfreundlicher zu gestalten.

6.0 Terminplan

Innerhalb der sechs Wochen, die für die Diplomarbeit zur Verfügung standen, spielte die exakte Terminierung der einzelnen Projektphasen eine entscheidende Rolle für den erfolgreichen Ablauf und die Umsetzung des Projektes. Der daraus resultierende Terminplan diente als Richtlinie, anhand derer der Fortschritt und letztlich der Erfolg des Projekts gemessen werden konnte.

Im Verlauf des Projekts stellte sich jedoch heraus, dass sich einige der definierten Prozesse und Aufgaben überlappten, was zu einer Vermischung der ursprünglich klar getrennten Arbeitsbereiche

fürte. Dadurch war es schwierig, die einzelnen Phasen strikt voneinander zu trennen und den geplanten Ablauf exakt einzuhalten. Diese Unschärfe in der Prozessabgrenzung erforderte eine flexible Anpassung des Arbeitsplans, um dennoch alle Meilensteine innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens zu erreichen und den Projekterfolg sicherzustellen.

Wochen/ Tage	Montag	Diennstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samsatg	Sonntag
33		Anforderungsanalyse					
	12.08.2024	13.08.2024	14.08.2024	15.08.2024	16.08.2024	17.08.2024	18.08.2024
34	Auswahl Komponenten & Bestellung				Druck des Gehäuses		
	19.08.2024	20.08.2024	21.08.2024	22.08.2024	23.08.2024	24.08.2024	25.08.2024
35	Softwareentwicklung						
	26.08.2024	27.08.2024	28.08.2024	29.08.2024	30.08.2024	31.08.2024	01.09.2024
36	Softwareentwicklung						
	02.09.2024	03.09.2024	04.09.2024	05.09.2024	06.09.2024	07.09.2024	08.09.2024
37	Dokumentation						
	09.09.2024	10.09.2024	11.09.2024	12.09.2024	13.09.2024	14.09.2024	15.09.2024
38	Montage der Komponenten						
	16.09.2024	17.09.2024	18.09.2024	19.09.2024	20.09.2024	21.09.2024	22.09.2024
39		Endtermin					
	23.09.2024	24.09.2024					

TABELLE 2: SOLL TERMINPLAN

Wochen/ Tage	Montag	Diennstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samsatg	Sonntag
33		Anforderungsanalyse					
	12.08.2024	13.08.2024	14.08.2024	15.08.2024	16.08.2024	17.08.2024	18.08.2024
34	Softwareentwicklung						
	19.08.2024	20.08.2024	21.08.2024	22.08.2024	23.08.2024	24.08.2024	25.08.2024
35	Softwareentwicklung						
	26.08.2024	27.08.2024	28.08.2024	29.08.2024	30.08.2024	31.08.2024	01.09.2024
36	Auswahl Komponenten & Bestellung				Druck des Gehäuses		
	02.09.2024	03.09.2024	04.09.2024	05.09.2024	06.09.2024	07.09.2024	08.09.2024
37	Montage der Komponenten						
	09.09.2024	10.09.2024	11.09.2024	12.09.2024	13.09.2024	14.09.2024	15.09.2024
38	Dokumentation						
	16.09.2024	17.09.2024	18.09.2024	19.09.2024	20.09.2024	21.09.2024	22.09.2024
39		Endtermin					
	23.09.2024	24.09.2024					

TABELLE 3: IST TERMINPLAN

7.0 Lösung der Aufgaben

Im Rahmen des Projekts wurde für die Alsaco AG, einem Elektroplaner im chemischen und pharmazeutischen Sektor, ein Simulationsgerät entwickelt, das bei der Inbetriebnahme von Anlagen eingesetzt wird. Dieses Gerät dient der Überprüfung der Hardwareinstallationen, insbesondere der Verdrahtung und Funktionsfähigkeit von SPS (speicherprogrammierbaren Steuerungen). Im Rahmen des Industriellen Standards befinden sich diese zu simulierenden Signale. Es simuliert analoge Signale wie 4-20 mA und 0-10 Volt, um sicherzustellen, dass die Schnittstellen von Sensoren bis zur Visualisierung korrekt funktionieren.

Das Simulationsgerät ist kompakt, mobil und einfach zu bedienen. Es ermöglicht dem Anwender, zwischen der Simulation und Messung von Signalen zu wählen. Diese Flexibilität macht es ideal für den Einsatz im Feld oder im Schaltschrank. Es kann Fehler bei der Signalübertragung frühzeitig erkennen, unterstützt die Qualitätssicherung und ermöglicht Störungssuche sowie Kalibrierungstests.

Die Steuerung des Geräts erfolgt über ein benutzerfreundliches Menü, das auf einem Arduino basiert. Das Gerät bietet alle notwendigen Funktionen, um die analogen Signale präzise zu simulieren und auf einer SPS zu testen.

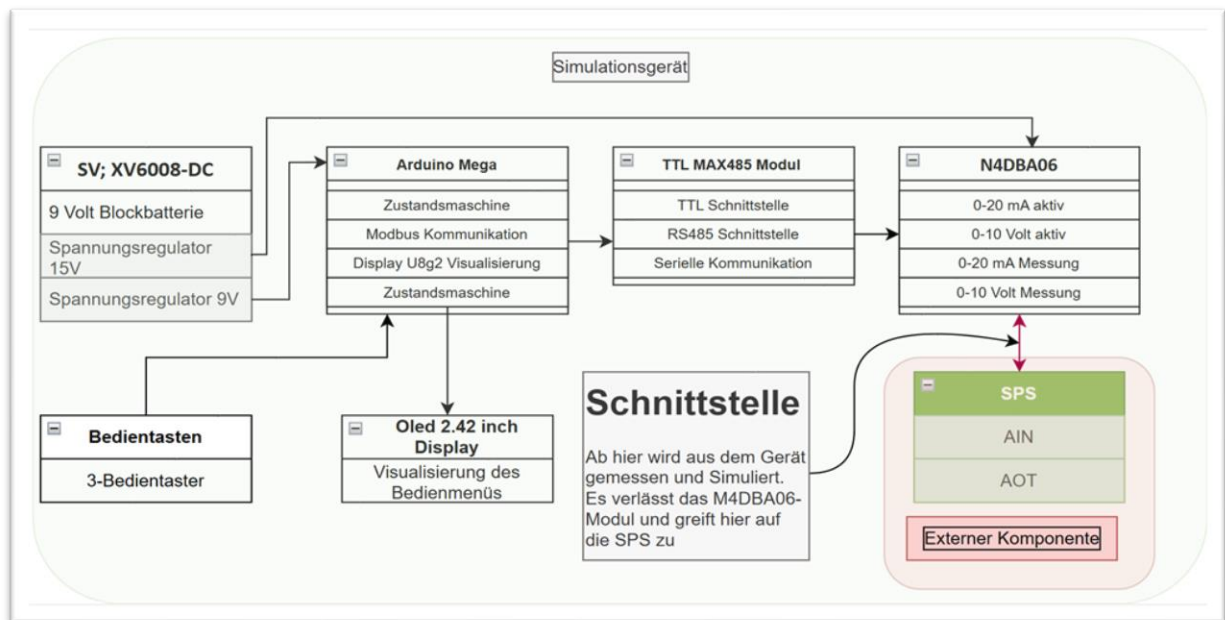


ABBILDUNG 1: SYSTEMÜBERSICHT/SCHNITTSTELLENÜBERSICHT

Diese Komponentenbauweise ermöglicht es, das Gerät sowohl im Feld als auch in der Werkstatt flexibel einzusetzen, und bietet dem Anwender eine intuitive Bedienung und hohe Zuverlässigkeit.

Im Rahmen der Dokumentation wird der Schwerpunkt auf die Umsetzung der Kommunikation und Programmierung gelegt, da diese aufgrund ihrer Komplexität und Ausführung eine nähere Betrachtung verdient. Daher bildet die technische Umsetzung einen zentralen Aspekt dieser Arbeit.

Das Simulationsgerät wurde in einer modularen **Komponentenbauweise** entwickelt, um Flexibilität und einfache Wartung zu gewährleisten. Die wichtigsten Komponenten und deren Funktionen sind wie folgt:

1. **Arduino Mega 2560:**

Der Mikrocontroller ist das zentrale Steuerungselement des Simulationsgeräts. Es verarbeitet die Eingaben und steuert die gesamte Funktionalität, einschließlich der Simulation und Messung von Signalen. Über das Arduino-Board wird das Bedienmenü verwaltet und die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten ermöglicht.

2. **N4DBA06** **Simulationsmodul:**
Dieses Modul ist für die Ausgabe und Messung der analogen Signale (4-20 mA und 0-10 Volt) verantwortlich. Es sorgt dafür, dass die Signale korrekt simuliert und zur weiteren Verarbeitung an die SPS gesendet werden.
3. **OLED-Display:**
Das 2.42-Zoll-Display zeigt die aktuellen Mess- und Simulationswerte sowie das Bedienmenü an. Es ermöglicht dem Benutzer eine direkte Kontrolle und Überwachung der Signale.
4. **TTL RS485 Modul:**
Dieses Kommunikationsmodul sendet über die TTL-Kommunikation das Modbus Protokoll, das für die Kommunikation mit dem N4DBA06-Modul genutzt wird. Es ermöglicht eine stabile und zuverlässige Datenübertragung über größere Entfernungen.
5. **Bedienknöpfe und Display:**
Über die integrierten Bedientasten kann der Benutzer das Menü steuern, die Betriebsmodi auswählen (Simulation oder Messung) und die Signale konfigurieren.
6. **Spannungsversorgung XV6009 (9V und 15V):**
Zwei unterschiedliche Spannungen versorgen das Gerät. Der Arduino wird mit 9 Volt betrieben, während das N4DBA06-Modul 15 Volt benötigt. Die Spannungswandler sorgen für eine stabile Energieversorgung.

