

---

# Bachelorarbeit

## Software zur Steuerung eines Synchrongenerators und dessen Antriebs

Studiengang Elektrotechnik - Elektrische Energietechnik  
an der Fakultät für Informations-, Medien- und Elektrotechnik  
der Technischen Hochschule Köln

vorgelegt von  
Yavuz Acar  
Matrikelnummer: 11107353

Eingereicht bei  
Prof.Dr.-Ing. Eberhard Waffenschmidt

Zweitgutachter  
Prof.Dr.Wolfgang Evers

Köln, den 17. März 2022



Cologne Institute for  
Renewable Energy

**Technology**  
**Arts Sciences**  
**TH Köln**

## Erklärung

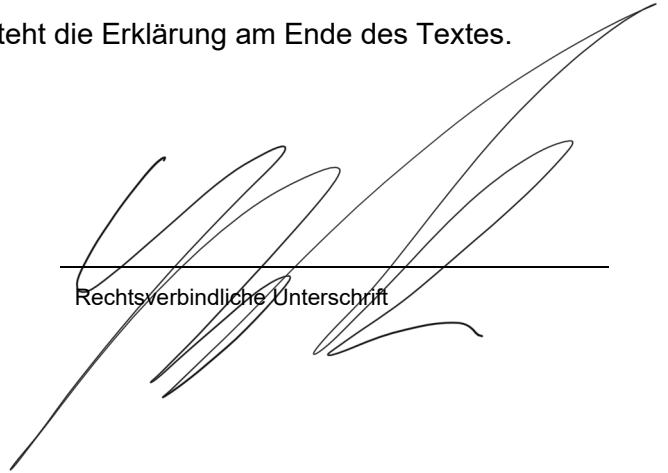
Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer oder der Verfasserin/des Verfassers selbst entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Anmerkung: In einigen Studiengängen steht die Erklärung am Ende des Textes.

Köln, 17.03.2022

Ort, Datum

Rechtsverbindliche Unterschrift

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

## Danksagung

Ich möchte allen Menschen danken, die mir bei dieser Bachelorarbeit zur Seite standen.

Mein Dank gilt besonders an Herrn Prof. Dr. Waffenschmidt, der diese Arbeit erst ermöglicht hat. Denn er stand mir bei Problemen immer zur Verfügung und gab wegweisende Ratschläge und konstruktive Kritik bei schwierigen Fragestellungen und ihren Problemlösungen.

Weiterhin möchte ich mich auch bei meinem Korreferenten Herrn Prof. Dr. Wolfgang Evers bedanken, der ebenfalls meine Arbeit mitbetreut hat.

Danken möchte ich auch Herrn Jochen Reichert, M.Sc., dem Wissenschaftlicher Mitarbeiter Herrn Christian Hotz, B.Sc.,

Bedanken möchte ich mich bei allen Professoren und Mitarbeiter der technischen Hochschule, die mich bei meinem Weg durch das Studium begleitet haben.

Ich möchte meinen Freunden, Kommilitonen und meiner Lerngruppe danken, die mich unterstützt und für ein gutes Arbeitsumfeld während meines Studiums gesorgt haben.

An dieser Stelle gilt mein äußerster Dank vor allem meiner Familie, die mein Studium erst ermöglicht hat und mir bei der Erstellung dieser Arbeit liebevoll und geduldig zur Seite stand.

Abschließend möchte ich zwei Menschen danken, die mir in meinem Leben sehr wichtig sind. Als erster mein Opa. Er war immer für mich da und gab mir die Kraft weiterzumachen. Mein Großvater wollte immer, dass ich mein Studium abschließe. Zweitens danke ich meinem Onkel. Er hat mich auf dem Weg zu meinem Leben, dem Weg zu meinem Studium und darüber hinausbegleitet. Ohne sie wäre ich nirgendwo gewesen.

## Kurzfassung

In dieser Bachelorarbeit wird für ein Labornetzteil eine Software entwickelt, die für Software zur Steuerung eines Synchrongenerators und dessen Antriebs dienen soll, welches für Laborversuche verwendbar ist. Die Bachelorarbeit ist eine Fortsetzung und Weiterentwicklung des von mir im September 2021 durchgeführten Praxisprojekts zur „Umbau eines Synchrongenerators & Prüfen auf Funktionalität“. In dem Praxisprojekt wurde ein dreiphasiger Drehstrom-Synchrongenerator der Firma ROTEK umgebaut und dessen Funktion geprüft. Das Labornetzteil der Firma EA Automatik wurde als Spannungsquelle genutzt. In der Bachelorarbeit wurde mit der graphischen Programmiersprache LabVIEW eine Software geschrieben, die den Ausgangsspannung regelt. Des Weiteren beinhaltet die entwickelte Software alle notwendigen Konfigurationseinstellungen für die Schnittstelle. Die Software beinhaltet auch Funktionen wie Messüberwachung, Datenverarbeitung und Spannungsregelung. Die aufgenommenen Werte werden gespeichert und in einem Signaldiagramm ausgegeben. Die Software arbeitet parallel mit der von einem Masterstudent gefertigte Software, die auch mit LabVIEW programmiert wurde. Diese Software dient zur Ansteuerung von Asynchronmaschinen, die an Synchrongeneratoren angeschlossen sind. Beide Softwareprogramme werden gleichzeitig gestartet und verwendet. Ergebnisse konnten aufgrund technischer Probleme mit der Laborstromversorgung nicht erfasst werden. Eine ausführliche Erläuterung erfolgt in der Zusammenfassung.

## Abstract

In this bachelor's thesis a software is developed for a laboratory power supply, which is intended to be used for software to control a synchronous generator and its drive, which can be used for laboratory tests. The Bachelor's thesis is a continuation and further development of the practical project I carried out in September 2021 on the "Conversion of a Synchronous Generator & Testing for Functionality." In the practical project, a three-phase three-phase synchronous generator from ROTEK was converted and its function tested. The laboratory power supply of EA Automatik was used as a voltage source. In the bachelor's thesis, software was written with the graphical programming language LabVIEW, which regulates the output voltage. Furthermore, the developed software includes all necessary configuration settings for the interface. The software also includes functions such as measurement monitoring, data processing and voltage regulation. The recorded values are saved and displayed in a signal diagram. The software works in parallel with the software produced by a master student, which was also programmed with LabVIEW. This software is used to control asynchronous machines connected to synchronous generators. Both software programs are started and used at the same time. Results could not be recorded due to technical problems with the laboratory power supply. A detailed explanation is given in the summary.

# Inhalt

<b>Erklärung</b> .....	<b>I</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>II</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>IV</b>
<b>Inhalt</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	2
1.2 Aufgabenstellung .....	3
<b>2 Stand der Technik</b> .....	<b>4</b>
<b>3 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
3.1 Antriebstechnik .....	5
3.2 Entwicklungsumgebung .....	7
3.2.1 Grundlagen .....	7
3.2.2 Startbildschirm .....	7
3.2.3 Frontpanel.....	8
3.2.4 Blockdiagramm .....	9
<b>4 Antriebssystem</b> .....	<b>11</b>
4.1 Gesamtüberblick zum Antriebssystem .....	11
4.2 Antriebssteuerung.....	12
4.3 Schaltschrank .....	13
4.4 Asynchronmaschine.....	15
4.5 Lastwiderstand.....	16
4.6 UMD 98 Gerät.....	18
4.7 Labornetzteil .....	19
<b>5 Anwendersteuerung</b> .....	<b>20</b>
5.1 Bedienoberfläche der Antriebsmaschine .....	20
5.2 Problembehebung bei Inbetriebnahme .....	21
5.3 Bedienoberfläche der Regelung.....	23
5.3.1 Programmablaufplan.....	24
<b>6 Software-Programm</b> .....	<b>27</b>
6.1 Schleife-UMD.....	28
6.2 Schleife-Regelung.....	30

6.2.1 Unterdiagramm Init .....	31
6.2.2 Unterdiagramm Set Schutzwerte .....	32
6.2.3 Unterdiagramm Event .....	33
6.2.4 Unterdiagramm Auto .....	36
6.2.5 Unterdiagramm Man .....	37
6.2.6 Unterdiagramm Error .....	38
6.2.7 Unterdiagramm Close .....	39
<b>7 Fazit .....</b>	<b>40</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>43</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>44</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>45</b>

# 1 Einleitung

Die Spannung in Energieversorgungsnetzen kann je nach Netzlastsituation variieren. Um diese Schwankungen zu kompensieren, wird die Spannung in einem Stromnetz konstant gehalten mit Hilfe eines Spannungsreglers. Ohne richtige Regelung der Spannung würde die Spannung stark schwanken.

In Wechselspannungs- bzw. bei Drehstromnetzen sollte die Frequenz des Netzes in engen Grenzen gehalten werden. Die meisten Kraftwerke im Stromnetz enthalten Synchrongeneratoren mit einem starren Verhältnis zwischen Drehzahl und Netzfrequenz. Bei der Frequenzwartung besteht die Hauptsache darin, die Geschwindigkeit all dieser Maschinen, die synchron laufen, konstant zu halten.

Wenn die Belastung im Netz unerwartet ansteigt, die aktuell von allen Kraftwerken gelieferte Leistung überschreitet, bewirkt ein leichtes Abbremsen der Generatoren und damit zu einer Reduzierung der Netzfrequenz. Das gleiche passiert, wenn die Einspeisung unerwartet abfällt, z.B. durch den unerwarteten Ausfall eines Kraftwerks. Umgekehrt erhöht sich die Netzfrequenz, wenn die Einspeisung höher ist als erwartet oder bei geringer Last.

Aus verschiedenen Gründen sind einige unvorhersehbare Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch im Netz unvermeidlich. Trotz der ausgleichenden Wirkung der Vielzahl von Erzeugern und Verbrauchern sind diese Unsicherheiten so groß, dass aktive Eingriffe notwendig sind, um die Netzfrequenz ausreichend stabil zu halten. Daher ist eine aktive Regelung mit Beiträgen nach den jeweiligen Zeitskalen erforderlich. Für diese Regelung ist eine Regelenergie erforderlich. Wenn die Netzfrequenz zu niedrig ist, ist eine zusätzliche Einspeisung oder eine Reduzierung der Netzlast erforderlich. Beides wird als positive Regelenergie bezeichnet. Bei zu hoher Netzfrequenz wird die Einspeisung reduziert oder die Netzbelastung erhöht. Regelenergie wird zu möglichst geringen Kosten bezogen, wobei je nach Situation unterschiedliche Quellen genutzt werden können.

Für die Netzregelung sind die Übertragungsnetzbetreiber zuständig. Sie stellen die notwendige Regelenergie bereit, initiieren technische Messungen in Kraftwerken und koordinieren alle damit verbundenen Aktivitäten. In Deutschland gibt es nur vier große Übertragungsnetzbetreiber und sie sind jeweils für eine Regelzone verantwortlich. Allerdings überschneiden sich die Zuständigkeiten in Bezug auf die Primärregelung teilweise, da die Netzfrequenz im gesamten Verbundnetz einheitlich ist.

Die von einem typischen Generator gelieferte elektrische Spannung ist als Frequenz proportional zu seiner Drehzahl. Allerdings besteht praktisch kein Zusammenhang zwischen der Frequenz- und Spannungshaltung in Stromnetzen. Zunächst einmal hängt die von einem Generator gelieferte Spannung auch von der Strombelastung sowie von der Stärke der Erregung ab. Außerdem kann die Spannung innerhalb von Stromnetzen stark schwanken - auf längeren Leitungen können große Spannungsabfälle auftreten. Bei den



üblichen Wechselstromnetzen gibt es außerdem kompliziertere zusätzliche Effekte im Zusammenhang mit Blindstrom. Die Aufrechterhaltung der Spannung muss daher nicht nur über Kraftwerke, sondern auch über Messungen im Netz, insbesondere im Zusammenhang mit der Erzeugung oder Kompensation von Blindstrom, teilweise auch steuerbar Transformer. [2]

## 1.1 Motivation

Die internationale Norm IEC 60038 legt fest, dass die Spannung von einphasigen und dreiphasigen Netzen um 10% von der Nennspannung abweichen kann. Einphasige Lasten sollten daher in einem Bereich von 207 bis 253 Volt sicher betrieben werden. Gleiches gilt für dreiphasige Geräte mit Spannungstoleranzen von 360 bis 440 Volt. Dabei müssen die elektrischen Betriebsmittel so ausgelegt sein, dass sie ihre Nennwerte immer bei der minimal zulässigen Spannung erreichen und die thermische Belastung bei der maximal zulässigen Spannung nicht überschritten wird. Dies führt zu dem Ansatz, Verbraucher nur die Spannung zu Verfügung zu stellen, die sie tatsächlich für die Stromerzeugung benötigen.

Mit Inkrafttreten der Energiewende erhöht sich die Zahl der Einspeisepunkte, die bei ursprünglich nur in eine Richtung gab, nämlich vom Kraftwerk zur Steckdose. Um ein Netz mit Strom versorgen zu können, muss die Versorgungsspannung größer als die Vorhandene Netzspannung sein. Mit der Zunahme der Anzahl und der Dichte der Einspeisepunkte sorgt die Gesetzmäßigkeit für eine Netzspannung deutlich oberhalb des Mittelwertes. Spannungsregelungssysteme können diese unnötig hohe Spannung auf einen definierten Schwellenwert absenken.

All diese Möglichkeiten haben Energieeffizienzpotenziale bis zu 10 Prozent.[3]

Spannungsregler stabilisieren die Betriebsspannungen elektrischer Schaltungen. Regelmäßige Ausgangsspannungen von Transformatoren oder Gleichrichtern haben oft eine Restwelligkeit, die in vielen Anwendungen beseitigt werden muss. Spannungsregler wandeln diese schwankenden Spannungen in einen konstanten und stabilisierten Ausgang um. Spannungsregler nehmen eine Eingangsspannung auf und wandeln sie in eine feste Ausgangsspannung um. Diese wird gegenüber einer sogenannten Referenzspannung verglichen. Wenn sich die Eingangsspannung ändert, sorgt der Spannungsregler für das Durchleitungsgerät, um die Ausgangsspannung stabil zu halten. Bei Linearregler wird ein Leistungstransistor verwendet, der ähnlich wie ein differenzieller Widerstand arbeitet. Um das Spannungslevel zu stabilisieren, wird bei Abweichungen die Differenz der Ausgangsspannung und Sollwert zurück zum Leistungstransistor zugeführt. Schaltregler verwenden ebenfalls einen Leistungstransistor, bei dem mit der Frequenz ein- und ausgeschaltet wird, um den Wirkungsgrad so hoch wie möglich zu halten. Das Ziel der Wechselspannungsregler ist eine Stabilisierung des Stromes mithilfe von

Stelltransformatoren, deren Übersetzungsverhältnis während des Betriebs verändert werden kann. [4]

## 1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Kraftwerkssimulationen in Form von anwendergesteuerten Antriebssträngen erstellt, die zukünftig im Labor zur Verfügung stehen werden. Diese Bachelorarbeit ist eine Erweiterung des Praxisprojekts „Umbau eines Synchrongenerators und Prüfen auf Funktionalität“.

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Regelung der Ausgangsspannung von Synchrongeneratoren. Bei der Regelung der Ausgangsspannung wird das Erregersystem des Synchrongenerators durch Änderung von Strom und Spannung beeinflusst.

Im Praxisprojekt fungierte das Labornetzteil PSI 920025 T als Spannungsquelle und betrieb einen Synchrongenerator. Die Laborleistung wurde manuell über das Display des Geräts gesteuert.

Für das Labornetzteil soll eine Fernsteuerung programmiert, um den Erregerstrom einzustellen. Die Fernsteuerung wird mit der grafischen Programmiersprache LabVIEW programmiert. Die Ausgangsspannung ist für Regelgröße. Die Fernsteuerung sollte in der Lage sein, die Ausgangsspannung zu messen. Die Ausgangsspannung wird angepasst, wenn die Spannung zu hoch oder zu niedrig ist. Dafür ist die Steuerung programmiert. Grenzwerte, Schutzfunktionen und Abweichungen sollen einstellbar sein. Abweichungen werden in Prozent angezeigt. Ein Schalter soll programmiert werden, mit dem der Anwender von automatischer Steuerung auf manuelle Steuerung umschalten kann. Bei der manuellen Bedienung soll der Anwender Spannung, Strom und Leistung mit der Fernsteuerung ändern. Der Regler wird in der automatischen Bedienung verwendet werden.

## 2 Stand der Technik

Um die Wartung und Leistung eines Generatorsystems zu verbessern, wurden mehrere Studien an einem Erregungssteuerungssystem des Generators durchgeführt. Die meisten herkömmlichen Synchrongeneratoren für Industrie- oder Schiffsanwendungen verwendeten einen Thyristor-Steuergleichrichter (TCR) zur Steuerung der Ausgangsspannung. Der TCR wurde bereits in vielen Schiffen verbaut. Im Gegensatz zur Langzeitverwendung gibt es jedoch Nachteile einer Absenkleistung und einer Charakteristik von plötzlichen Lastschwankungen und Übergangsreaktionen aufgrund der Schwierigkeit, die Verstärkungen des Reglers zu ändern. Außerdem ist es für den analogen AVR schwierig, verschiedene Generatorsteuerfunktionen zu implementieren, so dass er außer der Statik Steuerung kaum eine besondere Funktion hat. Mit der Entwicklung der IT-Technologie wurde in letzter Zeit ein digitaler AVR benötigt, der den Status aller auf Schiffen verwendeten Ausrüstungen aus der Ferne überwachen oder direkt steuern kann.

Das öffentliche Stromnetz lässt eine Spannungsabweichung von ca.  $\pm 10\%$  zu, jedoch automatische Generatoren Spannungsregelung der AVR (Automatic Voltage Regulation) erreicht eine Regelgenauigkeit der Ausgangsspannung von  $\pm 1-12\%$ . Der AVR ist mit einem Potentiometer zum Einstellen der Ausgangsspannung, des Regelbetriebs (Reduzierung des Überschwingens) und der Generatorfrequenz ausgestattet. AVR (Automatic Voltage Adjustment) hält die vom Generator erzeugte Ausgangsspannung unter statischen Bedingungen nahezu konstant und gleicht Spannungsänderungen schnell aus. Der Regler ist mit der Ausgangsphase des Generators verbunden und regelt die Spannung zum angeschlossenen Stromverbraucher. Die Ausgangsspannung sinkt beim Zuschalten weiterer Verbraucher oder bei steigender Last. Der Erregerwicklung des Generators wird Gleichstrom zugeführt, um Spannungsänderungen auszugleichen. Dies erhöht die magnetische Erregung des Generatorrotors. Die Spannung der Ausgangsphase wird vom AVR verstärkt und auf die Nennspannung eingestellt.

Die AVR-Steuerung minimiert Spannungsschwankungen bei Lastwechseln, reduziert Spannungsspitzen und garantiert eine konstante und stabile Generatorleistung. Die angeschlossene Last profitiert von der hervorragenden Stromqualität, die mit der AVR-Steuerung erreicht wird. Daher ist ein Generator mit AVR-Steuerung am besten für sensible Operationen geeignet. Elektronik und Hochleistungsverbraucher. Viele ELMAG®-Generatoren verfügen standardmäßig über eine AVR-Steuerung oder können mit einer AVR-Steuerung nachgerüstet werden.

AVR-Regelung für Stromerzeuger mit einer elektrischen Leistung von 4 bis 8 kVA bzw. von 10 bis 15 kVA. Mit Absicherung gegen Überlast und gegen fehlenden oder falschen Sensoranschluss. Mit Unterfrequenzerkennung und Frequenzkompensation. Startfertig montiert und eingestellt (nicht nachrüstbar). Die Anwendungsgebiete der AVR sind zum Beispiel Empfindliche Verbraucher (Heizungssteuerungen, usw.), stark schwankende

Belastungen, Frequenzumrichter, Fütterungsanlagen, Robotersysteme, Notstromanlagen. [5]

## 3 Theoretische Grundlagen

### 3.1 Antriebstechnik

Die Aufgabe des Antriebs ist es, Bewegung zu erzeugen. Der Motor ist die wichtigste Komponente des Antriebs. Es liefert die für eine lineare Bewegung erforderliche Kraft oder das für eine Drehbewegung erforderliche Drehmoment. Dazu wird dem Motor Energie zugeführt und innerhalb des Motors in mechanische Energie umgewandelt. Bei der Energieumwandlung werden verschiedene physikalische Effekte genutzt. Übertragungskräfte oder Drehmomente müssen übertragen und/oder umgewandelt werden, was oft mechanisch angetriebene Elemente erfordert. Im Getriebe beeinflussen sich Motor und hinter dem Motor angeordnete mechanische Antriebselemente gegenseitig. Um dieses Gesamtsystem zu optimieren, sind Kenntnisse sowohl im Maschinenbau als auch in der Elektrotechnik erforderlich.

Elektrische Maschinen werden in Motoren und Generatoren unterteilt. Motoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um. Sie liefern eine Kraft oder ein Drehmoment, um die Bewegung einer Masse zu steuern. Im Gegensatz zu Motoren wandeln Generatoren mechanische Energie in elektrische Energie um. Die wichtigste Anwendung von Generatoren ist die Stromerzeugung in Kraftwerken. In den meisten Kraftwerkstypen wird zunächst mechanische Energie durch Wasser- oder Dampfturbinen erzeugt und anschließend in elektrische Energie umgewandelt.

Im einfachsten Fall wird der Elektromotor zur Lösung der Antriebsaufgabe an ein vorhandenes Spannungsnetz angeschlossen. Wenn der Prozess ein anderes Drehmoment oder eine andere Drehzahl erfordert als ein mechanisch angetriebenes Element wie ein Elektromotor, z. B. ein nachgeschaltetes Getriebe. Die einzige Steuerungsoption ist eingeschaltet. oder Motorabschaltung. Die Drehzahl oder Geschwindigkeit wird entsprechend dem Drehmoment oder der Leistungslast des Motors eingestellt. Diese Antriebe werden als Antriebe mit fester Drehzahl bezeichnet, da die Motordrehzahl während der Konstruktion bestimmt wird. Antriebe mit variabler Drehzahl, auch bekannt als Antriebe mit veränderlicher Drehzahl, können ihre Drehzahl während des Betriebs ändern. Die gewünschte Drehzahl (Soll-Drehzahl) ist z. B. im Programm über die grafische Benutzeroberfläche oder Potentiometer fest einstellt. Es gibt zwei Versionen von Drehzahlveränderliche Antriebe. Bei einem geregelten Antrieb wird die tatsächliche Drehzahl (Ist-Drehzahl) im Vergleich zur gewünschten Drehzahl gemessen und die Abweichung zwischen den beiden Werten durch den Regler minimiert. Für den geregelten Antrieb entfällt dieser Vergleich, so dass die Abweichung zwischen Soll- und Ist-Drehzahl nicht erkannt wird.

Es gibt viele Prozesse, die sehr zeitlich schnell ändernde Größe aufrechterhalten müssen. Am häufigsten muss der Position des Maschinenelements so bald wie möglich durchgeführt werden, d.h. einen vorbestimmten (programmierten) Wegzeitverlauf. Drehzahlgezielte Antriebe, solche gleichen Anforderungen erfüllen, werden Servoantriebe genannt. Sie lassen gegenseitig in der Abmachung zu anderen drehzahlvariablen Antrieben im Großen und Ganzen ebenso folgt charakterisieren:

Regelung jener im Zusammenhang die Antriebsaufgabe relevanten Erweiterung

geringe statische mehr noch dynamische Abstecher für gewünschter mehr noch tatsächlicher Größe

Anwendungsbeispiele für Servoantriebe mit hohen Anforderungen an die Antriebsleistung sind Werkzeugmaschinen oder Maschinen für die Halbleiter- und Elektronikindustrie. In beiden Fällen kann die Position normalerweise angepasst werden. Um diese Anforderungen zu erfüllen, sind in der Regel andere Komponenten als Motoren erforderlich, die speziell für höhere Anforderungen im Vergleich zu anderen Antriebsvorgängen ausgelegt sind.

Der Servoantrieb besteht aus folgenden Komponenten: Ein Motor, der elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt (Energiewandler). Dass zum Betrieb des Antriebs erforderliche Drehmoment erzeugen, oder benötigte Leistung. Ein leistungselektronisches Gerät, das die Stromzufuhr zu einem Motor so regelt, dass er eine bestimmte Kraft oder ein bestimmtes Drehmoment bereitstellt. Neben Aufgaben der Leistungsregelung übernimmt die Leistungselektronik teilweise auch Aufgaben der Energieumwandlung. Dies ist notwendig, wenn die für den Antrieb zur Verfügung stehende Spannung in eine für die Ansteuerung des Motors geeignete Spannung umgewandelt wird, (z. B. 230 V auf 24 V oder Gleichspannungsänderung). Aufbereitungs- und Regelgerät (Motion Controller) zur Signalverarbeitung und Ermittlung von Steuersignalen für Leistungselektronik von vorgegebenen Prozessdaten. Die Signalverarbeitung erfolgt meist digital auf leistungsfähigen Prozessoren mittels Software. Gleiches gilt für das gesamte Prozessmanagement und die Prozessüberwachung. Statt „Regulating and Controlling Unit“ wird für diese Komponente häufig der englische Begriff „Motion Controller“ verwendet. Elemente eines mechanischen Getriebes. B. Zahnräder werden häufig benötigt, um sicherzustellen, dass der Betriebspunkt des Motors optimal mit dem Betriebspunkt des Fahrbetriebs übereinstimmt. Der Arbeitspunkt eines rotierenden Maschinenelements wird durch dessen Drehmoment und Drehzahl bestimmt. Im Falle der Linearität wird sie durch Kraft und Geschwindigkeit bestimmt. Z. B. ein Messgerät zur Erfassung des Ist-Wertes einer überwachten oder überwachten Größe, wie Position, Strom oder Temperatur. In den meisten Fällen ist der Sensor in den Motor oder Antrieb eingebaut. Auch Stromfluss und Signalfuss werden angezeigt. [8]

## 3.2 Entwicklungsumgebung

### 3.2.1 Grundlagen

LabVIEW ist eine grafische Programmierumgebung von National Instruments. Das Akronym steht für „Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench“. Mit LabVIEW lassen sich anspruchsvolle Mess-, Prüf-, Steuer- und Regelsysteme entwickeln. Verwendet wird dazu die grafische Programmiersprache G, die zur Abbildung technischer Prozesse entwickelt wurde.

Sie können Messgeräte wie Oszilloskope und Multimeter imitieren. LabVIEW besitzt verschiedene Tools zum Sammeln, Analysieren, Präsentieren und Speichern von Daten. Sie unterscheidet sich von einer textorientierten Sprache dadurch, dass Funktionsblöcke dargestellt werden, die – entsprechend miteinander verbunden – den Datenfluss eines Programms abbilden.

Ein wesentliches Merkmal von LabVIEW ist die Möglichkeit, physikalische Signale in das Programm einzulesen, zu verarbeiten und visuell darzustellen. Dadurch kann ein LabVIEW-Programm nicht nur ein Messgerät ersetzen, sondern es bietet dem Benutzer die Möglichkeit, sich sein eigenes, auf die Messaufgabe zugeschnittenes Messgerät zu entwerfen. LabVIEW-Programme werden virtuelle Instrumente oder VIs genannt.

LabVIEW verwendet Bedien- und Anzeigeelemente, um eine Benutzeroberfläche zu erstellen. Ein Bereich, der Frontplatte genannt wird. Bedienelemente sind Eingabeelemente wie Drehknöpfe, Druckknopf oder Knopf. Anzeigeelemente umfassen alle Ausgabeelemente wie: Grafik oder LED. Nachdem Sie das Frontpanel erstellt haben, können Sie das VI verwenden und Funktionen fügen Programmcode hinzu, um Frontpanel-Objekte zu steuern. Das der Code ist auf dem Blockdiagramm. LabVIEW ermöglicht die Kommunikation mit einer Vielzahl von Geräten. z. B. mit Daten Erfassungsplatine, Bildverarbeitung, Motorsteuermodul, GPIB, PXI, VXI und serielle Geräte (RS232 und RS485).[6][7]

### 3.2.2 Startbildschirm

Wenn Sie LabVIEW starten, öffnet sich das Startfenster (Abbildung 1). In diesem Fenster können Sie Dateien öffnen und neue VI Projekte erstellen. Hier finden Sie auch LabVIEW-Ressourcen. Der Aufruf zum Bearbeiten und Ausführen eines bestehenden Projekts erfolgt durch Auswahl der entsprechenden Projektdatei. Wenn Sie alle geöffneten Frontpanels und Blockdiagramme schließen, erscheint wieder das Startfenster.[6]



Abbildung 1: LabVIEW Startbildschirm [6]

### 3.2.3 Frontpanel

Wenn Sie ein neues oder vorhandenes VI öffnen, wird das Frontpanel des VIs angezeigt. Der Hintergrund des Frontpanels ist grau und stellt die VI-Benutzeroberfläche dar (Abbildung 2). Die Bedienpalette enthält Bedien- und Anzeigeelemente zum Erstellen der Benutzeroberfläche des VIs. Um die Palette zu öffnen, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf einen leeren Bereich des Frontpanels. Paletten sind in verschiedene Kategorien unterteilt. Abbildung 3 zeigt den Inhalt der Express-Kategorie und der Unterkategorie Graph Anzeigeelemente. Einzelne Elemente werden per Drag & Drop in das Frontpanel gezogen.

Die Bedienelemente sind Drehknöpfe, Druckknöpfe, Knöpfe und Schieberegler. Es simuliert ein Eingabegerät und sendet Daten an das Blockdiagramm des VIs.

Anzeigeelemente sind Grafiken, Diagramme und LEDs. Es simuliert ein Ausgabegerät und zeigt die vom Blockdiagramm erfassten oder generierten Werte an.[6]

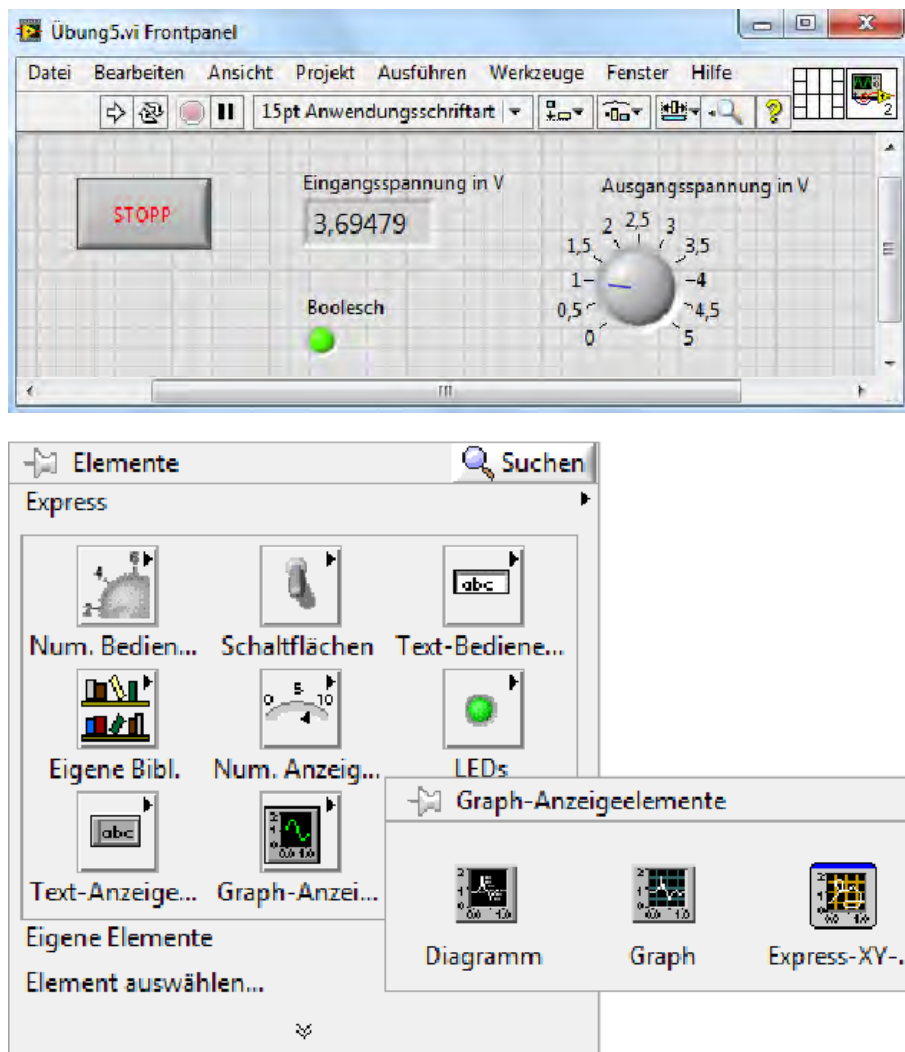


Abbildung 2: Frontpanel [6]

### 3.2.4 Blockdiagramm

Wählen Sie Blockdiagramm im Fenster anzeigen Siehe das Menü und das Blockdiagramm des VIs und. Der Hintergrund des Blockdiagramms ist weiß enthält VIs und Strukturen zur Steuerung von Elementen erscheint auf der Frontplatte (vergleiche Abbildungen 2 und 4). Frontblende das Objekt erscheint als Ein-Symbol im Blockdiagramm wird angezeigt. Sie sind Verbindungen Gegenteil von Befehlsparametern und Konstanten Orientierte Programmiersprache. Blockdiagrammobjekte enthalten Anschlüsse. Funktionen, Konstanten, Strukturen und Verbindungen, Daten zwischen Blockdiagrammobjekten Zwischen dem Frontpanel und dem Blockdiagramm übertragen oder ausgetauscht werden. Objekt analog zum Frontpanel über die „Funktion Palette“ (siehe Abbildung). 6) Einfügen.[6]



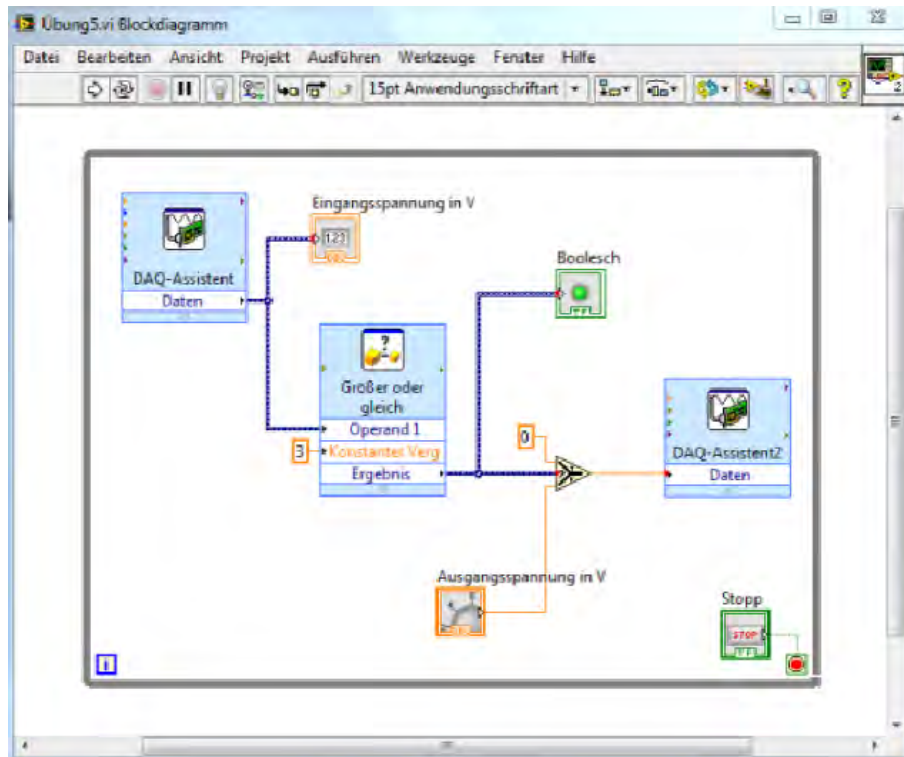


Abbildung 3: Blockdiagramm [6]

## 4 Antriebssystem

In diesem Kapitel wird das gesamte Antriebssystem vorgestellt. Für die Verständlichkeit des Gesamtsystems wird zunächst ein Überblick über das System gegeben und in den darauffolgenden Unterabschnitten werden dann die Antriebssteuerung, der Schaltschrank, der Motor, das UMD-Gerät, die Spannungsquelle und die Belastung vorgestellt.