7.1 TTL MAX485 Modul

Das MAX485-Modul fungiert als Schnittstelle zwischen dem Arduino und dem N4DBA06-Modul, indem es die digitale Kommunikation ermöglicht. Da der Arduino nur mit 0V und 5V arbeitet, wird das MAX485-Modul verwendet, um die Datenübertragung über die sogenannte TTL-Technologie (Transistor-Transistor-Logik) zu ermöglichen. Obwohl weiterhin digitale Signale (0 und 1) übertragen werden, ermöglicht das MAX485-Modul eine serielle Kommunikation über größere Distanzen, indem es die TTL-Signale vom robusteren Modbus-Protokoll sendet. Dieses Protokoll ist von Gerät zu Gerät und deren Funktion sehr unterschiedlich, die grobe Struktur ist zwar ähnlich dennoch von der Funktion des Gerätes selbst abhängig. Das Protokoll wird vom Geräteelieferant zur Verfügung gestellt und wird benötigt um das Gerät überhaupt bedienen zu können. (Arduino TTL-Kommunikation, 2018)

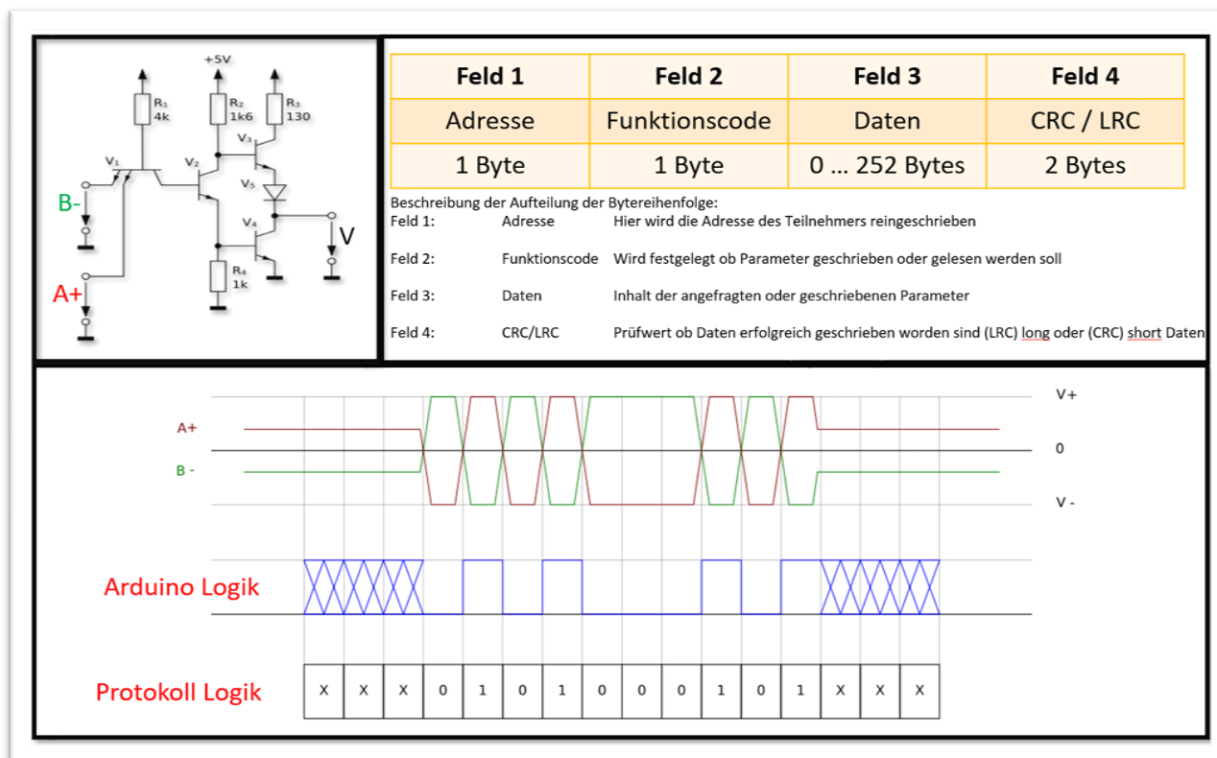


ABBILDUNG 2: ÜBERTRAGUNG TTL-TECHNOLOGIE UND MIT EINEM MODBUS-PROTOKOLL

Das obere linke Bild veranschaulicht den Aufbau der Transistor-Transistor-Logik (TTL). Durch die gegenseitige Invertierung der Signale wird eine eindeutige Interpretation des analogen Signals ermöglicht, was zu einer klaren Ausgabe von entweder "1" oder "0" führt. Dies ist entscheidend für die zuverlässige Übertragung von Bytes in digitalen Systemen.

Die Datenübertragung erfolgt über eine serielle Schnittstelle, die im Schaubild durch die Anschlüsse A+ und B- dargestellt ist. Die übertragenen Bytes werden anschließend je nach verwendetem Protokoll interpretiert. Mithilfe des MAX485-Chips können verschiedene Protokolle wie Modbus, RS-485 oder EIA-485 genutzt werden. In unserem Fall wird das Modbus-Protokoll zur Übertragung verwendet.

Funktionsweise:

- Die TTL-Schnittstelle überträgt digitale Signale in Form von Spannungsschwankungen: Ein niedriger Pegel (typisch 0V) repräsentiert eine logische „0“, und ein hoher Pegel (typisch 5V) repräsentiert eine logische „1“. Somit können sicher Bytes versendet werden bis zu einer Maximallänge von 1200 Meter.
- In der Kommunikation zwischen Geräten wie dem Arduino und anderen Modulen (z.B. Sensoren oder Aktoren) ermöglicht TTL eine schnelle und zuverlässige Übertragung von Steuerbefehlen und Daten. Durch gegenseitige Invertierung der Signale wird die Signalübertragung redundant gespiegelt und dadurch wird die Singalübertragung stabiler.
- In Kombination mit dem RS485-Modul, das die TTL-Signale in ein differenzielles Signal für die serielle Kommunikation umwandelt, kann TTL für die Übertragung über größere Entfernungen und in industriellen Umgebungen eingesetzt werden. Zudem kann das Spannungspotenzial sich nach unten oder oben verschieben ohne das Singalübertragungsfehler entstehen. Durch die Serielle Drahtführung ist das Spannungspotenzial nun gegenseitig gekoppelt und durch Induktion Störungsresistenter. (Peter, 2023)

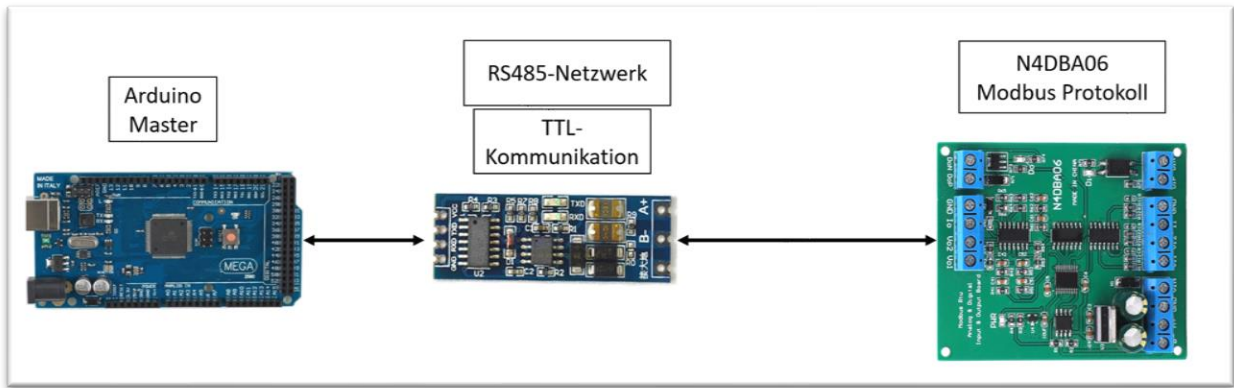


ABBILDUNG 3: ARDUINO / RS485 / N4DBA06 SCHNITTSTELLE

Durch die Verwendung dieser beiden Schnittstellen kann das Simulationsgerät präzise und zuverlässige Datenübertragungen durchführen, die für die Steuerung des N4DBA06-Moduls nötig ist.

In diesem System wird einer TTL-Kommunikation verwendet um das Modbus-Protokoll zu übertragen. Die Einfachheit und Sicherstellung zu Übertragung der Befehle ist ideal für die Ausführung von Simulationen über das N4DBA06-Modul.

7.2 Modbus-Protokoll

Das **Modbus-Protokoll** ist ein weit verbreitetes Kommunikationsprotokoll, das in industriellen Steuerungssystemen eingesetzt wird. Es ermöglicht die Kommunikation zwischen mehreren Geräten, die über serielle Leitungen oder Netzwerke miteinander verbunden sind. Modbus arbeitet in einem Master-Slave-Modell, bei dem ein Master-Gerät (in diesem der Arduino) Anfragen an ein oder mehrere Slave-Geräte (N4DBA06) sendet. Die Slave-Geräte antworten dann mit den angeforderten Daten oder bestätigen die empfangenen Befehle. (Wachendorf, 2003)

Funktionsweise:

- Der Master initiiert alle Kommunikationsvorgänge, indem er eine Anfrage an ein Slave-Gerät sendet.
- Diese Anfrage kann Datenanforderungen, Steuerbefehle oder Konfigurationsanweisungen enthalten.
- Das Slave-Gerät verarbeitet die Anfrage und sendet eine Antwort zurück, die entweder die angeforderten Daten oder eine Bestätigung der ausgeführten Aktion enthält.
- Modbus verwendet oft eine serielle RS485-Schnittstelle, die robust und für lange Distanzen geeignet ist.

Modbus ist besonders nützlich in der Industrie, weil es einfach zu implementieren ist und eine hohe Kompatibilität mit verschiedenen Geräten und Systemen bietet.

Das Modbus-Protokoll verwendet Register, um Daten zwischen einem Master (Client) und einem Slave (Server) auszutauschen. Es gibt verschiedene Arten von Registern, die jeweils unterschiedliche Funktionen haben:

1. **Holding Register (Funktion 03 und 06):** Diese 16-Bit-Register werden verwendet, um Daten zu lesen oder zu schreiben. Typischerweise werden sie genutzt, um Konfigurationsparameter oder Steuerbefehle zu speichern und abzurufen. Ein Master kann den Inhalt eines Holding Registers lesen oder neue Werte schreiben.
2. **Input Register (Funktion 04):** Diese Register sind nur lesbar und werden genutzt, um analoge Eingangsgrößen zu erfassen. Beispielsweise könnte ein Input Register den aktuellen Wert eines Temperatursensors enthalten.

3. **Coils (Funktion 01 und 05):** Coils sind einzelne Bit-Register, die den Zustand von digitalen Ausgängen darstellen (An/Aus). Sie können sowohl gelesen als auch beschrieben werden.
4. **Discrete Inputs (Funktion 02):** Diese sind ebenfalls einzelne Bits, die nur lesbar sind und den Status von digitalen Eingängen anzeigen, wie etwa Schalterstellungen.