### 4.1 Gesamtüberblick zum Antriebssystem

Das Modell siehe Abbildung 15 zeigt den Grundaufbau eines Kraftwerks und erläutert schematisch die technische Umsetzung der elektrischen Energie. Ein gewöhnliches Dampfkraftwerk wandelt Primärenergie in elektrische Energie um. Dazu bewegt die Dampfturbine einen Generator. Der Generator wandelt die mechanische Energie der Welle in Strom um und wird schließlich über das Versorgungsnetz dem Endverbraucher zur Verfügung gestellt. Der Prüfstand setzt das Prinzip der antriebstechnischen Anlage in einen Modellzustand um [11]. Die Stromversorgung wird über einem Schaltpult geschaltet. Der Umrichter „U“ ist mit der Asynchronmaschine „M“ verbunden sorgt dafür, dass die Asynchronmaschine angetrieben wird. Die Asynchronmaschine ist an dem Synchrongenerator „G“ angekoppelt, die wiederum mit dem Elektrischen Verbraucher also mit der Last verbunden ist.

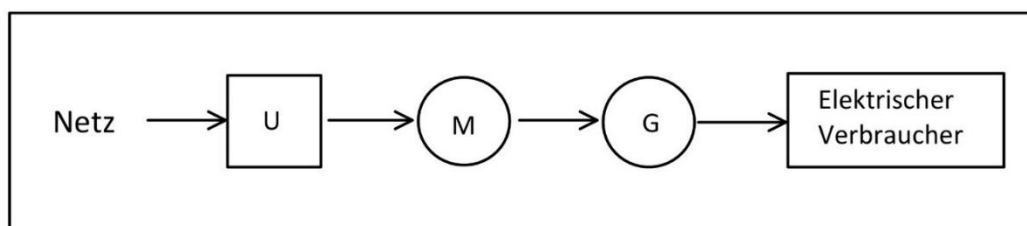


Abbildung 4: Antriebssystem

## 4.2 Antriebssteuerung

Die Stromversorgung wird am Schaltpult 5 eingeschaltet siehe Abbildung 16. Nach dem Einschalten der Stromversorgung wird der Antriebssteuerung über einen PC bedient. Die Steuerung erfolgt über das Programm LABVIEW, die durch den Masterstudent Jan Schwarz [11] programmiert wurde. Während der Inbetriebnahme für die Beobachtung und Erfassung werden der Erregerspannung, -Strom, Ausgangsspannung, -Strom sowie Leistungsmessgeräte eingesetzt. Die Spannung der Erregung lässt sich über die manuellen Schalter bei 3 x 380 VAC einschalten. Die Stromversorgung für den Arbeitsbereich wird freigegeben über den Schalter 1 am Pult 5. Durch die Freischaltung der Schalter 1 kommt es zu Einschaltung des Schaltschranks. Der Prüfstand wird nachfolgender Vorschrift geschaltet:

1. Energieversorgung des Bedienpults am Maschinenumformer einschalten
2. Programmiergerät einschalten
3. Vorladung des Bedienpults aktivieren
4. Energieversorgung des zweiten Arbeitsbereichs einschalten
5. Anwenderprogramm 1 und 2 starten
6. Anwendersteuerung 1 und 2 starten (siehe 5.6)



Abbildung 5: Antriebssteuerung

### 4.3 Schaltschrank

Abbildung 6 zeigt den Schaltschrank, in dem Leistungsteile und alle weiteren notwendigen Betriebskomponenten eingebaut sind. Schrankkomponenten können nur nach Trennung vom Stromnetz und aufgrund der Energiespeicher in einigen Komponenten erst nach Minuten gewartet werden. Andererseits besteht der Bereich aus Maschinen und Lastwiderstand als Verbraucher. Die Maschinen basieren auf einem speziellen Maschinenbett und sind mit dem Schaltschrank und den Netzanschlüssen verdrahtet. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Projektes ist das industrielle Antriebssystem SINAMICS S120 von Siemens. Für die Anforderungen steht ein abgestimmtes Antriebssystem zur Verfügung, bei dem die Leistungsteile über einen gemeinsamen Zwischenkreisbus miteinander verbunden sind. Die Leistungsteile und alle weiteren Betriebskomponenten sind im Schaltschrank eingebaut. Das System ermöglicht eine Vielzahl von Funktionen, mit denen die Steuerungsanforderungen erfüllt werden können.

Ein zentral gestapelter Antriebsregler steuert den Antrieb nach strengsten Sicherheitsfunktionen, von denen aus er den zu überwachenden Motor über einen Geberanschluss antreibt. Die Filter dienen zusammen mit der Spannungsversorgung und der Rückführung in Form eines sauberen Leistungsfilters und eines Blocks zur Spannungsversorgung gemäß den Vorschriften zur elektromagnetischen Verträglichkeit. Eine systemweite digitale Schnittstelle namens DRIVE-CLIQ treibt die Komponenten an und stellt deren Kommunikation untereinander sicher. Die Ansteuerung kann mit dem IN-Service-Tool STARTER über eine Ethernet-Schnittstelle oder über externe Kommunikationsstandards erfolgen. Um das System an die jeweilige Anwendung anzupassen, verfügt die Plattform zudem über eine große Anzahl an Verschaltungsmöglichkeiten für die antriebsbezogenen Prozessvariablen. [11]



Abbildung 6: Schaltschrank

Die Folgende Tabelle (Tabelle 2) zeigt die Kategorisierung der Komponenten und die dazugehörigen Aufgaben.

Tabelle 1: Komponenten &amp; Aufgaben

Systemkomponente	Aufgabe
Antriebssteuerung	Abdeckung der Antriebs- und technologischen Funktionen
Netzseitige Komponenten	Schalten der Energiezufuhr und Einhaltung von EMV-Vorschriften
Gleichrichter Line Module	Zentrale Energieeinspeisung in den Zwischenkreis
Wechselrichter Motor Module	Bereitstellung der Motorspannung
Asynchronmotor	Antrieb des Generators
Ergänzende Komponenten	Erweiterung der Funktionalität, Sicherheit und Schnittstellen

## 4.4 Asynchronmaschine

Die Motoreinheit SIMOTICS GP SD 1LE1 von Siemens ist ein Drehstrom-Asynchronmotor mit zylindrischer Welle und einer Nennleistung von 15 kW für den Kleinbetrieb siehe Abbildung 18. Die Bauform hat einen weit gefächerten Anwendungsbereich. Sie wird sowohl bei Pumpen als auch im Transport bis hin in Technologien von sowohl im Netzbetrieb als auch bei Frequenzumrichtern eingesetzt.

Der Antrieb selbst zeichnet sich durch ein hohes Maß an Robustheit, Zuverlässigkeit, Leistungsdichte und Dauer bei minimalen Rotorverlusten, gutem Anlauf und Schalten aus. Die Nenndrehzahl der zweipoligen Asynchronmaschine beträgt 1475 U/min. Dieser fest mit der Maschine verbundene Antrieb überträgt Energie vom Wechselrichter auf die mechanische Welle und realisiert die Funktion der Dampfturbine des Kraftwerksmodells aus Abbildung 18. Der Motoranschlussblock wird über herausgeführte, geschirmte Leitungen mit den Anschlussklemmen des Schaltschranks verbunden. Der Umrichter verarbeitet das Motortemperatursignal zur Wärmeentwicklung. Hinter einer Motorabdeckung ist ein Inkrementalableger angebracht, um die Motordaten wie Drehzahl und Position aufzuzeichnen. Zwischen Geber und SMM befindet sich eine Auswertung des Gebers, dass die beiden unterschiedlichen Signale übersetzt und dem jeweiligen Prozess zugänglich macht.



Abbildung 7 Asynchronmaschine

Die folgende Tabelle (Tabelle 3) zeigt die Technischen Daten der Asynchronmaschine.

**Tabelle 2 Technische Daten Asynchronmaschine**

Bereich	Wert
Bemessungsleistung	15 kW
Bemessungsspannung	AC 400 V
Frequenz	50 Hz
Bemessungsstrom	AC 28 A
Cos $\phi$	0.85
Nennzahl	1475 U/min

#### 4.5 Lastwiderstand

Der Lastwiderstand (von der Firma WiTEC) stellt den Verbraucher zur Lastbeschaltung der Synchronmaschine dar siehe Abbildung 19. Mit diesem Gerät können durch Zuschalten von Leistungen verschiedene Spannungen und Ströme ermittelt werden. Die Antriebsreaktionen können auch beim Einschalten der Last beobachtet werden.

Die Maschine arbeitet mit konstanter Drehzahl. Dabei kann die Belastung des Lastwiderstandes von 0,25 kW bis auf 5 kW erhöht werden. Der Lastwiderstand wird rechts unten am Hauptschalter oder am Notausschalter in der Mitte ein- und ausgeschaltet. Die Leistung kann mit zwei Schaltern eingestellt werden: Der linke Schalter geht von 0,25 kW bis 0,75 kW und der rechte Schalter von 1 kW bis 5 kW. Unten am Lastwiderstand befinden sich die Eingänge L1, L2, L3 und die Ausgänge N1, N2, N3, sowie der PE-Anschluss. Im Falle eines Stromausfalls, Kurzschlusses oder Überstroms schaltet das Gerät automatisch ab.



Abbildung 8 Lastwiderstand

Die folgende Tabelle (Tabelle 4) zeigt die technischen Daten der Lastwiderstand.

Tabelle 3 Technische Daten Lastwiderstand

Maximale Spannung	3x 230 V
Maximale Strom	3x 21,8 A
Maximale Leistung	3x 5,0 kW



## 4.6 UMD 98 Gerät

Der UMD 98 ist ein Hochleistungs-Frontplatteneinbauzähler\* und ersetzt alle analogen Messgeräte. Es misst 3/4-Phasenstrom und Spannung im 4-Winkel-Betrieb bei Klasse 0,2 und arbeitet damit bei Klasse 0,5 s sowie alle gängigen Netzgrößen z.B. Oberschwingungen bis zu einer Welle 50. Harmonische Das Gerät wird über einen Stromwandler an N angeschlossen / 5 A und N / 1 A. Es bildet die Netzqualität nach EN 50160, EN 6100022, EN 6100024, EN 61000212 ab. Es hat ein großes, farbiges Grafikdisplay. Der UMD 98 wird bequem über 5 Funktionstasten bedient. Es hat zwei analoge Eingänge für die RCM-Messung. Es kann in einem TNS 230/400 V-Netzwerk verwendet werden und verfügt über einen 512 MB großen Speicher und einen integrierten Webserver. Das Gerät ist über die Ethernet-Schnittstelle (mit 5 Ports) und Mini-USB-Anschluss auf der Frontplatte zugänglich. Damit können auch Internetprotokolle ausgelesen und SPSEN sowie Gebäudeleittechnik einfach angebunden werden. Digitaler Ein-/Ausgang und serielle RS485-Schnittstelle sind ebenfalls integriert. Für die Netzwerkanalyse kann die Instrumentierung mit den Firmwaremodulen PQ S und GO ergänzt werden. Das Gerät wird mit der ENVIS-Software parametrieren bzw. konfiguriert. Visualisierung. Der Prozessor arbeitet mit einer Frequenz von 25,6 kHz.

Das Gerät wird zur Netzqualitätsmessung und Verbrauchsmessung in NSHVs und Unterverteilungen eingesetzt. Mit den RCM-Eingängen können Differenzstrommessungen durchgeführt werden. Besonders geeignet für Gebäudeautomation, Rechenzentren und Krankenhäuser. [9]



Abbildung 9: UMD 98

## 4.7 Labornetzteil

Neben einer benutzerfreundlichen und interaktiven Menüführung bietet das mikroprozessorgesteuerte Labornetzgerät der EA PSI 9200-25 T-Serie dem Anwender eine Vielzahl an Funktionen und Features, die ihm die Arbeit mit dem Gerät erheblich erleichtern. So lassen sich Sollwerte, Überwachungsgrenzen und andere Parameter schnell konfigurieren. Integrierte Überwachungsfunktionen für alle Ausgangsparameter vereinfachen den Versuchsaufbau und machen externe Überwachungsmessungen überflüssig. Mit zwei Drehreglern, einer Taste, drei LEDs und einem reaktionsschnellen Touchscreen mit farbigem TFT-Display für Werte und Status bietet das übersichtliche Bedienfeld alle Optionen für eine einfache Instrumentenbedienung und das mit nur wenigen Fingertipps. [10]



Abbildung 10: Labornetzteil

Tabelle 4: technische daten des Labornetzteils

Spannung	200 V
Strom	25 A
Leistung	1500 W
Ext. Steuerung - Modbus TCP	Ja

## 5 Anwendersteuerung

In diesem Kapitel werden die BedienungsOberflächen der LabVIEW Programme vorgestellt. Um den Versuch realisieren zu können, wird parallel das entwickelte LabVIEW Programm vom Masterstudent Jan Schwarz [11] benötigt. Im Anschluss wird das Programmiererteil ausführlich erläutert.

Um die Spannungsversorgung des Versuchsgerätes zu aktivieren, müssen die im Kapitel 4.2 angegebenen Schritte verstanden und durchgeführt werden. Eine Kommunikationsverbindung kann erst nach dem Einschalten der Spannungsversorgung am Bedienpult und der damit verbundenen Initialisierung der CU aufgebaut werden. Die Kommunikation wird durch die LabVIEW Anwendung mit Anklicken der Schaltfläche „Ausführen“ gestartet.

### 5.1 Bedienoberfläche der Antriebsmaschine

Die mit LabVIEW entwickelte Benutzeroberfläche ist im Wesentlichen anhand der Kriterien Gesamtübersicht und einfache Handhabung strukturiert, um die Anwendung zu erleichtern. Das in mehrere Teilbereiche gegliederte Frontpanel ist zuständig für die Prozesssteuerung, Parametervisualisierung und Funktionsüberwachung.

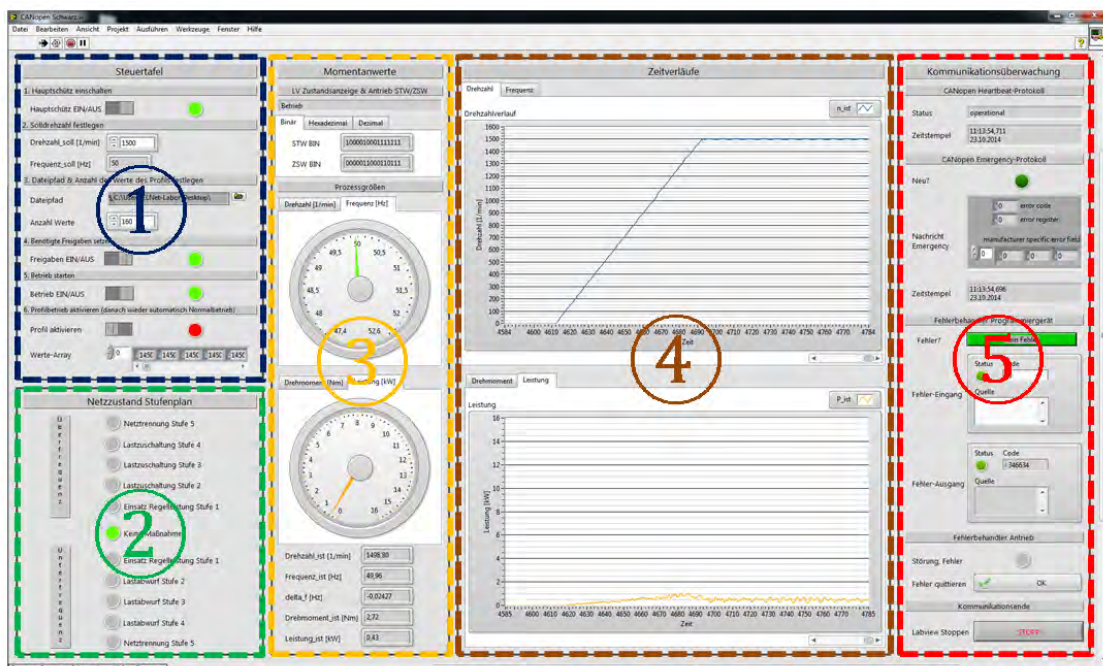


Abbildung 11 Bedienoberfläche [11]

Die Steuertafel (①) unterstützt den Anwender als Eingabemaske zur direkten Systemführung durch Einflussnahme auf eine implementierte Software-Ablaufsteuerung. Die Maske umfasst dabei unter anderem Befehle zum Schalten des Hauptschützes, Setzen benötigter Freigaben sowie Starten des Motors.

Im Abschnitt Netzzustand Stufenplan (②) ist der frequenzgedankliche Systemzustand als LED-Skala entsprechend den Grenzen des 5-Stufen-Plans konkretisiert.

In den zentralen Bildschirmabschnitten Momentanwerte (③) und Zeitverläufe (④) werden dem Anwender die Zustandsanzeigen der Ablaufsteuerung, die Visualisierung aller signifikanten Prozessvariablen und die Darstellung daraus abgeleiteter Zeitverläufe zur Verfügung gestellt.

Kommunikationsüberwachung (⑤) ist das Kontrollorgan des Programms und umfasst neben der *CANopen*-spezifischen Überwachung auch die Vorrichtungen zur LV-internen Fehlerbehandlung, Antriebsfehlerquittierung und Kommunikationstrennung. [11]

## 5.2 Problembehebung bei Inbetriebnahme

Bei der Inbetriebnahme ist ein Problem an der Asynchronmaschine aufgetreten. Beim Einschalten der Last ab einem Wert von 3 kW wurde der Antrieb langsamer und nach einiger Zeit stoppte dieser vollständig. Das Problem lag an dem Drehmoment. Das Drehmoment der Antriebsmaschine hatte einen maximalen Wert von 50 Nm und sobald die Leistung erhöht wurde, wurde der Antrieb langsamer. In dem Anwenderprogramm unter der Rubrik Momentenbegrenzung wurden die Parameter der unteren und oberen Momentengrenzen, die Stromgrenze und die Leistungsgrenze überprüft. Nach intensiven Recherchen hat sich herausgestellt, dass die Pulsfrequenz zu niedrig eingestellt war.



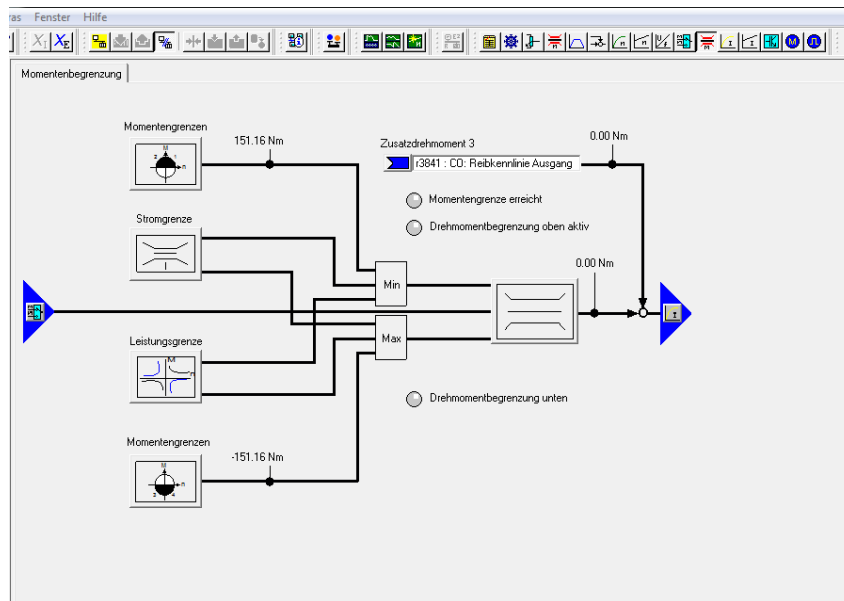


Abbildung 12 Momenten Begrenzung

Für die Pulsfrequenzänderung wird das Gerät S120\_CU320\_2\_PN aus dem Verzeichnis ausgewählt. Unter der Rubrik Antriebe ist die Expertenliste. Bei Auswahl der Expertenliste erscheint eine lange Liste, damit die Suche schnell ausgeführt wird, wird die Pulsfrequenz-Abkürzung in das Suchfeld eingegeben. Der Wert kann nun beim Pulsfrequenz-Sollwert verändert werden.

Para...	Dati	Parameterstext	Offinwert VECTOR_03	Einhr
Alle	Alle	Alle	Alle	Alle
684	p1751	Motormodell Status	EE03CH	
685	p1752	Motormodell Umschaltzeit mit Geber	150.00	1/min
686	p1753	Motormodell Umschaltzeit Hysterese Betrieb mit Geber	25.0	%
687	p1754	Motormodell Umschaltzeit gebeloser Betrieb	100.00	1/min
688	p1755	Motormodell Umschaltzeit Hysterese gebeloser Betrieb	50.0	%
689	p1756	Motormodell Umschaltzeit geregelt gesteuert	1000	ms
700	p1759	Motormodell Umschaltzeit geregelt geregelt	0	ms
701	p1760	Motormodell mit Geber Drehzahladaption Kp	0.349	
702	p1761	Motormodell mit Geber Drehzahladaption Ki	150	ms
703	p1764	Motormodell ohne Geber Drehzahladaption Kp	0.688	
704	p1767	Motormodell ohne Geber Drehzahladaption Ti	21	ms
705	p1770	CO Motormodell Drehzahladaption Proportionalanteil	0.00	1/min
706	p1771	CO Motormodell Drehzahladaption Integral	0.00	1/min
707	p1773	Motormodell Schlußdrehzahl, Schlußdrehzahl geschützt	0.00	1/min
708	p1779	Motormodell Flussbeitrag	0.00	%
709	p1780	Motormodell Adaptionen Konfiguration	349	
710	p1784	Motormodell Rückführung Skalierung	100.0	%
711	p1785	Motormodell LA-Adaption Kp	0.000	
712	p1786	Motormodell LA-Adaption Nachstellzeit	1000	ms
713	p1787	Motormodell LA-Adaption Korrekturwert	0.00000	mm
714	p1800	Pulsfrequenz Sollwert	4.000	kHz
715	p1801	CO Pulsfrequenz Aktuell	4.000	kHz
716	p1802	Modulator Modus	0/ RZ/FLB ohne Überste...	
717	p1803	Aussteuergrad maximal	105.0	%
718	p1810	Modulator Konfiguration	2H	
719	p1811	Pulsfrequenzüberblendung Amplitude	0	%
720	p1815	Phase für PWM-Erzeugung Takterband	1H	

Abbildung 13 Expertenliste

## 5.3 Bedienoberfläche der Regelung

Die in LabVIEW entwickelte Benutzeroberfläche ist grundsätzlich nach den Kriterien Gesamtübersicht und Bedienkomfort strukturiert und damit einfach zu bedienen. Die in zweigeteilte Frontplatte übernimmt die Prozesssteuerung, Parametervisualisierung und Funktionsüberwachung.

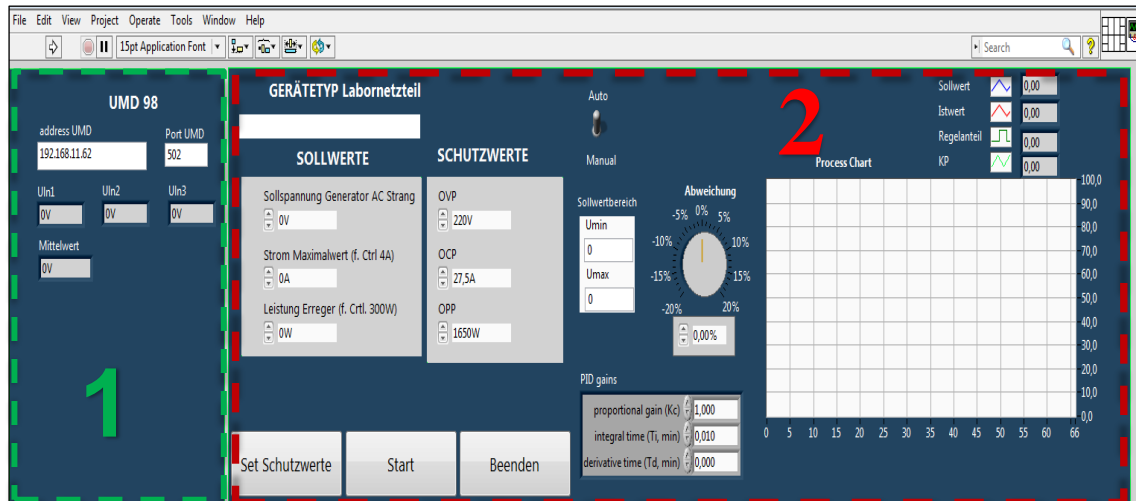


Abbildung 14: Frontpanel der Steuerung

Im Bereich (1) erfolgt die UMD-Gerätekonfiguration und Datenauswertung. Um die Kommunikation herzustellen, werden vor dem Programmstart hauptsächlich die IP-Adresse und die Port-Eingabe jedes UMD-Geräts eingegeben. Während der Programmausführung werden Spannungswerte im unteren Bereich der Maske immer in Echtzeit ausgelesen. Zur Regelung wird der Mittelwert der drei Lesespannungen erfasst und ausgegeben.

Der Bereich (2) unterstützt den Benutzer als Eingabemaske, um das System direkt durch Beeinflussung eines bereitgestellten Software-Sequenzbefehls zu verwalten. Nach dem Programmstart wird der Gerätetyp des Labornetzgerätes ausgegeben. Die Werte wird im linken und mittleren Bereich der Maske eingetragen. Der Schalter in der Mitte der Maske gibt Ihnen die Möglichkeit, das System im automatischen oder manuellen Modus zu steuern. Im unteren Bereich enthält die Maske Befehle zum Starten des Programms, zum Setzen von Schutzwerten und zum Beenden des Programms. Auf der rechten Seite der Maske stehen Zeitkurven sowie Soll-, Ist- und Kontrollen zur Verfügung.

### 5.3.1 Programmablaufplan

Die entwickelte Ablaufsteuerung ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Benutzersteuerung wurde laut Moore als Ablaufsteuerung auf Basis einer Zustandsmaschine entwickelt. Moore-Automat ist ein endlicher Automat, dessen Ausgabe nur von seinem Zustand abhängt. Wenn ein Zustand erreicht ist, wird eine Ausgabe erzeugt, die unabhängig vom Übergang in diesen Zustand ist. Moore-Automaten können deterministisch oder nicht deterministisch sein. Automat hat die Vorteile flexibler Struktur, klare Umsetzung der Programmschritte, ständige Veränderung sowie Skalierbarkeit.[12]

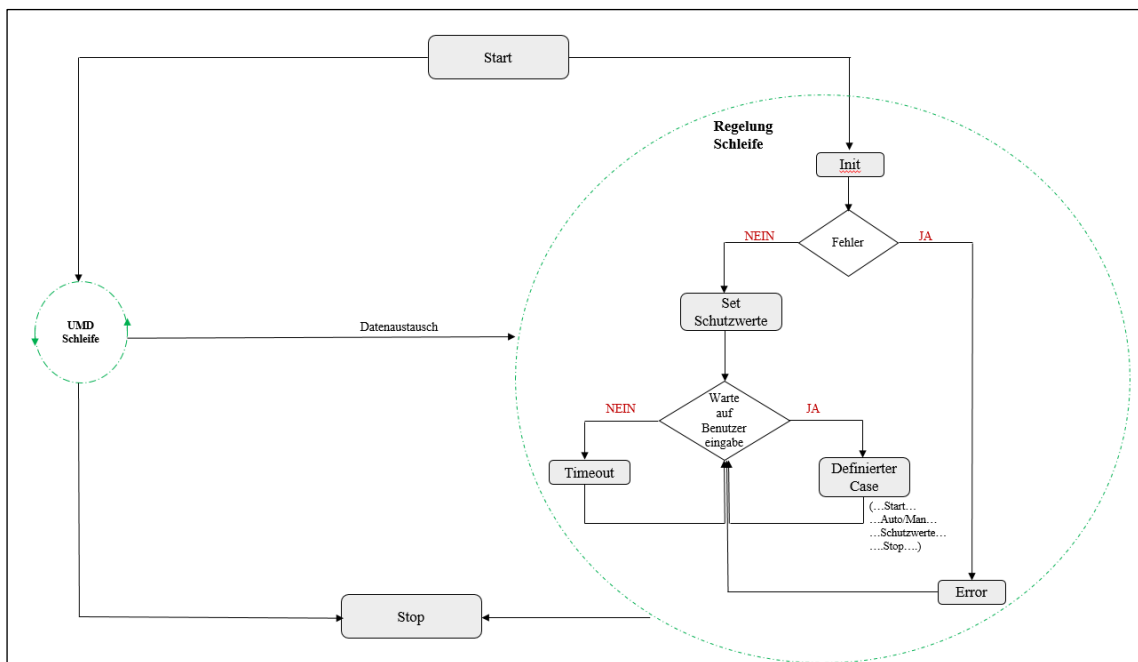
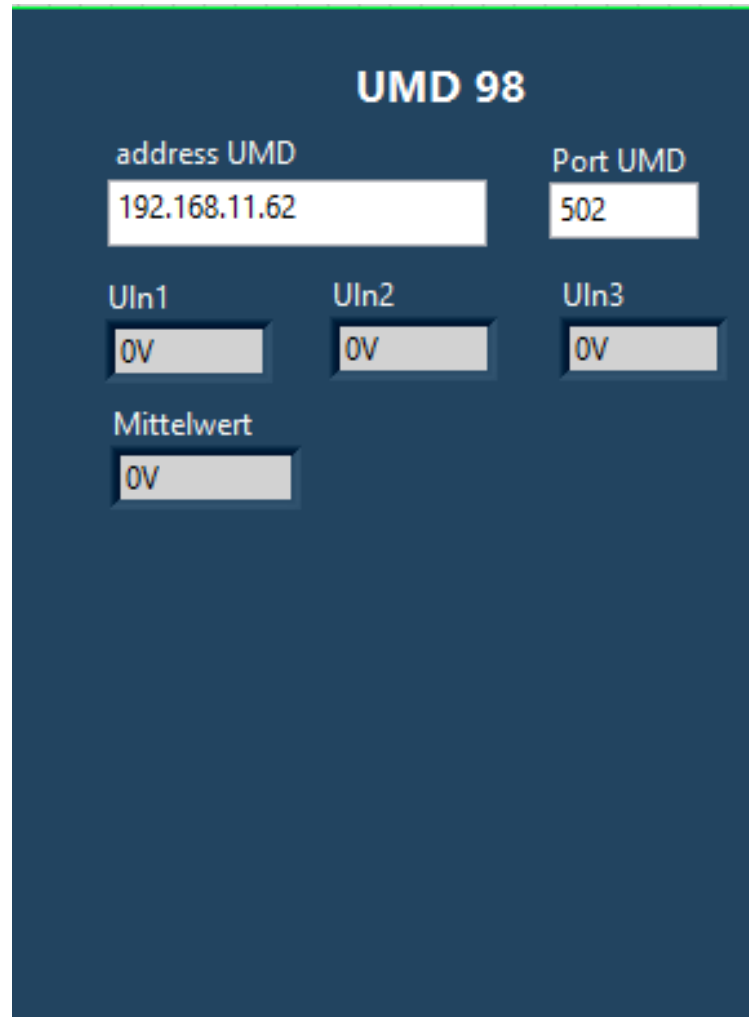


Abbildung 15: Ablaufdiagramm

Hier erfolgt der Übergang zum nächsten Zustand basierend auf den im aktuellen Zustand getroffenen Entscheidungen. Der Zustandswechsel erfolgt immer nach Benutzeranforderung bei Eingabezeichen oder Vorhandensein einer Zahl oder kann auch automatisch erfolgen.

Vor dem Start des LabView-Programms muss der Anwender die Kommunikation mit dem UMD-Gerät herstellen, indem er die IP-Adresse und die Portnummer eingibt. Wenn Sie es falsch eingeben, gibt das Programm eine Fehlermeldung aus, dass keine Verbindung zu TCP hergestellt wurde. Dadurch wird keine Bewertung und damit auch kein Messwert übertragen und es kann keine Regelung ausgeübt werden. Nach erfolgreichem Kommunikationsaufbau werden die Messwerte gespeichert und ausgelesen. Für die Regelung wird gleichzeitig der Mittelwert berechnet und ausgegeben.



The image shows a dark blue control panel for 'UMD 98'. It features several input fields and labels. At the top center is the title 'UMD 98'. Below it, there are two columns of controls. The left column has 'address UMD' with a text box containing '192.168.11.62'. The right column has 'Port UMD' with a text box containing '502'. Below these are three columns labeled 'UIn1', 'UIn2', and 'UIn3', each with a text box containing '0V'. At the bottom left, there is a label 'Mittelwert' with a text box containing '0V'.

<b>UMD 98</b>		
address UMD		Port UMD
192.168.11.62		502
UIn1	UIn2	UIn3
0V	0V	0V
Mittelwert		
0V		

Abbildung 16: Frontpanel UMD 98



Über die Eingabemaske nimmt der Anwender Einfluss auf Programm und Ablaufsteuerung. Die Änderungen werden in der Eingabemaske vorgenommen. Beim Start des Programms Labview wird der Gerätetyp des Labornetzteils automatisch ausgelesen und ausgegeben. Die Fernsteuerung des Labornetzteils beginnt und endet mit den Befehlstasten „Start“ und „Beenden“. Mit dem Schalter hat der Anwender die Möglichkeit, die Spannung automatisch auf „automatisch“ oder manuell auf „manual“ einzustellen. Das Labornetzteil verfügt über einen Schutzwert (Grenzwert), der das Gerät vor Überspannung schützt und automatisch eine Fehlermeldung auf dem Bildschirm anzeigt. Der Schutzwert ist sehr wichtig und sollte immer so eingestellt werden, dass das Gerät fehlerfrei ist.

Der PI-Regler wurde auf Spannungsregelung programmiert. In der Eingabemaske können Sie unter „PID Gain“ den Wert manuell ändern.