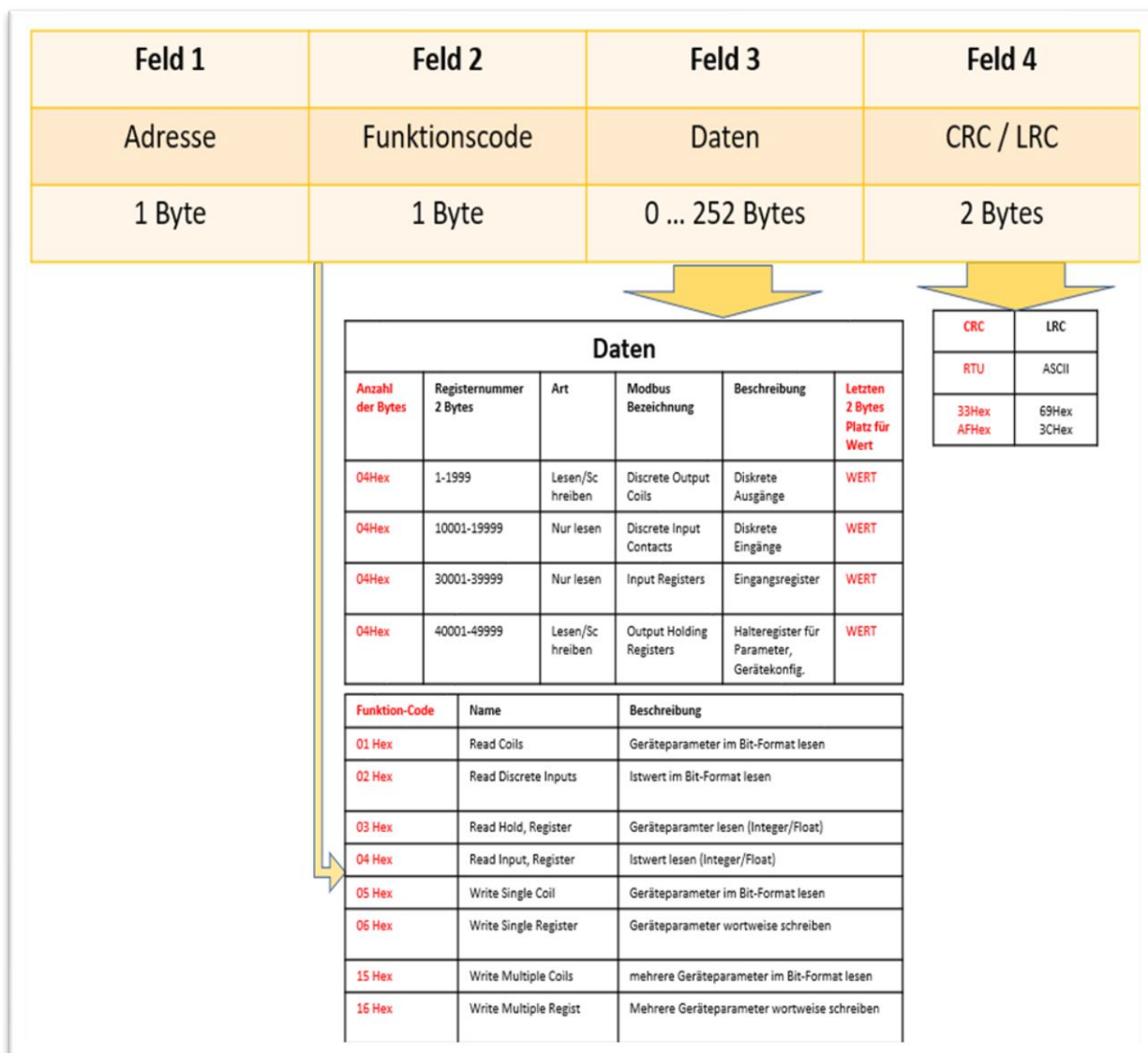


ABBILDUNG 4: ZUSAMMENSETZUNG DES MODBUS-PROTOKOLLS

Jede Art von Register erfüllt also eine spezifische Funktion, die entweder den aktuellen Zustand eines Geräts erfasst oder es dem Master ermöglicht, Steuerbefehle zu senden.

In unserem Fall ist das Modul N4DBA06 mit einer Reihe spezifischer Funktionen ausgestattet, die es ermöglichen, es effizient zu steuern. Die Funktionen und Register dieses Moduls sind im zugehörigen Datenblatt beschrieben und lassen sich in einer Tabelle zusammenfassen. Diese Tabelle zeigt die verschiedenen Registeradressen sowie deren jeweilige Funktionen, die für die Kommunikation über das Modbus-Protokoll relevant sind.

Beispiel: N4DBA06	Adresse	Funktionscode	Daten Byte	Daten Register	Daten Wert	CRC
Bytes Senden	1 Byte	1 Byte	1Byte	1 Byte	2 Byte	2 Byte
Strom Input Send (Simulation)	01	03	00	02	00 01	25 CA
Strom Input (Simulation)	01	03	02	03	03 E9	79 3A
Spannung Input send (Simulation)	01	03	00	01	00 00	84 0A
Spannung Input (Simulation)	01	03	02	00	00 DB	F8 1F
Strom Output Send (Messung)	01	03	00	82	03 E8	79 3A
Spannung Output Send (Messung)	01	03	00	80	00 01	84 0A

TABELLE 4: MODBUS-PROTOKOLL FÜR N4DBA06-MODUL

Jedes Register erfüllt eine bestimmte Aufgabe, sei es das Lesen von Eingangswerten, das Schreiben von Steuerbefehlen oder das Überwachen von Zuständen. Anhand der angegebenen Registeradressen und deren Funktion kann das N4DBA06-Modul präzise angesteuert werden, um beispielsweise Daten wie Messwerte auszulesen oder Steuerbefehle zur Steuerung der Simulationen auszuführen.

Durch die korrekte Implementierung dieser Register und deren Funktionen in der Steuerungssoftware kann sichergestellt werden, dass das Modul reibungslos und effizient im gewünschten System funktioniert.

7.3 Oled 2.42 inch Display

Das OLED-Display wird vom Arduino angesteuert und spielt eine zentrale Rolle, um das gesamte System benutzerfreundlich und bedienbar zu machen. Es handelt sich um ein 2,42-Zoll-OLED-Display, das über den I2C-Bus mit dem Arduino verbunden ist. Der Benutzer navigiert mithilfe von drei Bedientasten durch eine programmierte Zustandsmaschine (State Machine), der verschiedenen Menüs und Unterfunktionen steuert. (Wokwi, kein Datum)

Durch das Drücken der Tasten kann der Bediener zwischen den einzelnen Menüpunkten hin- und herwechseln, spezifische Funktionen auswählen und entsprechende Werte ändern. Diese dynamische Interaktion ermöglicht es, Simulationen zu starten oder Messungen durchzuführen. Die geänderten Parameter werden sofort visuell auf dem OLED-Display angezeigt, wodurch eine intuitive Bedienung und Anpassung des Systems möglich ist.

Zusätzlich werden die Funktionen klar und strukturiert auf dem Display visualisiert, sodass der Benutzer jederzeit die aktuelle Menüauswahl und die dazugehörigen Parameter einsehen kann.

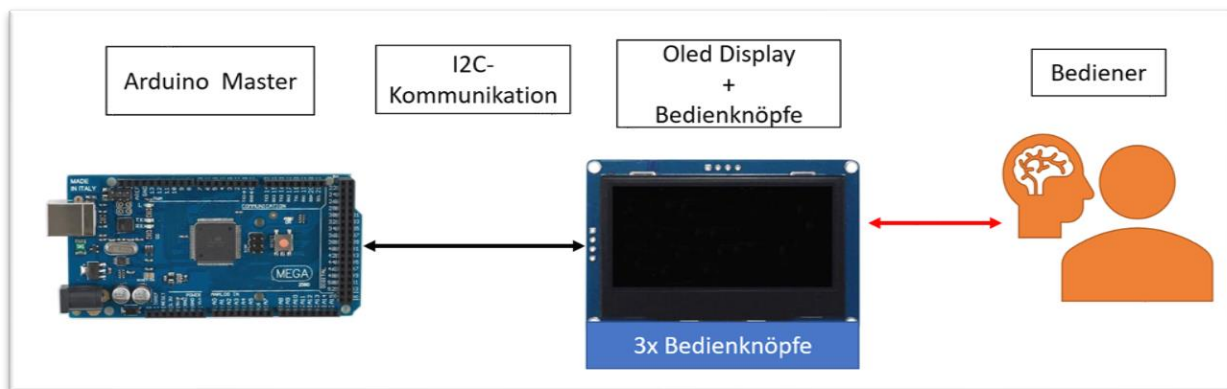


ABBILDUNG 5: ARDUINO/DISPLAY/BEDIENER SCHNITTSTELLE

I2C-Kommunikation:

I2C (Inter-Integrated Circuit) ist ein serielles Kommunikationsprotokoll, das häufig verwendet wird, um Daten zwischen einem Mikrocontroller (wie einem Arduino) und verschiedenen Peripheriegeräten, wie Sensoren, Displays oder Speicherchips, auszutauschen. I2C verwendet nur zwei Leitungen für die Kommunikation:

- **SDA (Serial Data Line)** für die Übertragung der Daten und
- **SCL (Serial Clock Line)** für die Synchronisation der Übertragung.

Der I2C-Bus ermöglicht die Kommunikation zwischen mehreren Geräten (Master und Slaves) über dieselben zwei Leitungen. Ein Master-Gerät, z. B. ein Arduino, initiiert die Kommunikation und steuert den Datenaustausch, während die Slaves (wie ein OLED-Display) auf die Befehle des Masters warten.

Arduino Mega steuert das OLED-Display an:

In deinem Fall wird das OLED-Display mit einer Größe von 2,42 Zoll über den I2C-Bus vom Arduino Mega angesteuert. Das OLED-Display empfängt über die SDA- und SCL-Leitungen Anweisungen vom Arduino, um Informationen visuell darzustellen.

1. Verkabelung:
 - Das SDA-Signal des OLED-Displays wird mit dem SDA-Pin (Pin 20) des Arduino Mega verbunden.
 - Das SCL-Signal des OLED-Displays wird mit dem SCL-Pin (Pin 21) des Arduino Mega verbunden.
 - Zusätzlich werden die Versorgungsspannung (meistens 3.3V oder 5V) und die Masse (GND) mit den entsprechenden Pins des Arduino verbunden.
2. Bibliothek für das OLED: Um das Display anzusteuern, wird eine Bibliothek wie U8g2lib verwendet, die es vereinfacht, Inhalte auf dem Display darzustellen. Diese Bibliothek enthält Funktionen, um Texte, Bilder, Linien oder andere Grafiken auf dem Display darzustellen.
3. Ansteuerung und Darstellung: Nach der Initialisierung der I2C-Kommunikation durch den Arduino wird das OLED-Display über I2C-Befehle gesteuert, die vom Arduino gesendet werden. Mit Funktionen wie drawStr(), drawLine(), oder clearBuffer() kann der Mikrocontroller z.B. Texte, Grafiken oder Animationen auf dem Display anzeigen.

7.4 Spannungsversorgung

Die ursprüngliche Idee war das das gesamte System mit einem 9 Volt Blockbatterie betrieben wird.

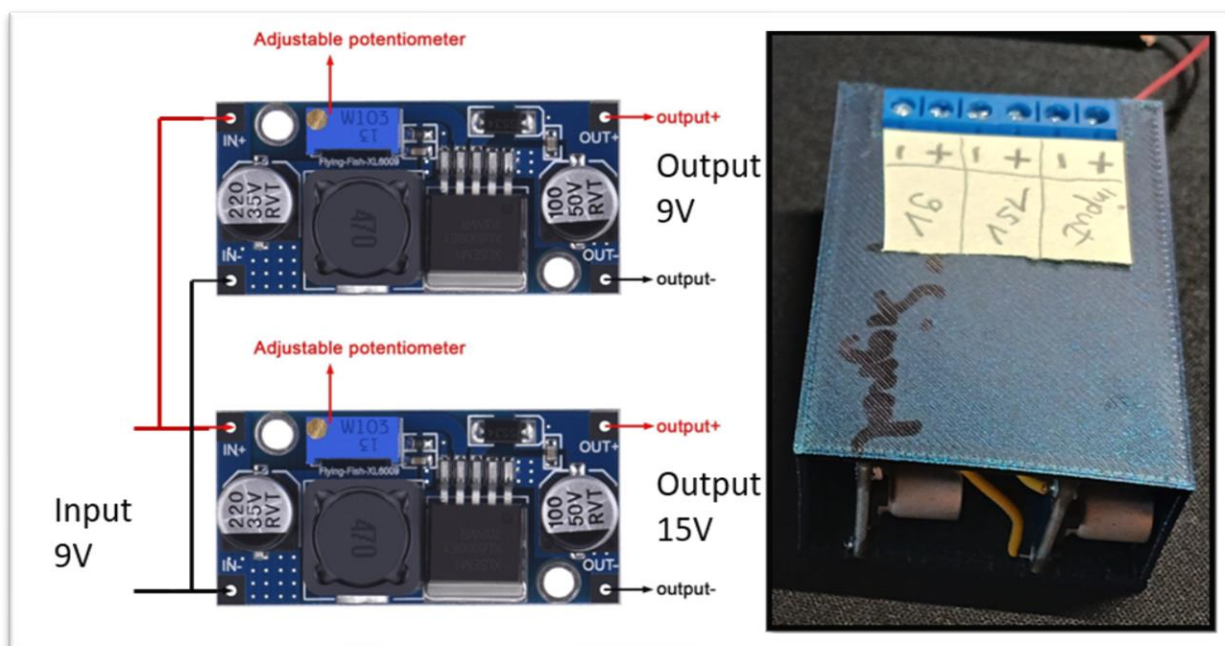


ABBILDUNG 6: ZUSAMMENSETZTUN DES SPANNUNGSVERSORUNGSMODULS

Für die Spannungsversorgung des Systems wurde ein Step-Up-Konverter vom Typ CV6009 verwendet, um eine stabile und zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten. Dieser Konverter bietet mehrere entscheidende Vorteile: Erstens sorgt er für eine konstante Ausgangsspannung, auch wenn die Eingangsspannung aufgrund der Entladung der Batterie abfällt. Dies trägt maßgeblich zur Spannungsstabilität des Systems bei und reduziert die Gefahr von Instabilitäten. Zweitens erlaubt der CV6009 eine variable Spannungsanpassung, sodass unterschiedliche Spannungen je nach Bedarf erzeugt werden können – in diesem Fall wurden 9 Volt und 15 Volt genutzt.

Ein weiterer Vorteil des CX6009 ist seine kompakte Bauweise, die es ermöglicht, den Konverter platzsparend auf kleinen Platinen zu integrieren. Zusätzlich kann er eine flexible Stromversorgung von 2 bis 24 Volt bereitstellen, was ihn sehr vielseitig macht. Trotz seiner Leistung zeichnet sich der Konverter durch eine geringe Stromaufnahme aus, was die Effizienz des Gesamtsystems erhöht.

Das 3D-Gedruckte kompakt Gehäuse wurde so entwickelt das die Einfachheit und die Flexibilität gewährleistet ist. Zudem sind hierbei einfache Anschlussklemmen verwendet worden. Die zwei XV6009 haben locker in diesem Gehäuse platz und sind mechanisch geschützt zudem kann von aussen auf die unterschiedlichen Spannungen zugegriffen werden. Es sind alles Kabel ordentlich im Gehäuse verlegt und die Gefahr von Kurzschlüssen wurde minimiert.

Bei der Dimensionierung der Spannungsversorgung stellte sich schnell heraus, dass eine 9-Volt-Blockbatterie nicht ausreicht, um das Gesamtsystem zuverlässig zu betreiben. Die Messungen wurden am gesamten System durchgeführt, wobei der Step-Up-Konverter zweimal verwendet wurde, um die benötigten Spannungen von 9 Volt und 15 Volt zu generieren. Dabei zeigte sich, dass das System bei einer Eingangsspannung von 9 Volt einen Strom von 140 mA aufnahm, was die Grenzen der 9-Volt-Batterie deutlich überschritt. Diese Erkenntnis machte klar, dass eine leistungsstärkere Spannungsversorgung erforderlich ist.

Messung mit allen Komponenten				
Messung	Volt	Strom	Volt	Strom
Strom Simulation	9 Volt	140 mA	6 Volt	144mA
Spannung Simulation	9 Volt	138 mA	6 Volt	144 mA
Messung Strom	9 Volt	127 mA	6 Volt	137 mA
Messung Spannung	9 Volt	127 mA	6 Volt	139 mA
Standby und Ruhe	9 Volt	105 mA	6 Volt	121mA

TABELLE 5: SPANNUNGSVERSORGUNG MESSUNG MIT 9V-BLOCK BATTERIE

$$U * I = P$$

$$9 * 140mA = 1.26W$$

FORMEL 1: LEISTUNGSBETRACHTUNG DES SYSTEMS

Kurzzeitige Spannungsschwankungen wurden in der ursprünglichen Planung nicht berücksichtigt, was letztlich zu Instabilitäten im System führte. Diese Schwankungen, insbesondere bei Spitzenlasten, beeinträchtigten die zuverlässige Funktion des Gesamtsystems. Die nachfolgende Entladekurve einer typischen 9-Volt-Blockbatterie (z.B. Varta Rechargeable Accu Ready2Use), die in diesem Projekt verwendet wurde, zeigt eine deutliche Abnahme der Spannung über die Zeit. Diese Entladekurve, dargestellt in Grau, verdeutlicht die eingeschränkte Kapazität der Batterie, die bei kontinuierlicher Belastung schnell an Leistungsfähigkeit verliert. Dies trug maßgeblich zur Systeminstabilität bei, da die Batterie nicht in der Lage war, die erforderliche konstante Spannung aufrechtzuerhalten. Gerade beim Wechseln von Funktionen gab es sehr hohe Strompeaks die zum Zusammenbruch der Spannung führten. Die nachfolgende Entladekurve einer typischerweise 9 Volt Block Batterie (z.B. Varta Rechargeable Accu Ready2Use) die verwendet wurde zeigt eine entladekurve in Grau.

XV6008 Spannungsstabilisierung

Der XV6008 ist eine hervorragende Wahl für die Spannungsstabilisierung in deinem Projekt. Dieser einstellbare Spannungsregler kann Ausgangsspannungen zwischen 1,25 V und 37 V stabilisieren und dabei einen Strom von bis zu 1,5 A liefern. Dadurch ist er sehr vielseitig einsetzbar und eignet sich für zahlreiche Anwendungen. Dieser IC (Intrigierter Schaltkreis) kann als kann hervorragend hierfür die Spannungsstabilisierung verwendet werden.

Ein wesentlicher Vorteil des XV6008 liegt in seiner Fähigkeit, Spannungsschwankungen auszugleichen. Selbst bei variierender Eingangsspannung, wie sie beispielsweise durch Laständerungen oder äußere Einflüsse entstehen kann, liefert der Regler eine stabile Ausgangsspannung. Das ist besonders wichtig, wenn du in deinem Projekt Schaltungen verwendest, die empfindlich auf Spannungsänderungen reagieren und eine konstante Spannungsversorgung benötigen.

Darüber hinaus ist der XV6008 besonders energieeffizient. Da er als linearer Regler arbeitet, reduziert er den Stromverbrauch, indem er überschüssige Energie in Wärme umwandelt. Dadurch wird der Stromverbrauch im Vergleich zu weniger effizienten Spannungsreglern gesenkt, was ihn zu einer stromsparenden Lösung für dein Projekt macht.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des XV6008 ist seine Fähigkeit, hohe Temperaturen zu vermeiden. Durch seine Effizienz erzeugt er weniger Wärme, was die Lebensdauer des Reglers verlängert und das Risiko einer Überhitzung minimiert. Dies ist besonders in langfristigen Anwendungen von Vorteil, da die Elektronik über einen längeren Zeitraum stabil und zuverlässig arbeiten kann. Der integrierte Überhitzungsschutz und die Strombegrenzung tragen ebenfalls dazu bei, dass das Gerät vor Überlastungen geschützt ist.

Ein großer Pluspunkt des XV6008 ist zudem die einfache Möglichkeit, die Ausgangsspannung anzupassen. Mit einem Spannungsteiler aus zwei Widerständen oder einem Potentiometer kann die

gewünschte Ausgangsspannung präzise eingestellt werden. Das bietet Flexibilität, insbesondere wenn verschiedene Komponenten unterschiedliche Spannungen benötigen.

Auch der geringe Platzbedarf und die einfache Integration in Schaltungen machen den XV6008 zu einer ausgezeichneten Wahl. Er benötigt nur wenige externe Komponenten, wie Widerstände und Kondensatoren, was die Schaltung kompakt hält und den Regler problemlos in dein Projekt integrieren lässt.

Zusammenfassend bietet der XV6008 eine zuverlässige Spannungsstabilisierung, gleicht Spannungsschwankungen aus, ist stromsparend und vermeidet hohe Temperaturen. Mit seinen vielseitigen Einsatzmöglichkeiten und seiner Flexibilität ist er ideal für dein Projekt, insbesondere wenn eine konstante Spannungsversorgung und langfristige Zuverlässigkeit erforderlich sind.