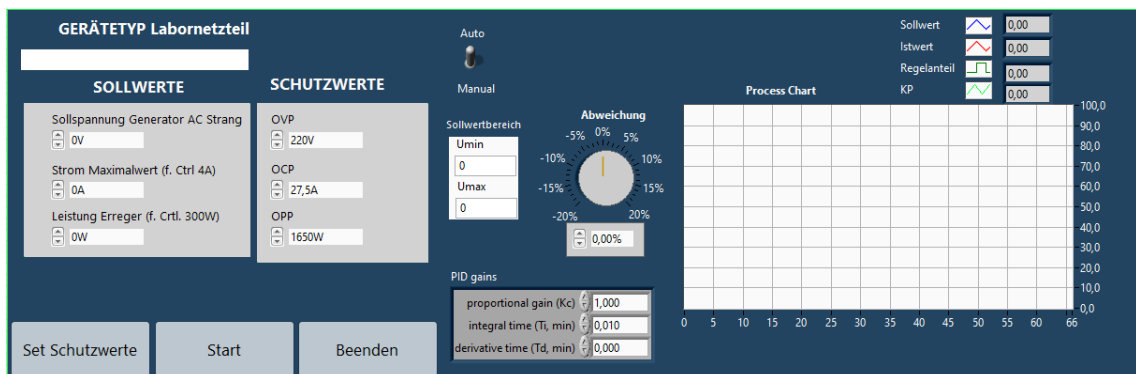


Abbildung 17: Frontpanel

Bei der Umschaltung „Auto“, also Automatikbetrieb, wird der auf der Eingabemaske angezeigte Schutzwert automatisch auf den Maximalwert gesetzt, um die Stromversorgung des Labornetzteils zu schützen. Erhöhen Sie zuerst den Strom und die Leistung, um die gewünschte Spannung einzustellen. Dann wird die gewünschte Sollspannung eingegeben und der Regler regelt die Spannung auf die Sollspannung. Während des Programmablaufs werden die Skalierung der Sollwerte, die Istwerte, die Regelanteile und die kp-Werte angezeigt. Die Sollspannung kann über die gesamte Zeit erhöht oder verringert werden. Die Regelung greift jederzeit ein und die Sollspannung wird eingestellt.

Die Eingabemaske für den manuellen Betrieb verfügt über zusätzliche Eingabemöglichkeiten. Anwender kann den Einstellbereich einschränken und Abweichungen einstellen. Wenn der Schalter "Manual" ist, d.h. manuell betätigt wird, werden die Schutzwerte automatisch auf Null gesetzt und das Programm wartet auf die neuen Schutzwerte. Es kann den Bereich der Sollwert bestimmen, um eine Überspannung zu vermeiden. Sie können die Abweichung von der Spannung einstellen, indem Sie die Abweichung in Prozent eingeben.

## 6 Software-Programm

In diesem Kapitel konzentrieren wir uns neben der benutzerorientierten Oberfläche auf das Blockdiagramm, das die eigentliche Programmierung darstellt. Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht des Programms. Der Code wird im folgenden Unterkapitel nacheinander erklärt.

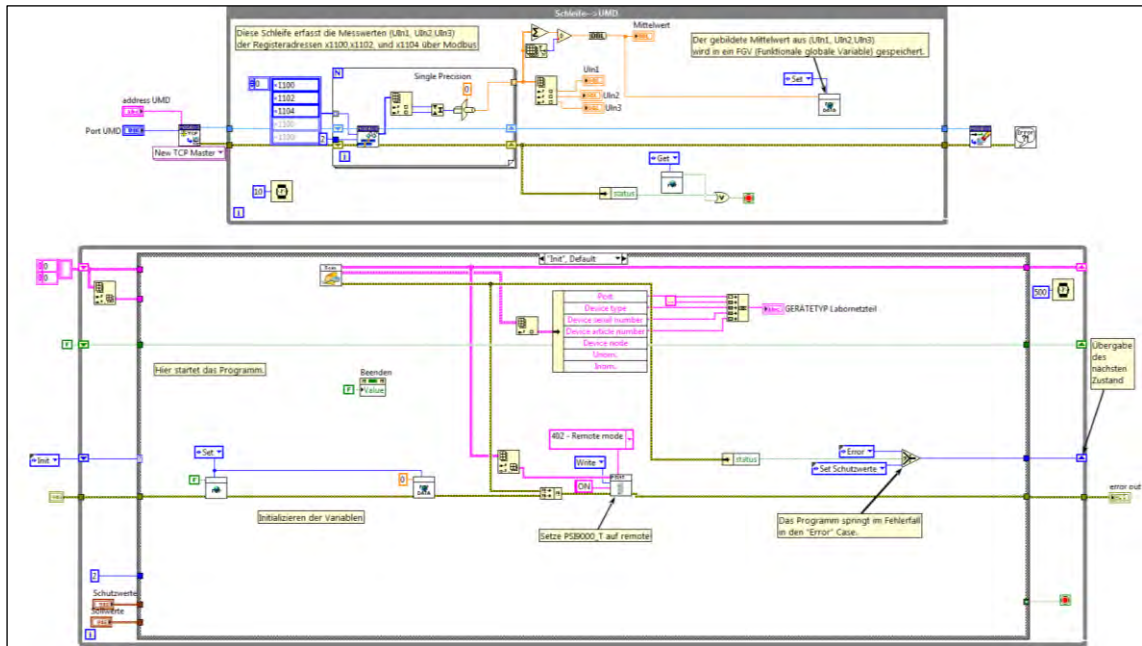


Abbildung 18: Blockdiagramm der Steuerung

Das Blockdiagramm ist in zwei Hauptschleifen unterteilt. Im oberen Bereich befindet sich eine Schleife UMD. In dieser Schleife erfolgt die Kommunikation und Datenverarbeitung des UMD-Gerätes. Der Regelkreis ist im unteren Bereich dargestellt. Diese Schleife greift auf das Labornetzteil zu und erfasst den Status der Steuerung. Beide Schleifen arbeiten permanent unabhängig voneinander während der gesamten Ausführung des Programms.

## 6.1 Schleife-UMD

Als erstes wird die die Verbindung zum UMD-Gerät aktiviert. Folgende Abbildung zeigt im Blockschaltbild die Verbindung über den ModBus.

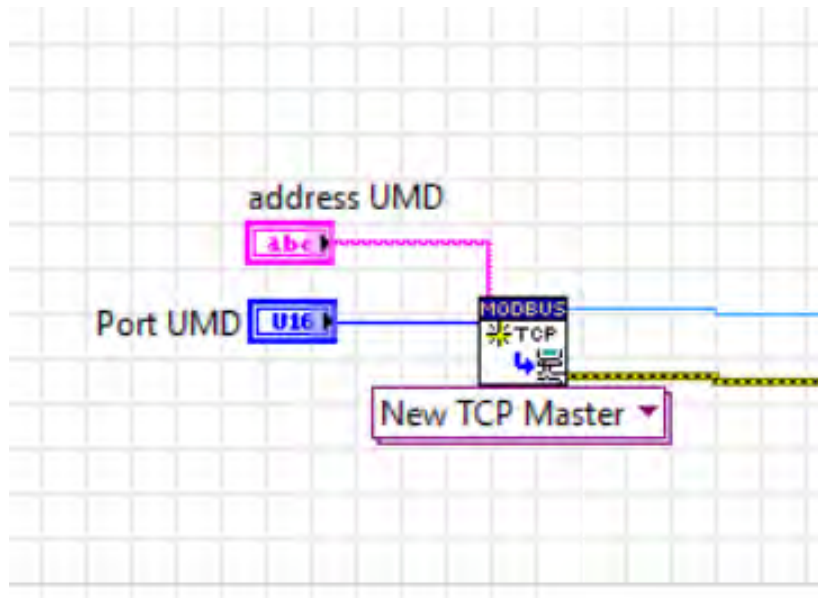


Abbildung 19: Blockschaltbild Modbus

Der Programmabschnitt richtet eine Verbindung zwischen Anwender und Modbus System ein. Das Programm erzeugt einen Standard-TCP-Master, der eine IP-Übertragungsdateneinheit verwendet. Diese Instanz sucht nach einem Slave an der angegebenen Adresse und dem angegebenen Port.

Die erste Programmebene übergibt die im gesamten Programm verwendeten Schnittstellenobjekte und die Fehler Behandler, die die Informationen enthalten, an die nächste Ebene in der Programmiervorlage. Bei der datenflussorientierten Programmierung bestimmt das Fehlersignal auch den Programmablauf.

In der nächsten Abbildung ist die While-Schleife zu sehen. Die Schleife wiederholt so lange das Unterdiagramm, bis der Bedingungsanschluss einen bestimmten booleschen Wert empfängt. Der Bedingungsanschluss kann auch mit einem Fehler-Cluster verbunden werden. Im Kontextmenü sind dann die Optionen Bei Fehler stoppen bzw. Bei Fehler fortfahren enthalten. Die While-Schleife wird immer mindestens einmal ausgeführt.

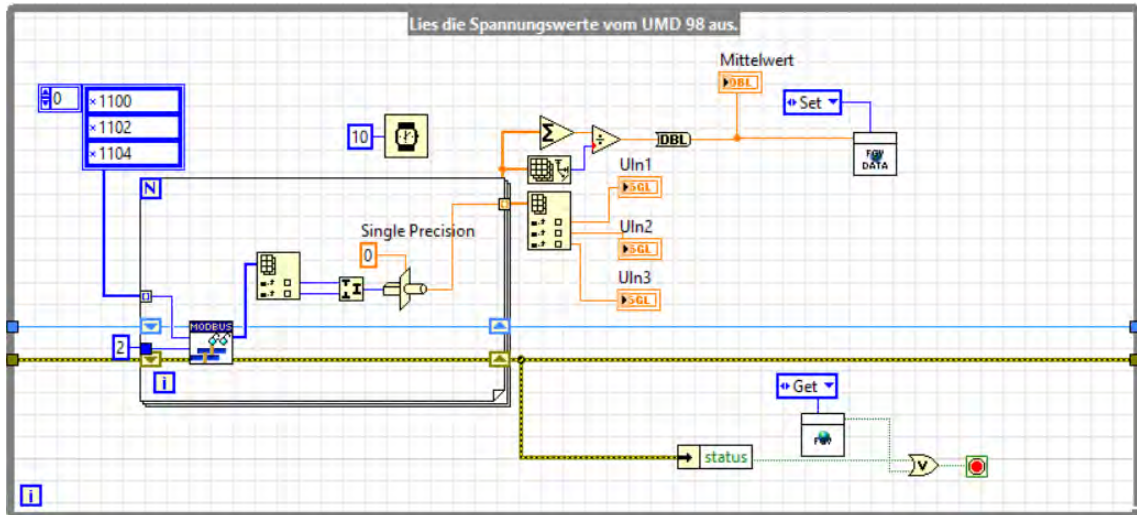


Abbildung 20: Schleife UMD

In der folgenden Grafik ist die For-Schleife abgebildet. Diese Schleife erfasst die Messwerte (Uln1, Uln2, Uln3) der Registeradressen x1100, x1102, und x1104 über Modbus. Die Werte werden in einem Array abgespeichert. Die Werte aus dem Array werden umgewandelt in den in Typ angegebenen Datentyp um, indem ein String aus Binärdaten konvertiert und anschließend zurückkonvertiert wird. Wenn die Daten vor der Umwandlung neu interpretiert werden müssen, wird dazu ein temporärer Puffer bereitgestellt.

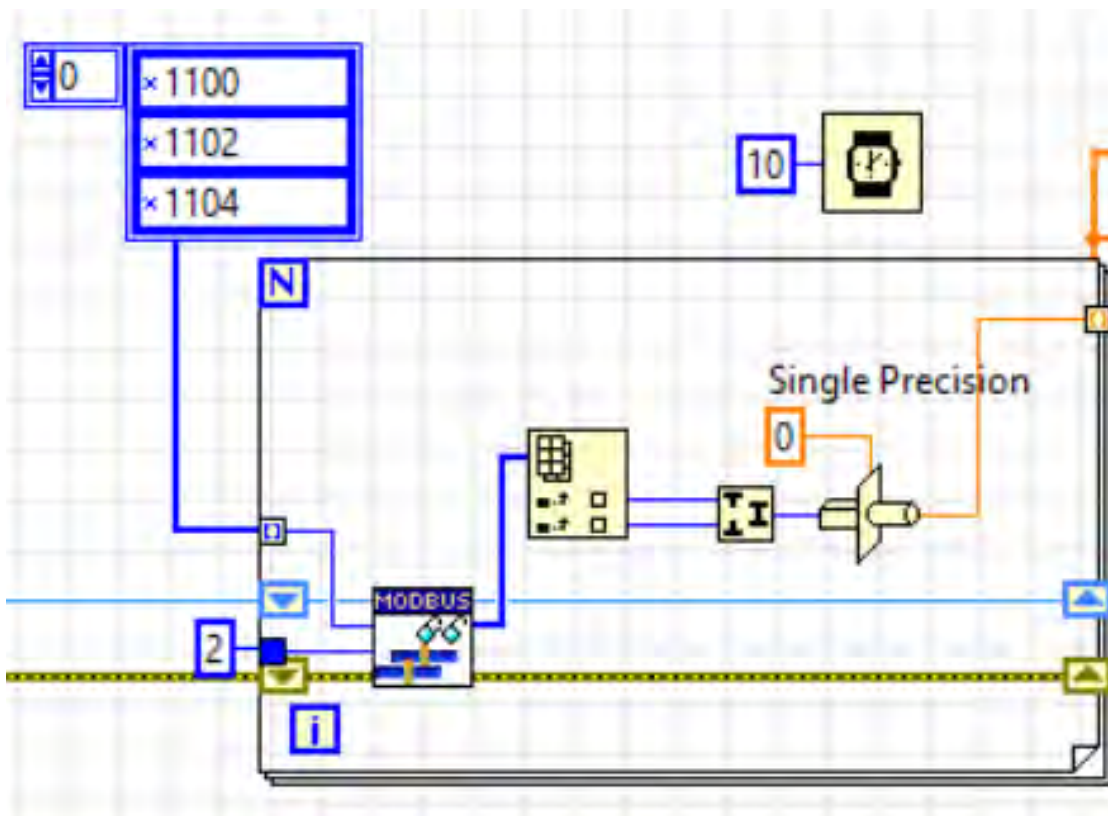


Abbildung 21: UMD for-Schleife

Nachdem die Messwerte aufgezeichnet und konvertiert wurden, wird die While-Schleife fortgesetzt. In dieser Schleife werden die Spannungswerte des UMD 98 berechnet und gemittelt. Anschließend werden die aufgezeichneten Messwerte (UIn1, UIn2, UIn3) ausgelesen. Der aus (UIn1, UIn2, UIn3) gebildete Mittelwert wird in FGV (Funktionale globale Variable) gespeichert.

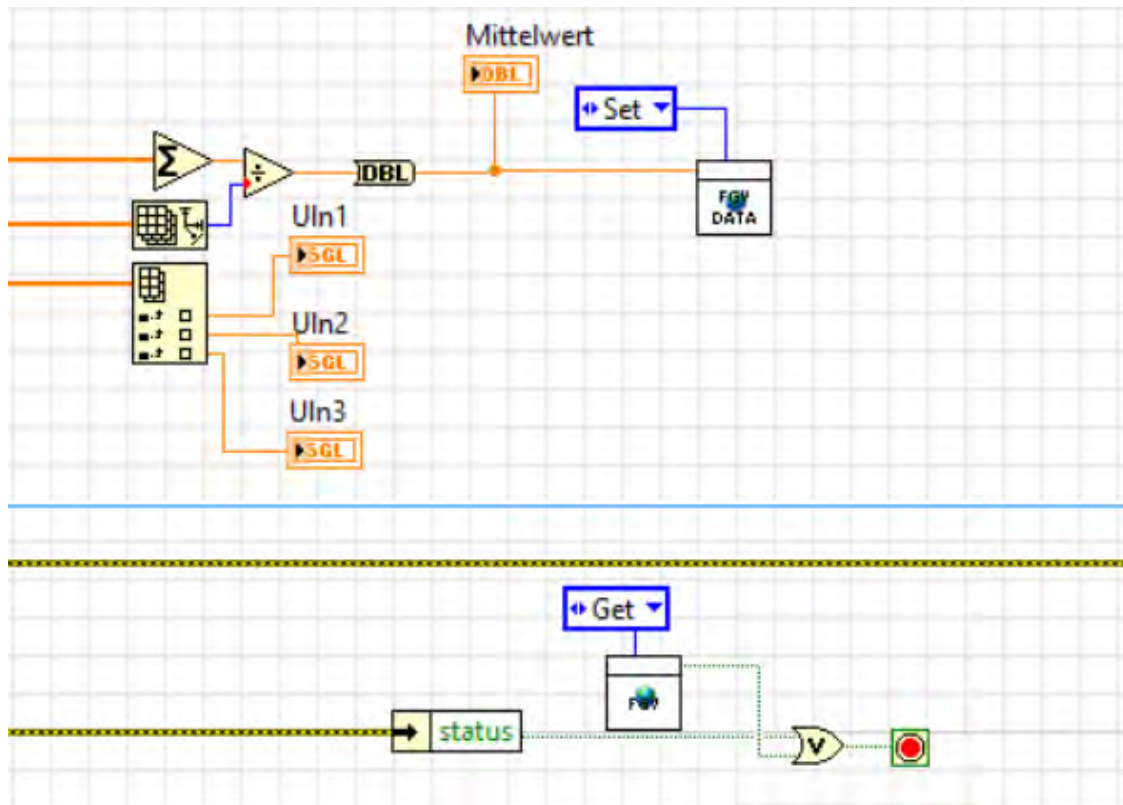


Abbildung 22: UMD Auslesen der Spannungswerte

## 6.2 Schleife-Regelung

Für eine einfache und kompakte Übersicht wurde in der While-Schleife der Regelung ein Case Struktur verwendet, die sogenannte Übergeordnete Palette. Es hat ein oder mehrere Unterdiagramme, oder Cases, von denen bei der Ausführung der Struktur eines ausgeführt wird. Der Wert des Auswahlanschlusses gibt das auszuführende Unterdiagramm an und kann den Typ "boolesch", "String", "Integer", "Enum" oder Fehler-Cluster haben. Bei einem Rechtsklick auf die Struktur öffnet sich ein Menü mit den Optionen zum Hinzufügen oder Entfernen von Cases. Mit dem Beschriftungswerkzeug kann in die Auswahlbeschriftung eingetragen werden, welcher Wert bzw. welche Werte durch den jeweiligen Case verarbeitet werden sollen.