Dennoch ist klar zu erwähnen das die Dimensionierung der Schaltung und die Inbetriebnahme für dieses Projekt nicht ausgereicht hätte, da nur 10 Tage übrig waren für die Abgabe konnte ich nicht auf diese Lösung ausweichen. Es fehlten die Bauteile zudem blieb keine Zeit für Testphasen und die Inbetriebnahme dieser Spannungsversorgung. Zudem ist das Problem der Kapazität nicht gelöst und spielt daher ein wesentlicher Faktor, da eine andere alternative gesucht werden musste. Schlichtweg ist eine Betriebsdauer von knapp 1 Stunden nicht hinnehmbar.

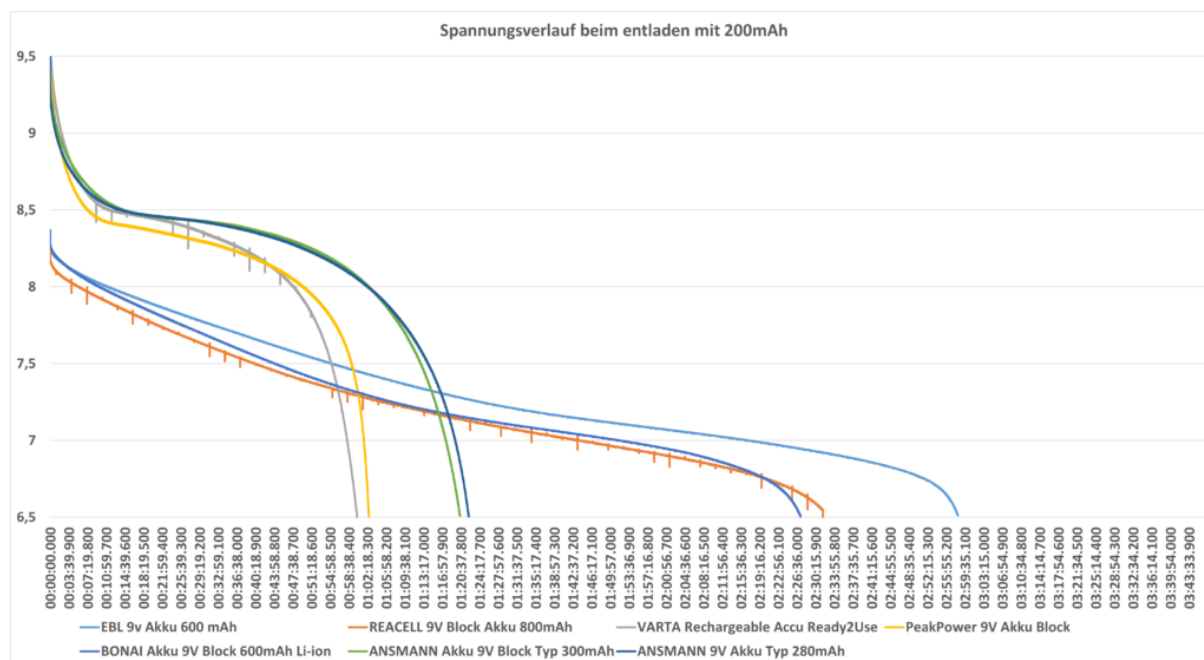


ABBILDUNG 7: ENTLADEKURVE DES 9V-BLOCKS BEI 200MA |GRAU WURDE VERWENDET

Bei Typischerweise eines Entladestroms von 200 mA wird der Akku in knapp 1 Stunde entladen sein, hierbei wurde auch nicht mal die kritische Grenze von 6 Volt Spannungsversorgung in Betracht gezogen was essentiell wichtig ist für die Stabilität des Systems.

7.5 Powerbank



Spezifikation	Details
Kapazität	5000 mAh
Eingangsspannung	5V DC
Eingangsstrom	1 A (Micro-USB)
Ausgangsspannung	5V DC
Ausgangsstrom	2.1 A (max.)
Anschlüsse	1 x USB-A, 1 x Micro-USB
Batterietyp	Lithium-Polymer
Ladezeit	3-4 Stunden
Abmessungen	90 x 33 x 30 mm
Gewicht	120 g
Sicherheitsfunktionen	Überladungsschutz, Kurzschlusschutz, Tiefentladeschutz
LED-Anzeigen	4 LEDs für Ladestandanzeige
Betriebsdauer	Bis zu 18.5 Stunden (bei ca. 271 mA Verbrauch im System)
Farbe	Schwarz

ABBILDUNG 8: POWERBANK UND DIE SPEZIFIKATIONSDATEN

Dank des Step-Up-Konverters werden Spannungsschwankungen, die während des Betriebs auftreten können, besser ausgeglichen, was zur Systemstabilität beiträgt. In Verbindung mit einer 5000mAh-Batterie ermöglicht dieser Aufbau eine Betriebsdauer von etwa 18.5 Stunden, bevor die Batterie wieder aufgeladen werden muss. Diese Laufzeit reicht aus, um das System über einen längeren Zeitraum hinweg autark betreiben zu können. (Digitec, 2017)

$$Ah/A = h$$

$$5000mAh/271mA = 18.45h$$

FORMEL 2: BERECHNUNG DER BETRIEBSDAUER

TABELLE 6: MESSUNG MIT POWERBANK MIT GANZEM SYSTEM

Messungen des Systems mit Powerbank		
Messung	Volt	Strom
Strom Simulation	5 Volt	266 mA
Spannung Simulation	5 Volt	271mA
Messung Strom	5 Volt	245mA
Messung Spannung	5 Volt	232mA
Standby und Ruhe	5 Volt	209mA

Die Powerbank hat den wesentlichen Vorteil, da sie das System für mehrere Stunden stabil hält und dem Gehäuse entnommen und wieder eingesetzt werden kann. Hierfür ist der der Einschub Mechanismus gedacht der bei dem 3D-Druck berücksichtigt worden ist.



ABBILDUNG 9: POWERBANK UND EINSCHUB MECHANISMUS

7.5 Programmierung

Dieser Code implementiert ein Menüsystem auf einem Arduino mit einem OLED-Display und nutzt die Modbus-Kommunikation über ein RS485-Modul. Die Hauptfunktion besteht darin, Spannungen und Ströme entweder zu simulieren oder zu messen. Der Code ermöglicht es, durch ein Menü zu navigieren und bestimmte Simulationen oder Messungen über physische Tasten auszuführen. Hier ist eine detaillierte Beschreibung der Hauptfunktionen:

1. OLED-Display-Initialisierung:

- Das SSD1306 OLED-Display wird mit der Bibliothek U8g2lib initialisiert und für die Anzeige des Menüs sowie der Mess- und Simulationswerte verwendet.
- Die Visualisierung wurde über die App-Lopaka entworfen. (UPIR, 2023) (Photopea, kein Datum)

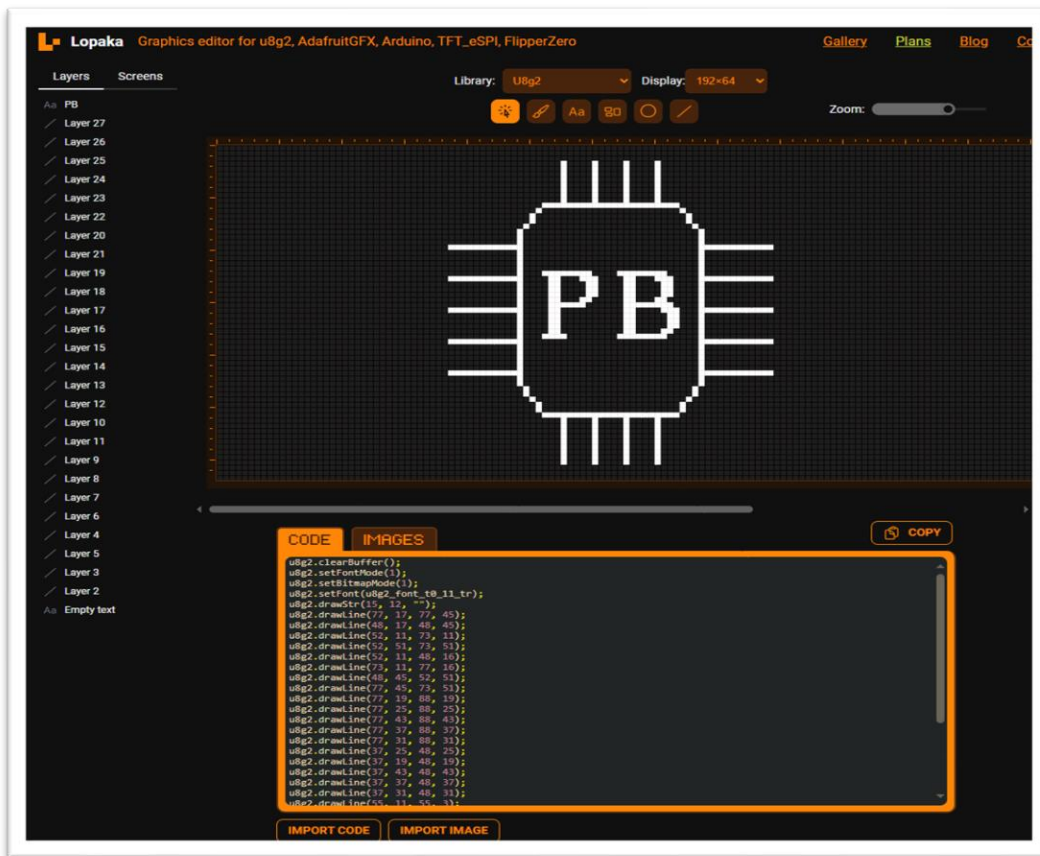


ABBILDUNG 10: LOPAKA|WEBSITE FÜR VISUALISIERUNGEN

2. Modbus-Kommunikation:

- Es wird ein ModbusMaster-Objekt für die Kommunikation über den RS485-Bus verwendet, um Daten mit einem Modbus-fähigen Gerät auszutauschen.
- Die Pins DE und RE werden verwendet, um den RS485-Transceiver in den Send- oder Empfangsmodus zu versetzen. (Arduino Modbusmaster, 2016)

3. Tastensteuerung:

- Drei Tasten sind an den Pins lowButtonPin, highButtonPin und selectButtonPin angeschlossen und ermöglichen die Navigation durch das Menü und die Auswahl von Optionen.
 - Die Tasten werden entprellt, um sicherzustellen, dass eine Eingabe nur einmal verarbeitet wird.
- 4. Menüsystem:**
- Es gibt drei Hauptzustände im Menü:
 - Simulation: Hier können eine Stromsimulation und eine Spannungssimulation durchgeführt werden, wobei die simulierten Werte auf dem Display angezeigt werden.
 - Messung: Hier können Spannungsmessungen und Strommessungen durchgeführt werden. Die gemessenen Werte werden in einem Diagramm als Trendkurve dargestellt.
 - Standby: In diesem Zustand wird lediglich ein Standby-Bildschirm angezeigt.
 - Es gibt Untermenüs, in denen der Benutzer zwischen verschiedenen Optionen wechseln kann.
- 5. Spannungs- und Stromsimulation:**
- Im Simulationsmodus werden Werte über die Modbus-Schnittstelle an das angeschlossene Gerät gesendet. Die simulierten Werte werden auf dem Display angezeigt.
 - Tasteninteraktionen ermöglichen das Erhöhen oder Verringern der simulierten Werte (in Schritten von 1, 10 oder 100 je nach Länge des Tastendrucks).
- 6. Messung von Spannung und Strom:**
- Die gemessenen Werte werden in einem zyklischen Puffer gespeichert und alle 2 Sekunden aktualisiert.
 - Die gemessenen Werte werden dann auf dem Display als Trendkurve dargestellt. Diese Werte kommen von einem Modbus-Gerät, das über RS485 kommuniziert.
 - Das Trending ist nur bei den Messungen zu sehen und hat daher eine separate Codierung.
- 7. Debouncing und Tastenlogik:**
- Die Tasten werden entprellt, um unerwünschte Mehrfachauslösungen zu verhindern. Es gibt außerdem eine Langdruckererkennung, um die Simulationen schneller zu ändern (z. B. 100er-Schritte nach 8 Sekunden gedrückt halten).
- 8. Modbus-Lese- und Schreibfunktionen:**
- readStrommessung und readSpannungsmessung lesen Messwerte über Modbus.
 - writeSimSpannung1 und writeSimStrom1 senden Simulationen über Modbus an das angeschlossene N4DBA06-Modul.

Dieser Code zeigt auf wie die Umsetzung der Funktion zur zum Speicher in die Variablen wandert.

Zusammengefasst implementiert der Code eine Kombination aus Menüsteuerung, Modbus-Kommunikation und einer grafischen Benutzeroberfläche auf einem OLED-Display, um Spannungs- und Stromsimulationen durchzuführen oder Messwerte darzustellen. Die Kommunikation mit externen Geräten erfolgt über RS485 und wird von einem flexiblen Menüsystem gesteuert. (Draw IO, kein Datum)

7.6 Programmstruktur

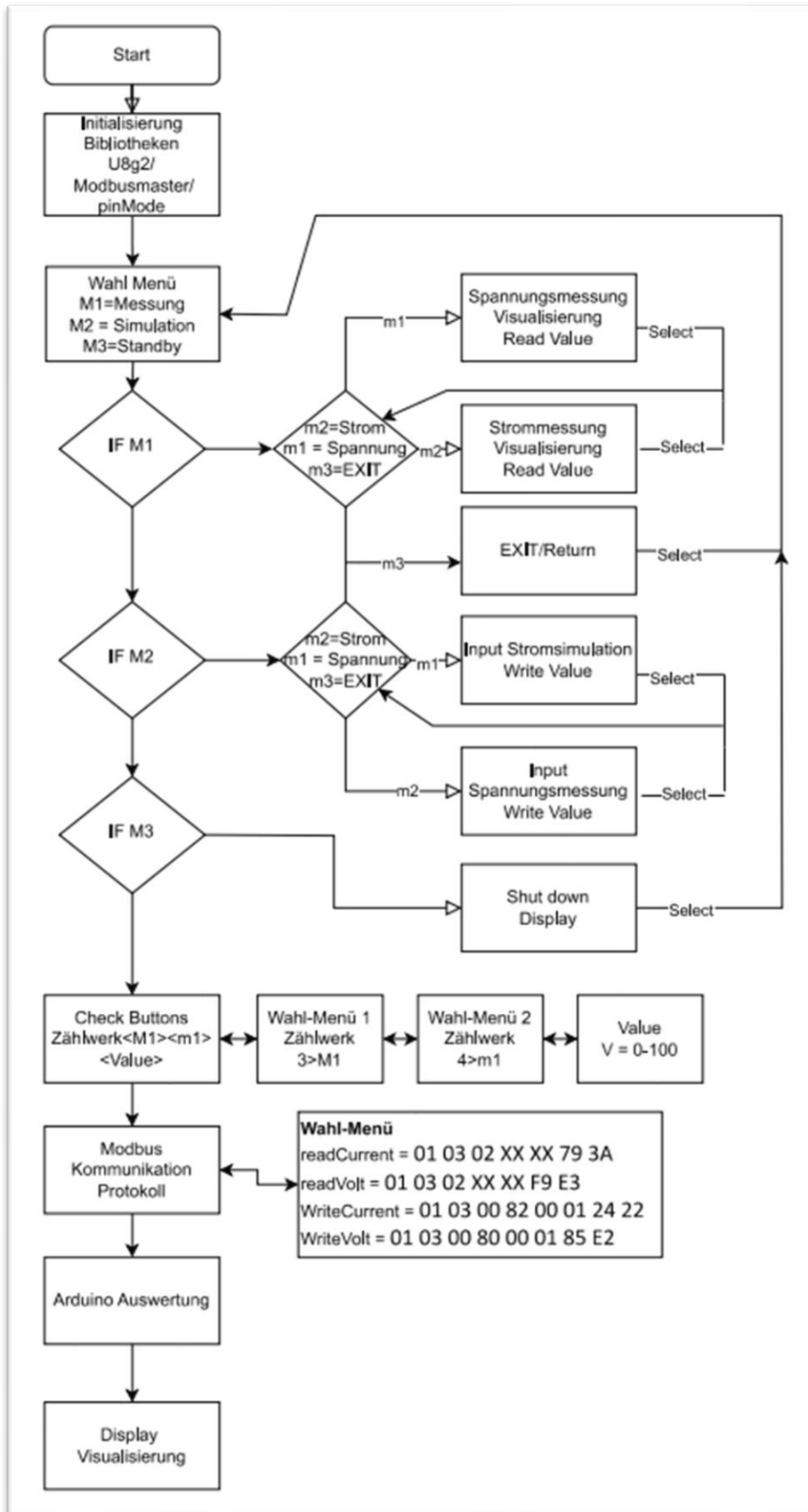


ABBILDUNG 11:PROGRAMMSTRUKTUR

Start und Initialisierung:

- **Start:** Dies ist der Anfangspunkt des Programms.
- **Initialisierung:** Hier werden die erforderlichen Bibliotheken wie ModbusMaster und U8g2 für die OLED-Display-Ansteuerung initialisiert. Außerdem wird pinMode für die Eingangs- und Ausgangspins gesetzt.

Wahlmenü Messung:

- Wahlmenü Messung M1: Dies ist der erste Entscheidungspunkt im Programm. Der Benutzer wählt, ob er Messwerte (Spannung oder Strom) anzeigen oder simulieren möchte.
- Spannung/Strom Messung: Wenn der Benutzer die Messung ausgewählt hat, wird entweder die Spannungsmessung oder die Strommessung durchgeführt.
 - Spannungsmessung Visualisierung: Wenn Spannung ausgewählt wurde, wird die Spannungsmessung gelesen und auf dem Display visualisiert.
 - Strommessung Visualisierung: Wenn Strom ausgewählt wurde, wird die Strommessung gelesen und ebenfalls auf dem Display angezeigt.

Wahlmenü Simulation:

- Wahlmenü Simulation M1: Hier kann der Benutzer zur Simulation von Spannungs- und Stromwerten wechseln.
- Spannung/Strom Simulation: Wenn der Benutzer die Simulation auswählt, wird entweder die Spannungs- oder die Stromsimulation durchgeführt.
 - Input Stromsimulation: Der Benutzer gibt einen Stromwert ein, der dann per Modbus an das angeschlossene Gerät gesendet wird.
 - Input Spannungssimulation: Der Benutzer gibt einen Spannungswert ein, der ebenfalls per Modbus gesendet wird.

Wahlmenü Standby:

- Wahlmenü Standby M1: Dies ist ein weiterer Menüpunkt, bei dem der Benutzer den Standby-Modus aktivieren kann.
 - Shut down Display: Das Display wird abgeschaltet, wenn Standby aktiviert wird.

Button-Überprüfung:

- Check Buttons: Hier werden die Eingaben des Benutzers überprüft, insbesondere die Auswahl durch die Knöpfe oder Taster.
 - Je nach Auswahl werden verschiedene Wahlmenüs (Zählwerke) aktiviert.

Modbus-Kommunikation:

- Modbus Kommunikation Protokoll: Dieser Teil beschreibt, wie die Kommunikation mit dem angeschlossenen Gerät über Modbus erfolgt. Hierbei werden Registerwerte gelesen oder geschrieben:
 - readCurrent: Lese den Stromwert (z.B. Modbus-Befehl 01 03 02 ...).
 - readVolt: Lese den Spannungswert (z.B. Modbus-Befehl 01 03 02 ...).
 - WriteCurrent: Schreibe einen simulierten Stromwert (z.B. Modbus-Befehl 01 03 00 ...).
 - WriteVolt: Schreibe einen simulierten Spannungswert (z.B. Modbus-Befehl 01 03 00 ...).

Arduino Auswertung:

- Arduino Auswertung: Hier erfolgt die eigentliche Auswertung der Modbus-Kommunikation auf der Arduino-Seite. Die erhaltenen oder gesendeten Daten werden weiter verarbeitet und für die Anzeige oder weitere Logik verwendet.

Display Visualisierung:

- Display Visualisierung: Zum Schluss werden die ausgelesenen Messwerte oder simulierten Werte auf dem Display visualisiert, sodass der Benutzer die aktuellen Werte sehen kann.

7.7 Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle in technischen Projekten ist entscheidend, um sicherzustellen, dass die definierten Ziele erreicht wurden. In diesem Projekt war die Messgenauigkeit ein zentrales Ziel und spielte eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung des Simulationsgeräts. Besonders bei Simulationsgeräten, die für industrielle Anwendungen verwendet werden, ist die Genauigkeit von höchster Bedeutung. Sie bildet die Grundlage für die erfolgreiche Durchführung von Kalibrierungen, die Störungssuche sowie die Inbetriebnahme von Systemen.