## 6.2.1 Unterdiagramm Init

Die folgende Abbildung zeigt das Init-Unterdiagramm. Das Init-Unterdiagramm ist der erste Schritt in der Case-Struktur. Zunächst wird die Stromversorgung im Labor initialisiert. Die Gerätedaten werden im Schieberegister gespeichert und an der Frontplatte ausgegeben. Hier wird der gespeicherte Mittelwert initialisiert und an das Labornetzteil weitergegeben. Das Labornetzteil wird dann in den "Remote"-Modus versetzt und wartet auf Eingaben. Der Status wird überprüft und das folgende Unterdiagramm wird durchlaufen. Wenn ein Fehler auftritt, springt das Programm zum Fehlerunterdiagramm.

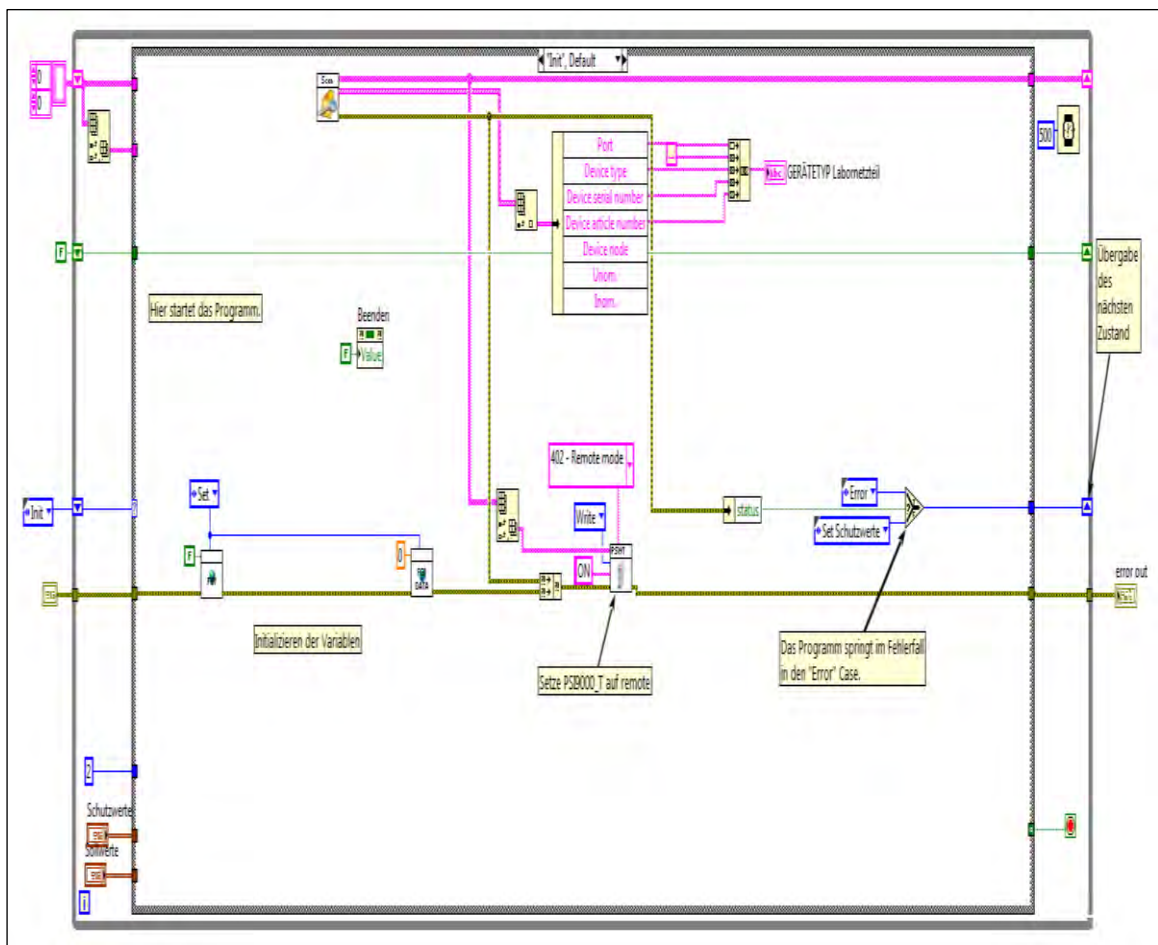


Abbildung 23: Zustand „Init“

## 6.2.2 Unterdiagramm Set Schutzwerte

Die folgende Abbildung zeigt das Unterdiagramm der Schutzwerteinstellung. Nachdem das Labornetzteil fehlerfrei initialisiert wurde, befindet sich das Gerät im „Remode“. Hier wird der Schutzwert eingestellt. Beim Automatischen Betrieb werden diese bereits automatisch eingestellt. Im manuellen Betrieb wartet das Programm auf eine Eingabe. Nach dem setzen der Schutzwerte, wird das Labornetzteil erneut auf „Remode“ gesetzt und steht bereit für die Übergabe des nächsten Zustands. Der Status wird weiterhin auf Fehler überprüft. Beim Fall eines Fehlers springt das Programm in den Unterdiagramm Error.

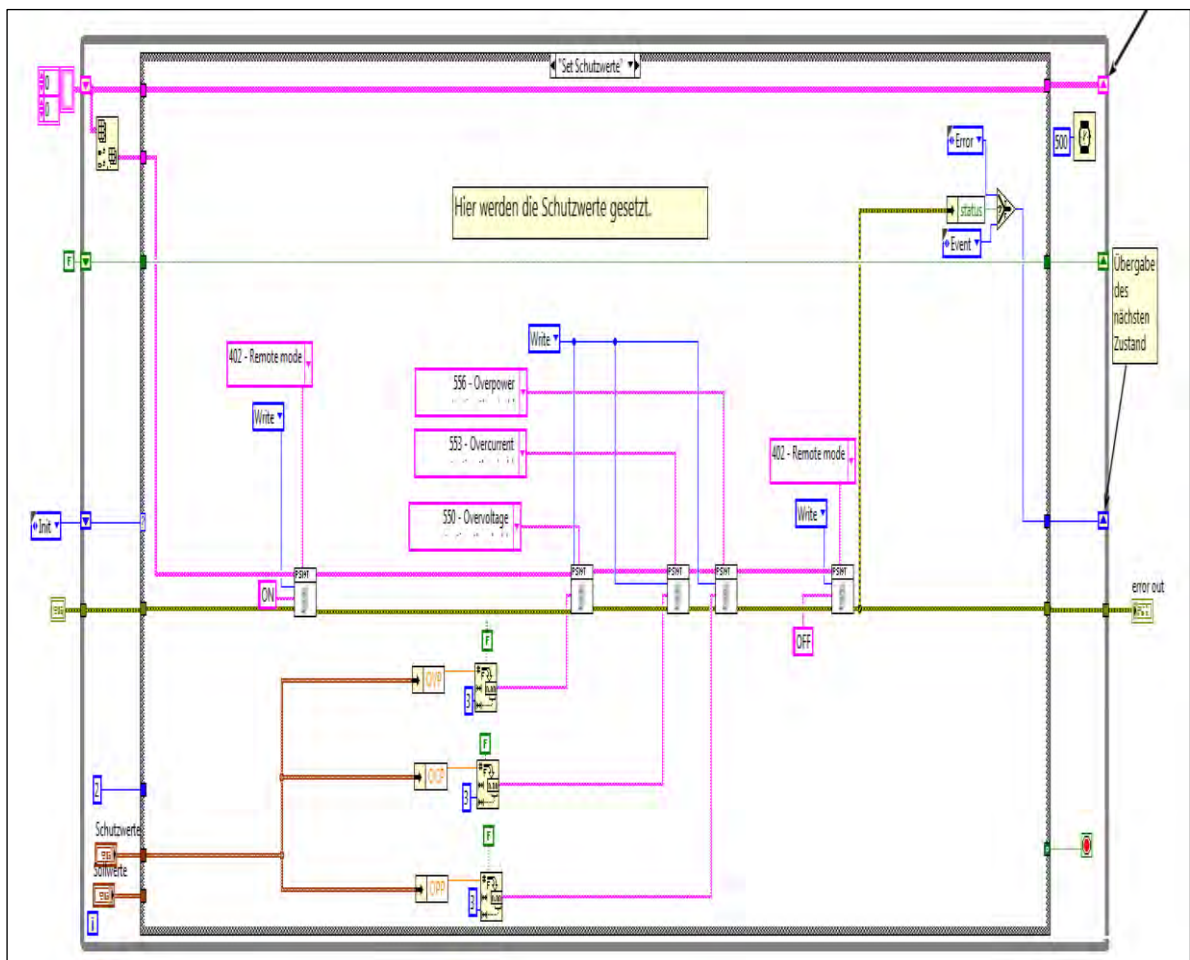


Abbildung 24: Setzen der Schutzwerten

### 6.2.3 Unterdiagramm Event

Die folgende Abbildung zeigt ein Unterdiagramm eines Ereignisses. Die Ereignisstruktur ist in das Unterdiagramm Event eingebaut. Das Ereignisstruktur hat ein oder mehrere Teildiagramme, oder Cases, wobei immer eines der Teildiagramme ausgeführt wird, wenn die Struktur ausgeführt wird. Die Ereignisstruktur wartet, bis ein Ereignis auf dem Frontpanel auftritt, und führt dann das zu dem Ereignis passende Teildiagramm aus. Der Ausgang Zeit bezieht sich auf das eingestellte Elementereignis. Bei einem Rechtsklick auf die Struktur öffnet sich ein Menü mit den Optionen zum Hinzufügen und Konfigurieren von Ereignis-Cases. Durch den Wert am Timeout-Anschluss in der linken oberen Ecke der Struktur wird festgelegt, wie viele Millisekunden auf ein Ereignis gewartet werden soll. Die Voreinstellung lautet -1 (kein Zeitlimit).

Im Unterdiagramm Event wird auf Benutzereingabe gewartet. Nach der Eingabe im Frontpanel springt das Programm in den definierten Zuständen (Start, Auto, Beenden, Schutzwerte).

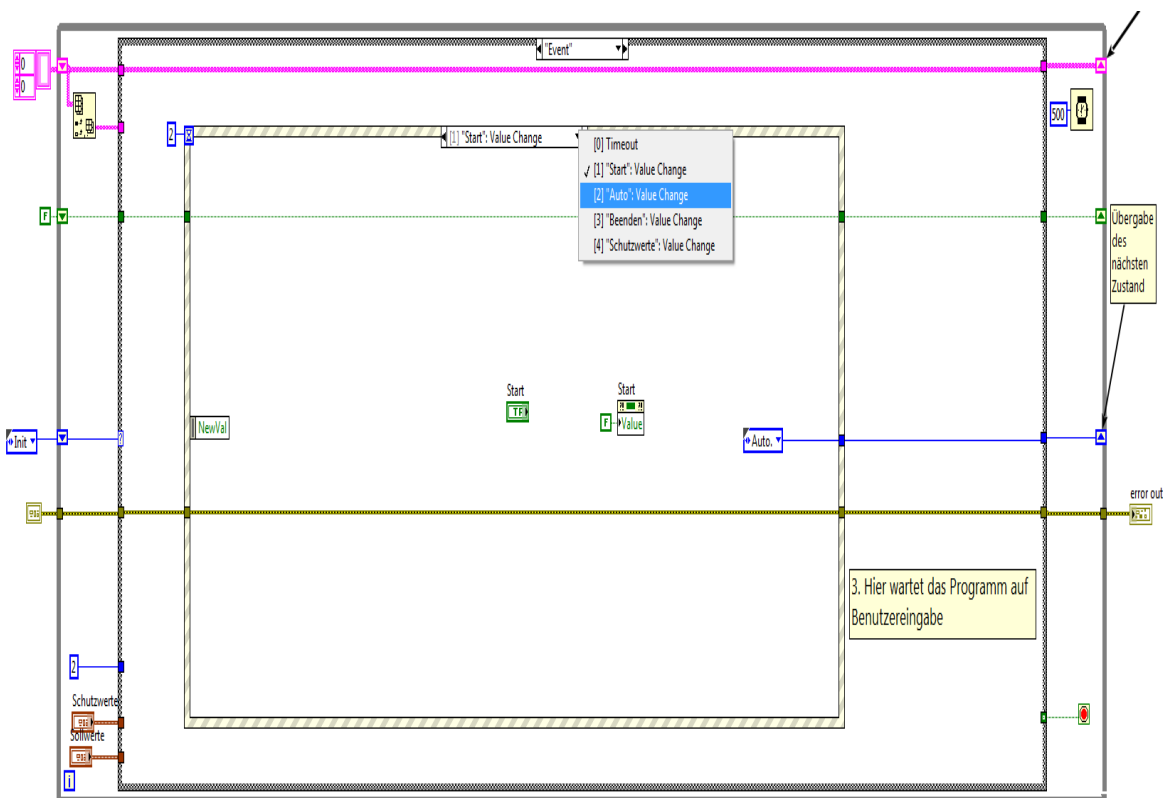


Abbildung 25: Benutzereingabe



in der folgenden Abbildung ist das Ereignisstruktur Timeout dargestellt. Hier wartet das Programm, ob der Schalter aus „Auto“ oder „Manual“ umgeschaltet wird. Dementsprechend springt das Programm auf den Zustand um.

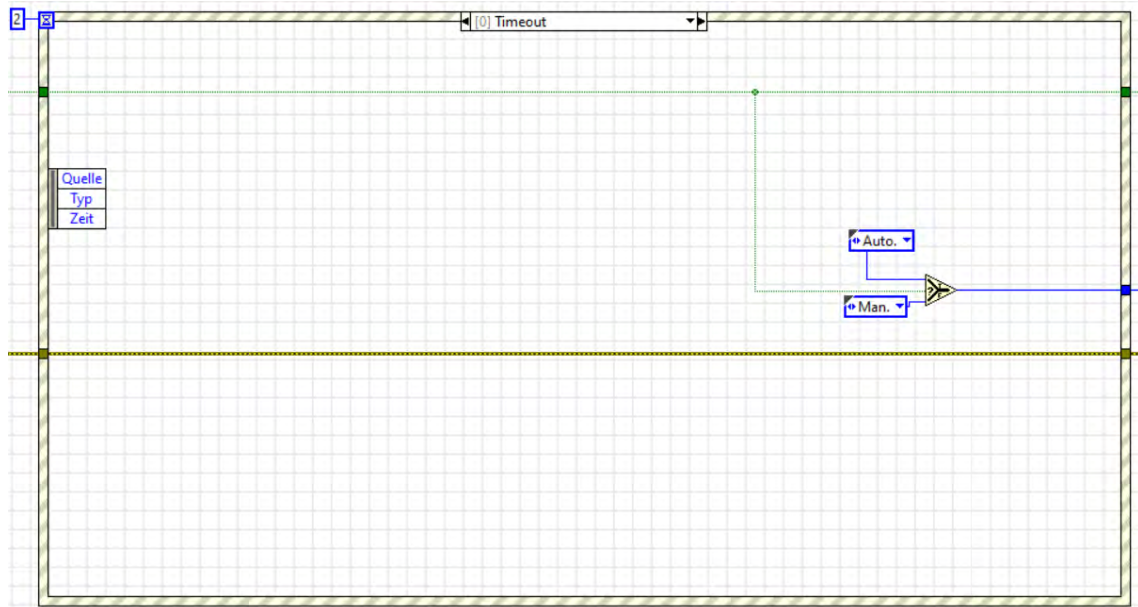


Abbildung 26: Timeout

Folgende Abbildung stellt die Ereignisstruktur Start: Werteänderung dar. In diesem Abschnitt des Ereignisstruktur Werteänderung überprüft das Programm, ob ein neuer Wert eingegeben wurde durch den Eingabeknopf „Start“.

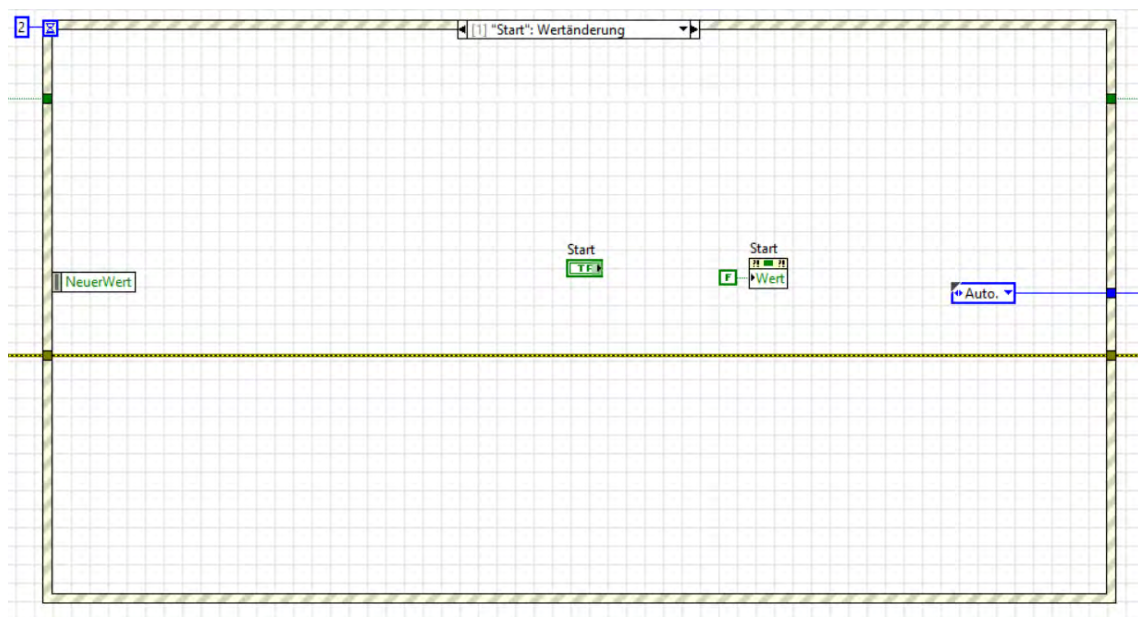


Abbildung 27: Start: Werteänderung

Die folgende Abbildung zeigt die Ereignisstruktur Auto: Werteänderung. Wenn Anwender den Schalter umgeschaltet, springt das Programm in den automatischen oder manuellen Betrieb. Wird der Schalter auf Manual Betrieb geschaltet, wird der Schutzwert auf null gesetzt.