Bedeutung der Genauigkeit bei Simulationsgeräten

1. Kalibrierung: Simulationsgeräte müssen extrem präzise sein, um sicherzustellen, dass sie die realen Bedingungen exakt nachbilden können. Diese Präzision ist notwendig, um Messgeräte korrekt zu kalibrieren und verlässliche Referenzwerte zu erzeugen.
2. Störungssuche: Eine hohe Genauigkeit hilft dabei, Fehlerquellen in einem System präzise zu identifizieren. Unstimmigkeiten in den Messwerten können auf Störungen oder Defekte in der Hardware hinweisen, die ohne genaue Simulation schwer zu erkennen wären.
3. Inbetriebnahme: Während der Inbetriebnahme neuer Systeme oder Geräte ist eine genaue Simulation entscheidend, um sicherzustellen, dass die installierten Komponenten ordnungsgemäß arbeiten und die erwarteten Spezifikationen erfüllen. Hierbei sorgt die Genauigkeit für einen reibungslosen Übergang von der Planung zur Praxis.

Die Messgenauigkeit des Simulationsgeräts gewährleistet, dass die Ergebnisse verlässlich und reproduzierbar sind, was eine erfolgreiche Implementierung und Wartung in industriellen Prozessen ermöglicht.

Das Nachfolgende Schaubild stellt die prozentuale Abweichung im Verhältnis zur simulierten Spannung dar. Diese Kennlinie soll veranschaulichen wie sich die Abweichung im Verhältnis der simulierten Spannung verhält.

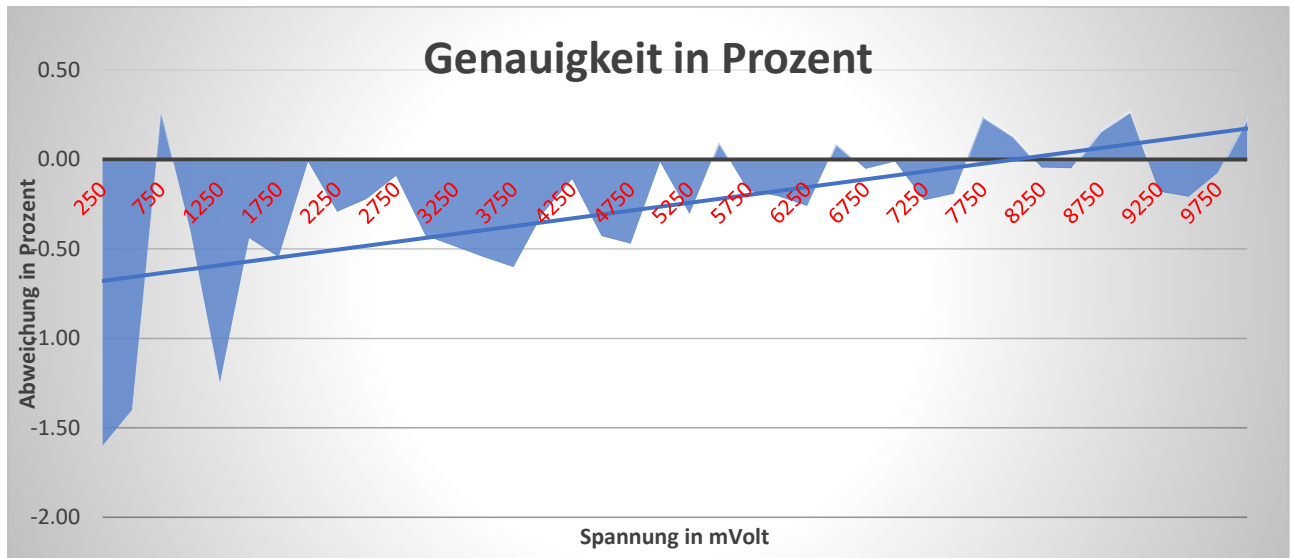


ABBILDUNG 12: GENAUIGKEIT DER SPANNUNG ABWEICHUNG IN PROZENT

Es fällt auf das im niedrigen Spannungsbereich eine größere Abweichung entsteht. Bis zu -1.6% Abweichung im Verhältnis zur simulierten Spannung. Die Trendlinie ist hierbei im Verlaufe der Spannungserhöhung tendenziell nach oben verlaufend.

Im Rahmen der Erfolgskontrolle ist hierbei die Messgenauigkeit nicht erreicht worden und bedarf eine Änderung der Betrachtungsweise.

Was zu grundsätzlichen Überlegung führte die Formel im Verhältnis des Messbereiches von 10 000 mV zu betrachten um die Genauigkeit über das gesamte Verhältnis des Messbereiches zu betrachten.

Da bereits bei 250 mVolt und einer Abweichung von 4 mVolt eine relative Abweichung von 1,6 % entsteht, wurde das Spannungsverhältnis zwischen dem gemessenen und dem eingestellten Wert über den gesamten Messbereich betrachtet. Da insbesondere im unteren Messbereich kleine Änderungen zu relativ großen Abweichungen führen können, wurde das Verhältnis des Messbereichs berücksichtigt, um die Messungen zu standardisieren und eine einheitliche Relation sicherzustellen.

$$Abweichung (-0.04\%) = \frac{100\%}{(Max.mV)10'000mV} * (250mV - 246mV)$$

FORMEL 3: BERECHNUNG ABWEICHUNG IM VERHÄLTNIS DES MESSBEREICHES

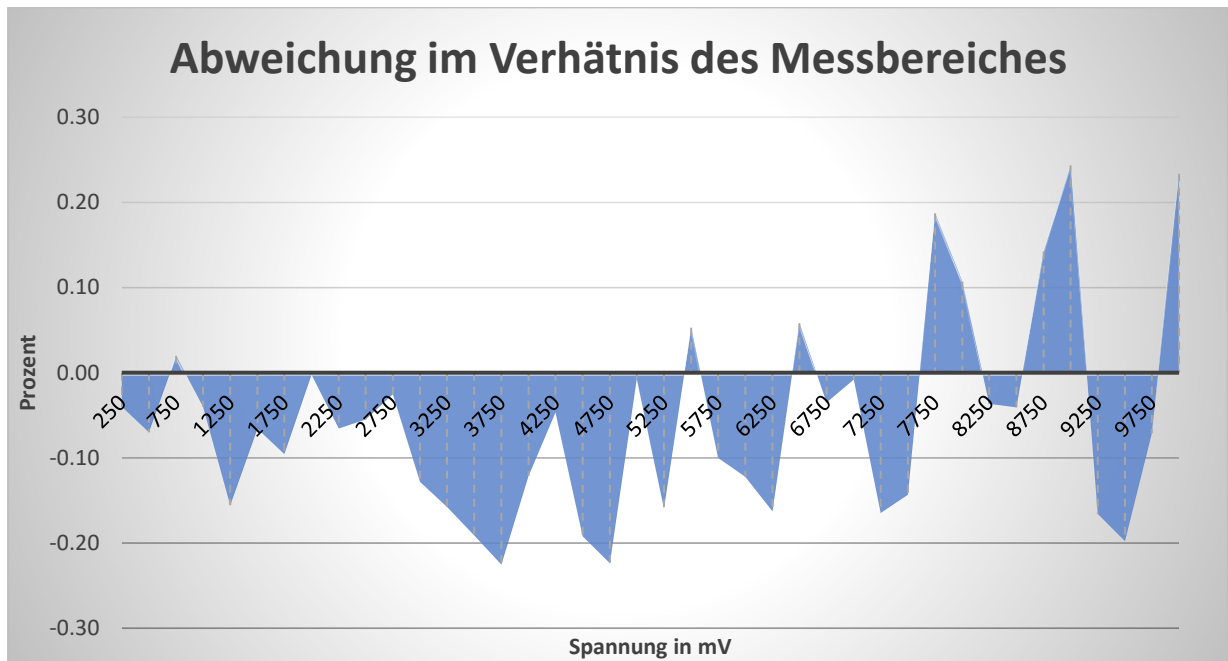


ABBILDUNG 13: ABWEICHUNG IM VERHÄLTNISS DES MESSBEREICHES

Somit ist die Betrachtungsweise im Rahmen des Genauigkeitsspezifikation des Projektzieles erreicht und wir haben eine komplette Betrachtungsweise der Messwerte im Verhältnis des Messbereiches was eine aussagekräftigere Interpretation der Kennlinie zulässt.

Die maximale Abweichung der Messung liegt bei +/-0.23%. Die Maximale Abweichungsschwankung liegt bei -0.20% u. +0.23% und ist innerhalb der gewünschten Genauigkeit.

Da die Genauigkeit des Messgerätes ein wesentlicher Bestandteil des Erfolges der Arbeit darstellt. War die Auswertung der Signale Messung/Simulation der Spannung u. des Stroms ausschlaggebend. Daher hatte diese Art der Auswertung eine nähere Betrachtung verdient. Da dennoch weitere Auswertekurven z.B. des Stroms ähnliche Ergebnisse Produzieren, wurde an dieser Stelle auf weitere Auswertekurven nicht näher eingegangen und bewusst darauf verzichtet. Das Endergebnis der Erkenntnis wurde an dieser Stelle komprimiert und bildlich dargestellt. Der Nachweis ist somit gegeben.

Die nachfolgenden Ziele wurden vollumfänglich erfüllt.

TABELLE 7: ERFOLGSKONTROLLE

ID	Beschreibung	Klassifikation	Kontrolle
R-U1100	Das Gerät muss 4-20 mA aktiv simulieren	MUSS	Erfüllt
R-U1101	Das Gerät muss 0-10 Volt aktiv simulieren	MUSS	Erfüllt
R-U1102	Das Gerät muss 4-20 mA messen können	MUSS	Erfüllt
R-U1103	Das Gerät muss 4-20 mA messen können	MUSS	Erfüllt
R-U1104	Das Gerät muss mobil sein und im Feld einsetzbar	MUSS	Erfüllt
R-F1101	Es muss ein Display haben mit der sich die einzelnen Funktionen ansteuern lassen	MUSS	Erfüllt
R-F1102	Es muss Bedientasten haben mit den sich das Gerät steuern lässt	MUSS	Erfüllt
R-B1100	Es muss eine interne Spannungsversorgung haben um die Mobilität zu gewährleisten	MUSS	Erfüllt
R-Q1100	Das Bedienpersonal muss das Gerät bedienen können ohne Schulung. Es braucht hierzu ein intuitiv zu bedienendes Bedienmenü	MUSS	Erfüllt
R-Q1100	Das Gerät muss eine Genauigkeit von $\pm 0.25\%$ haben	MUSS	Erfüllt
R-Q1101	Es sollte bei der Messung der Signale eine Visualisierung der Kennlinie haben	KANN	Erfüllt
R-B1101	Es sollte Messbuchen haben die Standardisiert sind	KANN	Erfüllt

8.0 Lessons learn

Im Verlauf des Projekts wurden zahlreiche wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt, die den Lernprozess in verschiedenen Bereichen maßgeblich prägten. Zu Beginn stand die Klärung der Projektziele und die Auswahl der geeigneten Hardware im Vordergrund. Hier wurden erste Kenntnisse über das Modbus-Protokoll vertieft, das seit den 1979er Jahren zur zuverlässigen Kommunikation zwischen verschiedenen Komponenten eingesetzt wird. Insbesondere wurde das N4DBA06 Modul über einen Arduino Mega mit über das Busprotokoll angesteuert, wodurch die Grundlage für Bedienbarkeit des Systems gelegt wurde.

Während der Schaltungsaufbau und die Integration der Bedientasten erfolgte, wurde das Verständnis für elektronische Bauteile und deren Dimensionierung vertieft. Allerdings wurde dabei auch klar, dass eine detaillierte Dimensionierung der Bauteile in einem Zeitrahmen von sechs Wochen nicht vollständig möglich war. Ein weiteres Problem, das auftauchte, war der Versand von defekten Bauteilen, was den Arbeitsprozess verlangsamte und eine schnelle Anpassung erforderte. Insbesondere der Spannungsversorgung die mich zwang eine Powerbank zu implementieren da Standard Akkuträger zu Leistungsschwach sind wie zum Beispiel ein 9Volt Block Batterie.

Parallel dazu führte die Arbeit an der Programmierung zu einem tieferen Verständnis der Zustandsmaschine, die es ermöglichte, die Bedienung des Systems durch den Nutzer reibungslos und intuitiv zu gestalten. Die Modbus-Master-Bibliothek spielte dabei eine wesentliche Rolle. Das Modbus-Protokoll, erwies sich als äußerst vielseitig und flexibel. Es ermöglichte die effektive Kommunikation zwischen den verschiedenen Systemkomponenten, und das Verstehen dieser Bibliothek war ein entscheidender Schritt für die erfolgreiche Integration des Protokolls.

Zum Schluss des Projektes tauchten einige Themen die bereits als abgeschlossen galten erneut auf. Die Spannungsversorgung stellte sich als ein wichtiger Lernaspekt heraus. Die Berechnung des Energiebedarfs für die Batterie war eine Herausforderung, die zeigte, wie kritisch die richtige Spannungsversorgung für die stabile Funktion des gesamten Systems ist. Diese Erfahrung war besonders lehrreich, da es eine tiefe Auseinandersetzung mit der benötigten Leistung und den möglichen Kapazitäten erforderte.

Zusätzlich wurde im Projekt das Design eines Gehäuses in einem 3D-Modell entworfen und anschließend mit einem 3D-Drucker realisiert. Dabei wurde der Akkuträger bei dem Gehäuse Design speziell betrachtet und auswechselbar im System implementiert. Dieser praktische Aspekt des Projekts ermöglichte es, die Bedeutung des Designs in Verbindung mit der Funktionalität zu verstehen und wie man verschiedene Hardwarekomponenten optimal in ein physisches Gehäuse integriert.

Die Visualisierung von Daten spielte eine nebensächliche Rolle im Projekt, insbesondere die Darstellung von Trends und Entwicklungen in Echtzeit auf dem OLED-Display. Diese Fähigkeit zur Darstellung von Trending-Daten ermöglichte es, das System nicht nur zu bedienen, sondern auch Rückmeldungen über den aktuellen Status und Änderungen in den Parametern zu erhalten. Dies trug entscheidend zur Benutzerfreundlichkeit bei obwohl es ursprünglich nicht vorgesehen war, hielt ich dies für eine gute Idee.

Eine weitere Schlüsselkompetenz, die im Laufe des Projekts erworben wurde, war die Erkenntnis über die Kombinierbarkeit verschiedener Systeme und deren Ansteuerung. Die erfolgreiche Integration mehrerer Komponenten wie der Spannungsversorgung, des Displays, der Steuerungseinheit und der Kommunikationsprotokolle zeigte, wie wichtig es ist, die einzelnen Teile eines Systems nicht isoliert, sondern als zusammenhängende Einheit zu betrachten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Projekt nicht nur ein tiefes technisches Verständnis in Bereichen wie dem Modbus-Protokoll, der Zustandsmaschinen-Logik, der Spannungsversorgung und der Systemintegration vermittelt hat, sondern auch praktische Fähigkeiten wie das Design von Gehäusen, das Testen von Hardware und die Problemlösung bei defekten Bauteilen. Die gewonnenen Erfahrungen sind eine wertvolle Grundlage für zukünftige technische Herausforderungen.

9.0 persönliches Schlusswort

Das Projekt stellte eine anspruchsvolle, aber äußerst lehrreiche Erfahrung dar, die mich vor vielfältige Herausforderungen stellte. Die anfänglichen Ziele, wie die Implementierung der 4-20 mA und 0-10 Volt Simulation und Messung, konnten erfolgreich umgesetzt werden, was ein bedeutender Erfolg war. Insbesondere die Arbeit mit dem Modbus-Protokoll und die Anwendung der Zustandsmaschine halfen mir, ein tiefes Verständnis für die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen zu entwickeln. Es zeigte sich aber auch, dass solche Technologien, die seit den 1960er Jahren in Einsatz sind, immer noch hochaktuell und anpassungsfähig sind.

Ein großes Erfolgserlebnis war die Bedienbarkeit des Geräts. Die Integration des OLED-Displays und die Steuerung über die Bedientasten stellten sicher, dass das System auch ohne spezielle Schulung leicht verständlich und intuitiv nutzbar war. Die Visualisierung der Messwerte und die Darstellung von Trends lieferten klare und übersichtliche Rückmeldungen für den Benutzer.

Jedoch war der Weg nicht ohne Schwierigkeiten. Ein wiederkehrendes Problem war die Spannungsversorgung. Zwar wurde das Gerät erfolgreich mobil gestaltet, jedoch fehlte die Implementierung einer Batterieanzeige, die rechtzeitig über niedrige Batteriestände informiert. Diese Option wurde aufgrund des Zeitmangels nicht realisiert, obwohl sie im weiteren Verlauf sehr hilfreich gewesen wäre.

Auch das Design und die Umsetzung einiger physischer Komponenten, wie der 3D-gedruckten Gehäuse, verliefen nicht ohne Rückschläge. Defekt gelieferte Bauteile und die kurze Zeitspanne führten dazu, dass einige Bauteile improvisiert oder angepasst werden mussten. Ebenso stellte sich heraus, dass die Dimensionierung der elektronischen Komponenten für ein solches Projekt deutlich mehr Zeit und Sorgfalt benötigt, als ursprünglich angenommen.

Die Idee eine eigene Schaltung zu entwerfen für die Simulationen wurde daher schnell verworfen, da ich in Anbetracht von einem Zeitrahmen von 6 Wochen dies nicht für realistisch hielt. Daher fand ich es naheliegender auf eine Komponentenbauweise auszuweichen und mich mit dieser Arbeit mehr auf die Kommunikation der Komponenten, sowie dessen Programmierung zu spezialisieren.

Trotz dieser Hürden war das Projekt insgesamt eine wertvolle Lernphase. Ich habe nicht nur technisches Wissen erworben, sondern auch die Fähigkeit weiterentwickelt, Probleme schnell zu analysieren und pragmatische Lösungen zu finden. Die Erfahrung hat meinen Blick für die Komplexität technischer Projekte geschärft, insbesondere wenn es um die Integration verschiedener Systeme und Technologien geht. Letztlich hat mich dieses Projekt in vielerlei Hinsicht gestärkt und motiviert, zukünftige Herausforderungen mit noch mehr Engagement und Durchhaltevermögen anzugehen.

9.1 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel [Entwicklung eines Simulationsgerätes zum Testen von Steuerprogrammierbaren Steuerungen] selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Sämtliche verwendeten Quellen und Hilfsmittel sind vollständig angegeben.

Mir ist bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen kann und die Arbeit als nicht bestanden bewertet wird.

**Pratteln,
Pascal Beck**

24.09.2024

10.0 Quellenangabe

[SBS Pocket Power Bank 5000 mAh \(5000 mAh, 18.50 Wh\) - digitec](#)

[Draw IO Diagramm Hardware.drawio - draw.io \(diagrams.net\)](#)

<https://www.photopea.com/>

<https://lopaka.app/>

<https://wokwi.com/projects/372481402319579137>

[Microsoft Word - Doku Modbus.doc \(wachendorff-prozesstechnik.de\)](#)

[Fingerprint Scanner TTL - Arduino Reference](#)

[modbus master library - Arduino Search](#)

https://www.youtube.com/watch?v=Eyvzw_ujcS0&ab_channel=upir

<https://github.com/budulinek/arduino-modbus-rtu-tcp-gateway>

[U8g2 - Arduino Reference](#)<https://www.youtube.com/watch?v=zrT1bVjxHdk&t=1700s>

[Modbus – Wikipedia](#)

10.1 Literaturverzeichnis

Arduino Modbusmaster. (2016). Von

https://search.arduino.cc/search?tab=&q=modbus+master+library&_gl=1*12rwo3h*_gcl_au*M Tg0NzY5NzA0MC4xNzI2NTcxMjU4*FPAU*MTg0NzY5NzA0MC4xNzI2NTcxMjU4*_ga*OTMw MjE0NDI1LjE3MTY3NDQ0ODA.*_ga_NEXN8H46L5*MTcyNjU3MTI1Ny4xMy4wLjE3MjY1Nz EyNjluMC4wLjc1NDY0OTUwOA..*_fp abgerufen

Arduino, TTI-Kommunikation. (2024). Von <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/u8g2/> abgerufen

Digitec. (2017). *Powerbank*. Von https://www.wachendorff-prozesstechnik.de/fileadmin/wp/files/technical_notes/TN_0302_Grundlagen_Modbus.pdf abgerufen

Draw IO. (kein Datum). Von <https://app.diagrams.net/?src=about> abgerufen

Lopaka. (kein Datum). Von <https://lopaka.app/sandbox> abgerufen

Modbusbibliothek, A. (2024). Von <https://github.com/budulinek/arduino-modbus-rtu-tcp-gateway> abgerufen

Peter, H. (2023). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Modbus> abgerufen

Photopea. (kein Datum). Von <https://www.photopea.com/> abgerufen

UPIR. (2023). *OLED Display 2.42 Zoll*. Von https://www.youtube.com/watch?v=Eyvzw_ujcS0 abgerufen

Wachendorf, P. (kein Datum). <https://www.wachendorff-prozesstechnik.de>. Von https://www.wachendorff-prozesstechnik.de/fileadmin/wp/files/technical_notes/TN_0302_Grundlagen_Modbus.pdf abgerufen

Wokwi. (kein Datum). Von <https://wokwi.com/projects/372481402319579137> abgerufen

10.2 Pflichtenheft

Ist beigefügt im Anhang.