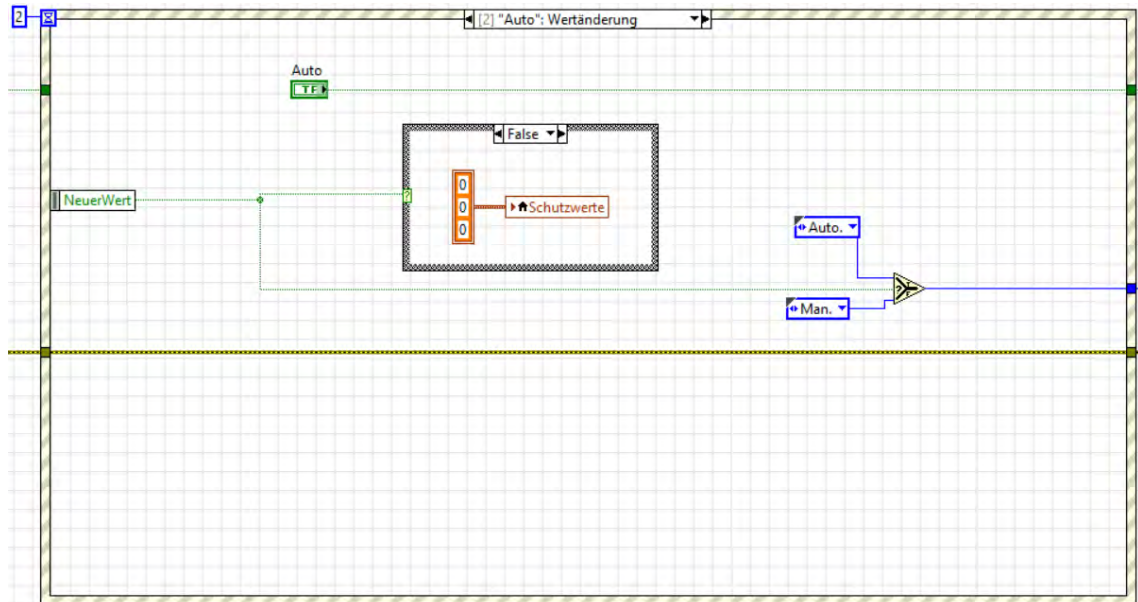


Abbildung 28: Auto: Werteänderung

Die folgende Abbildung zeigt das Ereignisstruktur Beenden: Werteänderung. Jetzt prüft das Programm, ob die Befehlsschaltfläche Beenden gedrückt wurde. Bei Betätigung wird der Wert gespeichert und das Programm springt zum Unterdiagramm Schließen.

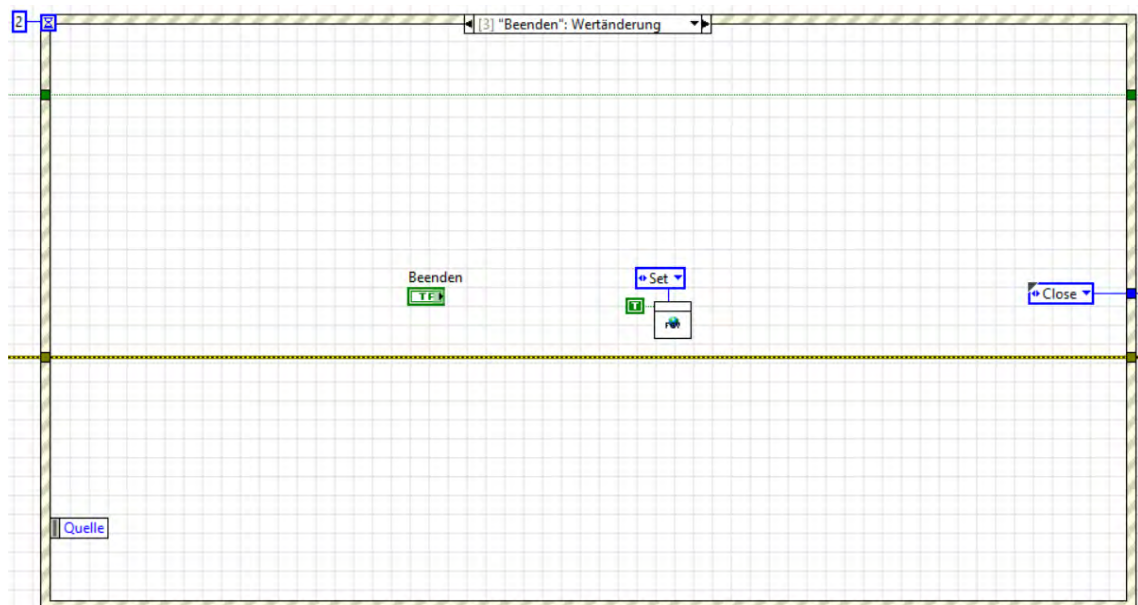


Abbildung 29: Beenden: Werteänderung

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau des Ereignisstruktur Schutzwert: Wertänderung. Das Programm wartet darauf, dass der Anwender hier die Schutzwert-Befehls-schaltfläche drückt, und das Programm springt zu dem Schutzwert-Einstellunterdiagramm.

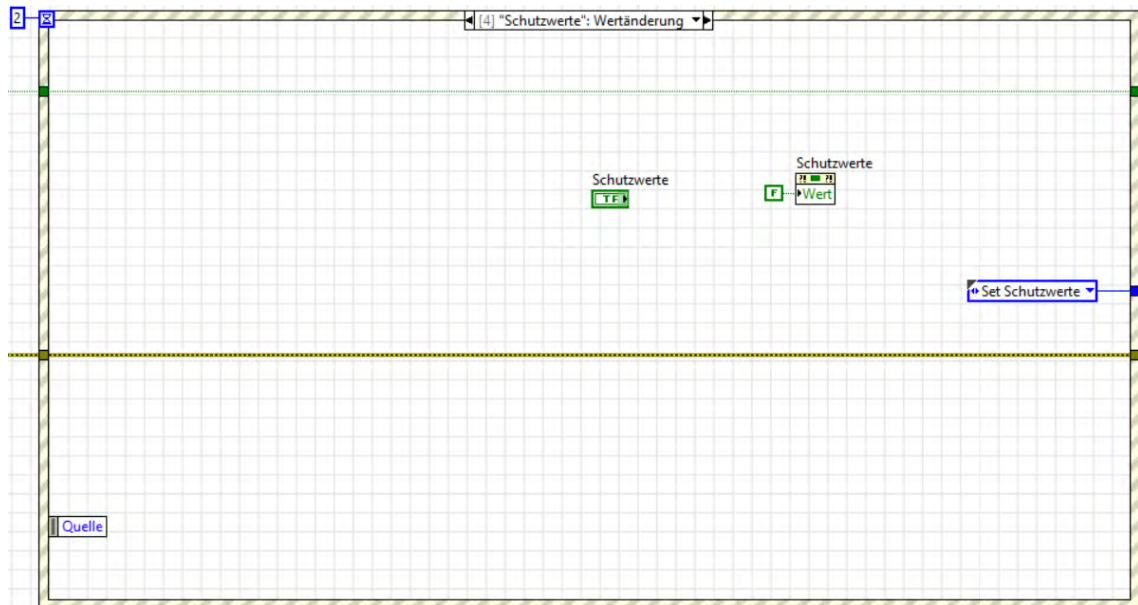


Abbildung 30: Schutzwerte: Werteänderung

## 6.2.4 Unterdiagramm Auto

Im Folgenden Abbildung wird das Unterdiagramm Auto beschrieben. Nachdem das Programm in den automatischen Modus gesprungen ist, wird die Labornetzteil auf Remote gesetzt und wartet auf Benutzereingaben. Hier befindet sich die Steuerung im Automatikmodus. Strom- und Leistungswerte werden automatisch auf 4 A und 300 W eingestellt. Der gespeicherte Mittelwert wird für die Regelung übertragen.

Der Regler wird folglich berechnet. Ein Sollwertbereich von 0 bis 100 wird definiert sowie die PID-Verstärkungswerte. Aus definierte Eingangswerte (Sollspannung, Ist-Spannung, dt etc.) wird der PID-Regler berechnet. Der Ausgabewert (Abweichung) wird wieder über das Labornetzgerät korrigiert. Die Werte Sollspannung, Istwert, Regelwert und Soll-Ist werden in dem Register gespeichert und in den Signalverlaufdiagramm weitergegeben, um die Werte auszulesen. Das Signalverlaufdiagramm ist eine besondere Art eines numerischen Anzeigeelements, in dem eine oder mehrere Kurven von Werten dargestellt werden können, die mit einer konstanten Rate erfasst wurden.

Abschließend wird noch der Status des Signals überprüft. Wenn ein Fehler auftritt, kehrt das Programm zum Ereignisstruktur Error zurück. Bei Eingabeänderungen kehrt das Programm zum Unterdiagramm Event zurück.

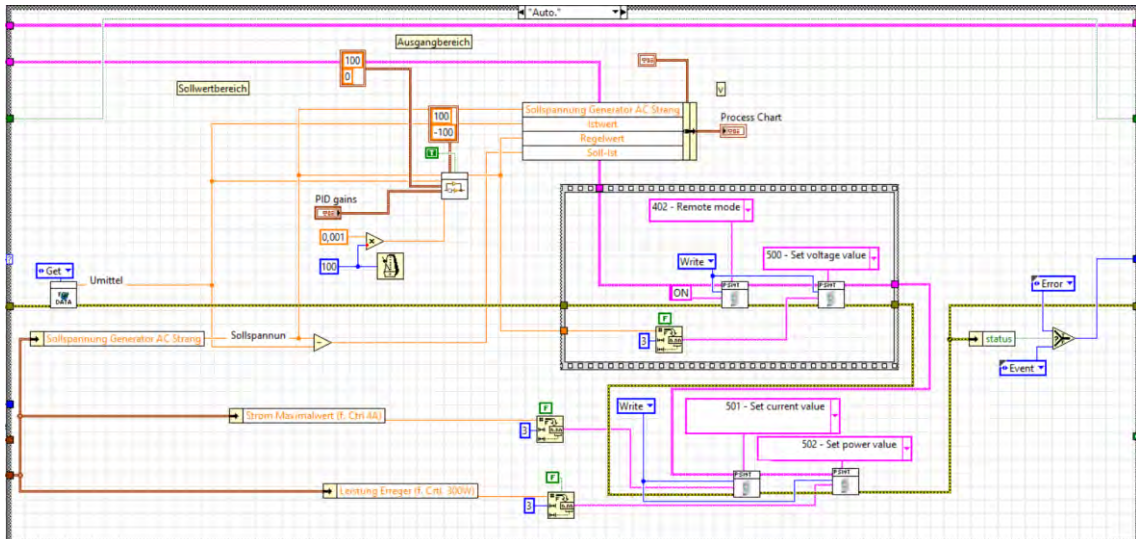


Abbildung 31: Regelung Auto Betrieb

### 6.2.5 Unterdiagramm Man

Die folgende Abbildung zeigt das Unterdiagramm Man. Hier befindet sich die Regelung im Manual Betrieb. Wenn das Programm in den manuellen Modus springt, wird der Schutzwert automatisch auf null gesetzt. Hier werden die gespeicherten Mittelwerte übertragen. Das Labornetzteil ist wie zuvor auf Remote eingestellt und wartet auf Benutzereingaben. Das Programm wartet darauf, dass der Anwender den Sollwert, die Sollspannung, den Sollstrom und die Sollleistung eingibt.

Die Berechnung der Regelwert erfolgt über die Formel  $U_{\text{soll}} + (U_{\text{soll}} \cdot \text{Abweichung}) / 100$ . Ein Sollwertbereich wird vom Benutzer definiert. Eine manuelle Regelung erfolgt, wenn der Ist-Spannungswert außerhalb der Sollwertbereich liegt.

Die Werte Sollspannung, Istwert, Regelwert und Soll-Ist werden in dem Register gespeichert und in den Signalverlaufdiagramm weitergegeben, um die Werte auszulesen. Abschließend wird noch der Status des Signals überprüft. Wenn ein Fehler auftritt, kehrt das Programm zum Ereignisstruktur Error zurück. Bei Eingabeänderungen kehrt das Programm zum Unterdiagramm Event zurück.



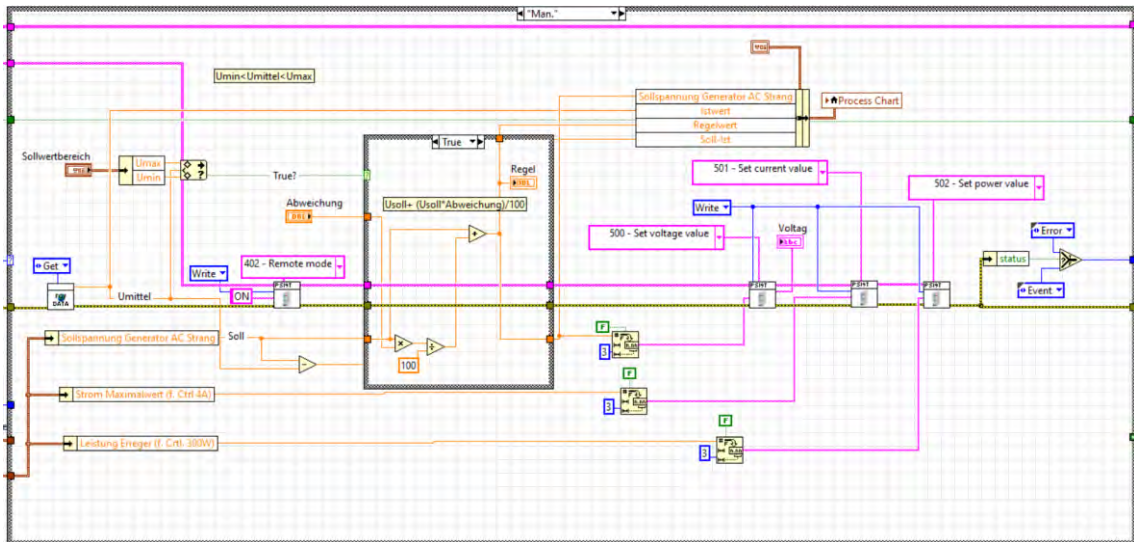


Abbildung 32: Regelung Manuel Betrieb

### 6.2.6 Unterdiagramm Error

Die folgende Abbildung zeigt das Unterdiagramm Error. Hier erfolgt die Fehlerkorrektur. Wenn ein Fehler auftritt, zeigt der Error einen Fehler an und das Programm geht zum Unterdiagramm Event.

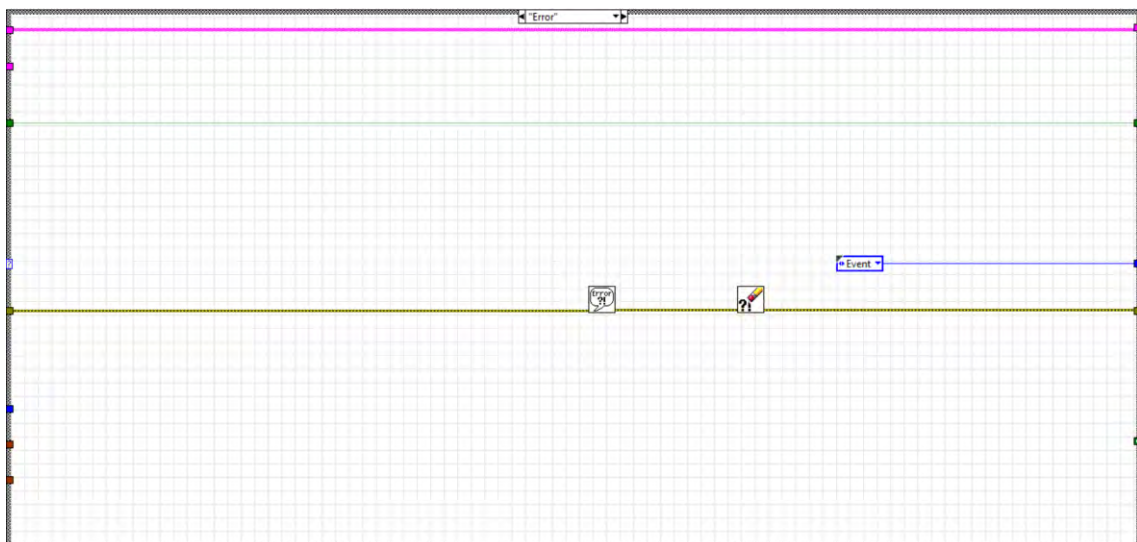


Abbildung 33: Error

## 6.2.7 Unterdiagramm Close

Schließlich wird das Unterdiagramm Close angezeigt. Das Programm endet hier. Der Laborstrom wird geschlossen und der Remote-Modus zurückgesetzt. Der zuletzt aufgezeichnete Wert wird gespeichert und das Programm springt an den Anfang des Unterdiagramms Init. Dann müssen Sie das Programm neu starten.

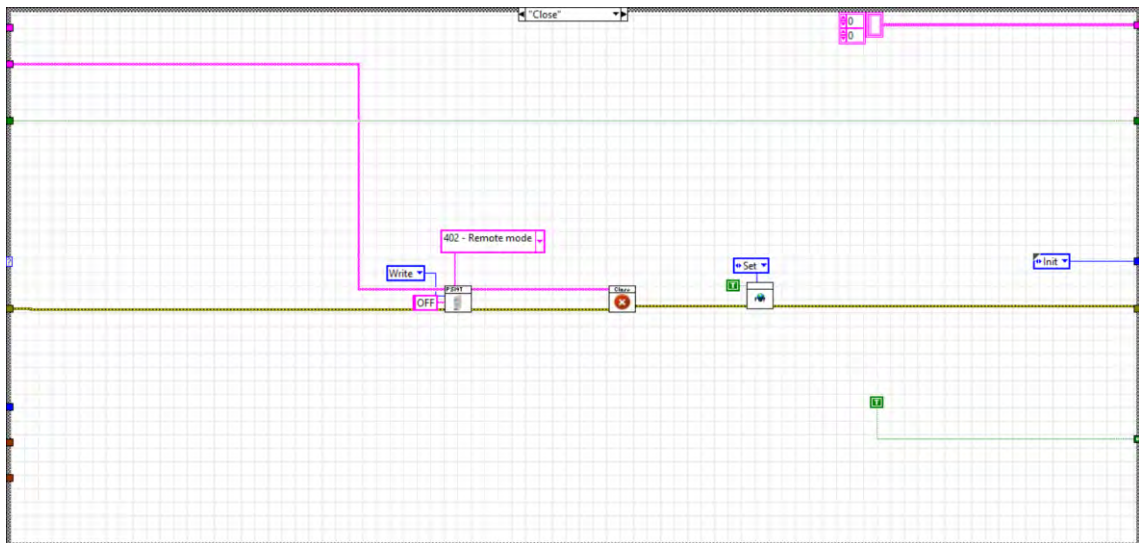


Abbildung 34: Programm beenden

## 7 Fazit

Das Ziel der Bachelorarbeit war eine Software zu entwickeln die zur Steuerung eines Synchrongenerators und dessen Antriebs dienen soll. Für Entwicklung wurde die graphische Programmiersprache LabVIEW verwendet, die dafür geeignet ist.

Aber sobald die Fernsteuerung über das Programm aktiviert wird, nimmt das Labornetzteil keine Werte mehr und es sperrt die Ausgänge erneut. Durch Rücksprache und Analyse mit dem Hersteller des Labornetzteils EA Automatik, ist als Resultat herausgekommen, dass das Gerät sehr sensibel auf Fernsteuerung reagiert. Die Ursache könnte verschiedene Gründe haben. Um das Problem zu lösen, müsste man verschiedene Vorgehensweise anwenden.

Erste Tests haben gezeigt, dass das Programm eine Kommunikation aufbauen kann. Die Daten werden erfasst und verarbeitet. Der Übergang der Zustandsänderung des Programms zum Zeitpunkt der Ausführung verlief reibungslos. Die Regelung funktioniert ebenso wie bei automatischem und manuellem Betrieb. Die Ausgangsspannung kann mit Hilfe des Reglers eingestellt werden. Das Signaldiagramm wird ausgelesen und alle benötigten Werte werden angezeigt. Es gab ein technisches Problem mit dem Labornetzteil. Daher können keine weiteren Ergebnisse erfasst werden. Am Display des Geräts gelingt man in den Einstellungen und man kann die Einstellungen zurückstellen und danach funktioniert es wieder. Sobald jedoch die Fernsteuerung programmgesteuert aktiviert wird, nimmt das Labornetzteil keinen Wert mehr an und sperrt den Ausgang wieder. Nach Rücksprache und Analyse mit dem Hersteller des Labornetzteils EA Automatik wurde festgestellt, dass das Gerät sehr empfindlich auf die Fernsteuerung reagiert. Es gibt verschiedene mögliche Ursachen. Um dieses Problem zu lösen, müssen verschiedene Ansätze verwendet werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Programm die gewünschten Anforderungen erfüllt. Um das experimentelle Labornetzteilproblem zu lösen, müssen sich mehr auf das Endgerät und LabVIEW konzentrieren.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: LabVIEW Startbildschirm [6] .....	8
Abbildung 2: Frontpanel [6] .....	9
Abbildung 3: Blockdiagramm [6] .....	10
Abbildung 4: Antriebssystem .....	11
Abbildung 5: Antriebssteuerung.....	12
Abbildung 6: Schaltschrank .....	14
Abbildung 7 Asynchronmaschine .....	15
Abbildung 8 Lastwiderstand .....	17
Abbildung 9: UMD 98 .....	18
Abbildung 10: Labornetzteil .....	19
Abbildung 11 Bedienoberfläche [11].....	20
Abbildung 12 Momenten Begrenzung.....	22
Abbildung 13 Expertenliste.....	22
Abbildung 14: Frontpanel der Steuerung .....	23
Abbildung 15: Ablaufdiagramm.....	24
Abbildung 16: Frontpanel UMD 98 .....	25
Abbildung 17: Frontpanel .....	26
Abbildung 18: Blockdiagramm der Steuerung.....	27
Abbildung 19:Blockschaltbild Modbus .....	28
Abbildung 20: Schleife UMD.....	29
Abbildung 21: UMD for-Schleife .....	29
Abbildung 22: UMD Auslesen der Spannungswerte .....	30
Abbildung 23: Zustand „Init“ .....	31
Abbildung 24: Setzen der Schutzwerten.....	32
Abbildung 25: Benutzereingabe.....	33
Abbildung 26: Timeout .....	34
Abbildung 27: Start: Werteänderung .....	34
Abbildung 28: Auto: Werteänderung.....	35
Abbildung 29: Beenden: Werteänderung.....	35
Abbildung 30: Schutzwerte: Werteänderung.....	36



Abbildung 31: Regelung Auto Betrieb.....	37
Abbildung 32: Regelung Manuel Betrieb .....	38
Abbildung 33: Error .....	38
Abbildung 34: Programm beenden.....	39
Abbildung 35: Speicherort .....	45
Abbildung 36: Desktop: Frontpanel .....	45
Abbildung 37: Desktop: Blockdiagram UMD .....	46
Abbildung 38: Desktop: Regler .....	46

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1: Komponenten &amp; Aufgaben .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabelle 2 Technische Daten Asynchronmaschine .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabelle 3 Technische Daten Lastwiderstand.....</b>	<b>17</b>
<b>Tabelle 4: technische daten des Labornetzteils.....</b>	<b>19</b>

## Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.walcher.com/de/produkte/energieuebertragung/netzregler-laengsregler.html>
- [2] [https://www.energie-lexikon.info/frequenzregelung\\_im\\_stromnetz.html](https://www.energie-lexikon.info/frequenzregelung_im_stromnetz.html)
- [3] <https://climate-score.org/glossar-spannungsregelung/>
- [4] <https://at.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/spannungsregler-leitfaden>
- [5] [https://www.elmag.de/de\\_de/avr-regelung-fuer-stromerzeuger-cdc78153-bc4f-4dc8-ac56-4059bcb3388a.html](https://www.elmag.de/de_de/avr-regelung-fuer-stromerzeuger-cdc78153-bc4f-4dc8-ac56-4059bcb3388a.html)
- [6] [https://www.ni.com/pdf/manuals/373427h\\_0113.pdf](https://www.ni.com/pdf/manuals/373427h_0113.pdf)
- [7] Kurt Reim, „LabVIEW Kurs“, Vogel Communications Group, 1.Auflage, Würzburg 2014, Seitenanzahl 240
- [8] Rainer Hagl, „Elektrische Antriebstechnik“, Carl Hanser Verlag, 3.Auflage, München 2021, Seitenanzahl 342
- [9] <https://www.pq-plus.de/produkte/hardwarekomponenten/umd-98/>
- [10] <https://elektroautomatik.com/shop/de/produkte/programmierbare-dc-laborstromversorgungen/dc-laborstromversorgungen/serie-psi-9000-t-br-320w-bis-1.5kw/515/labornetzgeraet-0...200v/0...25a?c=531>
- [11] Jan Schwarz, Masterthesis  
„Realisierung des Antriebssystems eines Generatorprüfstandes“,  
Technische Hochschule Köln Institut für elektrische Energietechnik
- [12] <https://de.wikipedia.org/wiki/Moore-Automat>

## Anhang

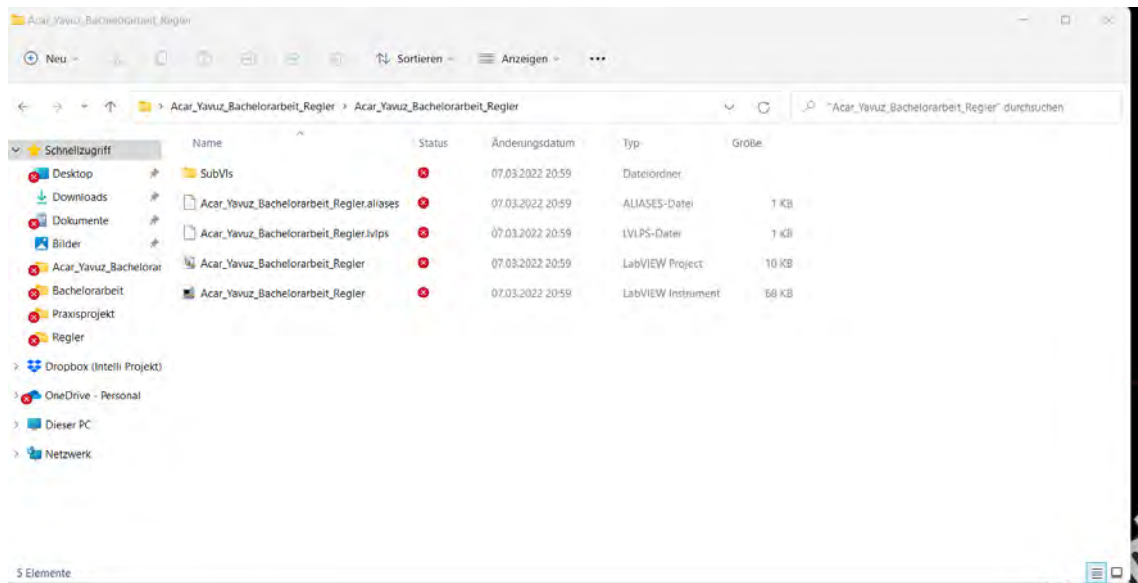


Abbildung 35: Speicherort

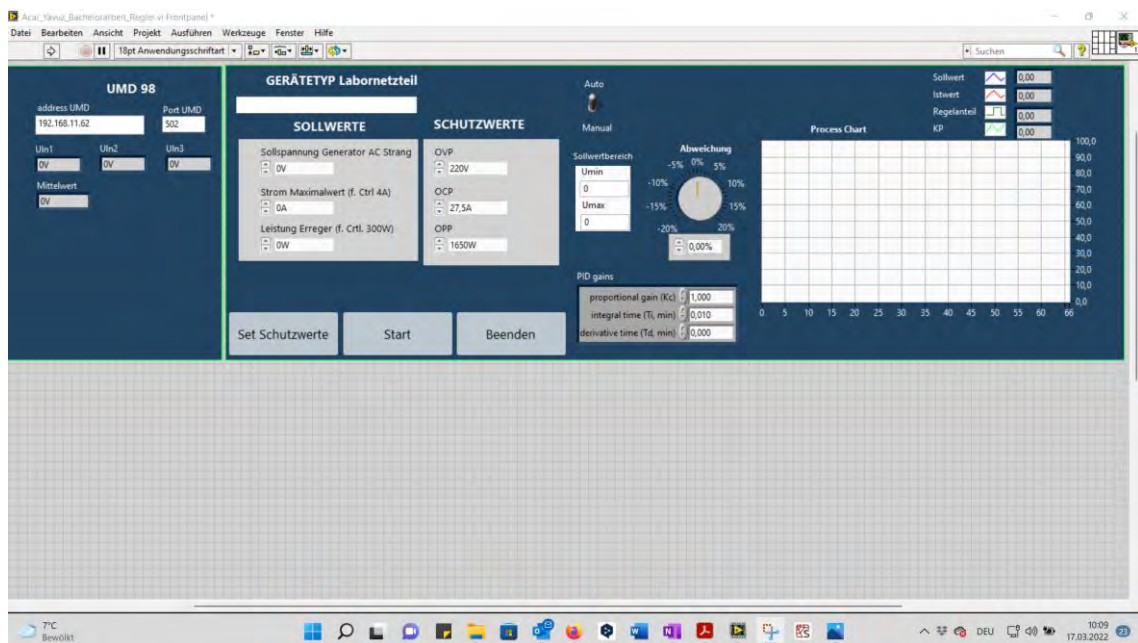


Abbildung 36: Desktop: Frontpanel

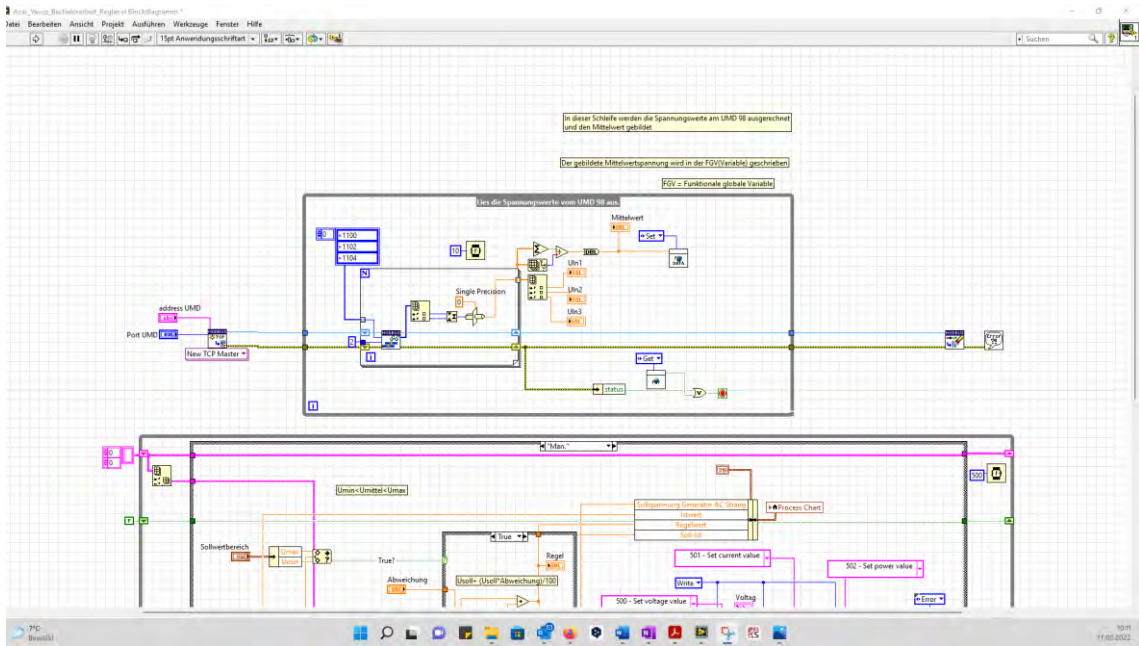


Abbildung 37: Desktop: Blockdiagram UMD

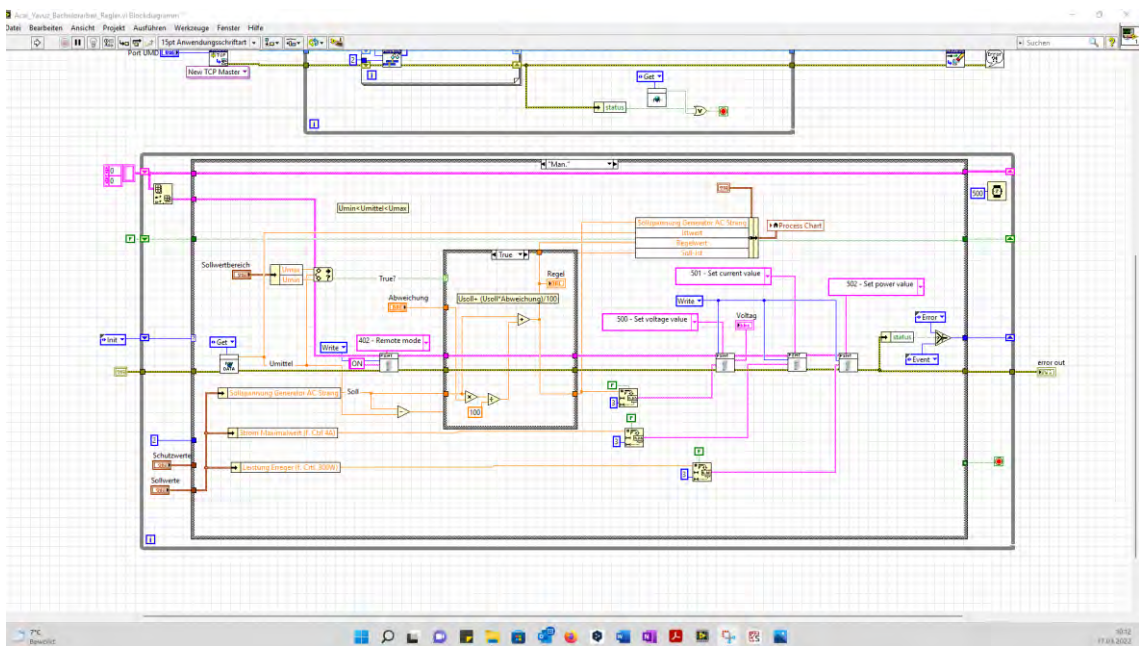


Abbildung 38: Desktop: Regler