Studienarbeit

an der

Berufsakademie Sachsen
Staatliche Studienakademie Riesa
Studiengang Labor- und Verfahrenstechnik

Kurs: LV 6UT14-3 Studienrichtung: Umwelttechnik

Thema:

LabVIEW-Temperatur-Regelung an einem verfahrens-technischen Modell

Eingereicht von:

Tom Kühne

Thomas-Müntzer-Straße 6

04808 Lossatal

Betreuer: Dr.-Ing. Hans Schneider

Inhalt

Abbildungsverzeichnis II

1. Einleitung 1

1.1 Hintergrund 2

1.2 Theoretische Grundlagen 3

1.3 Verfahrenstechnisches Modell (VTM) 5

2. Material und Methodik 9

2.1 Geräte 9

2.2 Programmtechnische Umsetzung 10

2.2.1 Frontpanel 10

2.2.2 Blockdiagram 14

3. Ergebnisse und Diskussion 21

3.1 Vergleich Temperaturhalteverfahren 23

4. Fazit 25

5. Literatur 26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Grundaufbau einer State Machine……..4

Abbildung 1.2: verfahrenstechnisches Modell in Betrieb……...5

Abbildung 1.3: Drehzahlmessung über optisches Reflexionsmessgerät……....6

Abbildung 0.4: Blockschaltbild der NI-LabVIEW-VTM-Steuerung……...7

Abbildung 1.5: NI-USB 6501 mit Verbindung zum VTM……....8

Abbildung 2.1: Frontpanel des VTM……....10

Abbildung 2.2: Blockdiagram Case-Zustand 1 „T soll anfahren“.....….....15

Abbildung 2.3: Blockdiagram Case-Zustand 2 „T soll halten“……....17

Abbildung 2.4: unipolares Rechtecksignal mit Tastverhältnis von 50%…....…...…...17

Abbildung 2.5: Blockdiagram der Drehzahlmessung und der Datenspeicherung.....19

Abbildung 2.6: gesamtes Blockschaltbild des VTM…….20

Abbildung 3.1: Temperatur-Verlaufs-Diagramm bei 45 °C……..22

Abbildung 3.2: Vergleich des Überschwingverhaltens der Heizsteuerungen……24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Datenaufnahmeformat der Speicherfunktion……..21

1. Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist es, mit Hilfe eines erstellten LabVIEW Programmes ein Mess- und Regelsystem zu erweitern. Dies erfolgt an einem verfahrenstechnischem Modell (VTM) der Studienakademie Riesa, welches es ermöglicht, erstellte Programme praktisch umzusetzen und zu visualisieren. Die ursprüngliche Steuerung über eine veraltete SPS-Programmiereinrichtung wurde durch ein kompaktes LabVIEW Steuerelement von National Instruments ersetzt. [1]

An diesem verfahrenstechnischen Modell wird die Temperatur-Regelung des beheizbaren Reaktors mit Rührer-Drehzahlmessung untersucht. Mittels einer LabVIEW-programmierten State Machine wird der Temperaturverlauf der Reaktorflüssigkeit durch das NI USB-6501 Modul geregelt. Gleichzeitig wird die Rührer-Drehzahl durch Reflexlichttaster-Signale über den Countereingang des Moduls messtechnisch erfasst. Die Messung der Ist-Temperatur erfolgt mit einem Multimeter, dessen Daten in die LabVIEW State Machine einfließen. Diese regelt den Ist-Temperaturverlauf durch getaktete Ansteuerung des Heizers entsprechend der eingestellten Solltemperatur.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Umsetzung der konkreten automatisierten Heizansteuerung während des laufenden Prozesses der State Machine. Dabei soll die Steuerung des Heizstabes über das vorhandene NI USB-6501 Modul zur Erhitzung und anschließenden Isothermie im Reaktor verwendet werden. Der Heizer hat dabei nur eine An/Aus Funktion und kann nicht anderweitig gedrosselt verwendet werden. Darüber hinaus soll eine automatische Erfassung der Messdaten erfolgen.

1.1 Hintergrund

Der Begriff LabVIEW steht für Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Das bedeutet so viel wie ein grafikbasierter Arbeitsplatz für Ingenieurtechnische Anwendungen im Laborbetrieb. Dabei können strukturiert und objektorientiert Prozessvisualisierung durch grafische Programmierung vorgenommen werden.

Die Programmiersprache entstand Anfang der 1980er Jahre durch die Messtechnikfirma National Instruments. Maßgeblich beteiligt an der Entwicklung waren unter anderem Jeff Kodosky und Jim Truchard. Ihr Ziel war es eine anwenderfreundliche und vor allem anschauliche Programmiersprache zu entwickeln. Um der immer weiter fortschreitenden komplexeren Technik gerecht zu werden, wurde nach einer besseren Darstellungsmöglichkeit gesucht. Dafür wurde auf eine zeilenweise und textbasierte Programmierung der Anwendungen verzichtet und auf sogenannte Funktionsblöcke umgestellt. Diese Funktionsblöcke werden in einem Blockdiagram dargestellt und weisen dieselbe Struktur wie die Messgeräte auf, die sie steuern sollen. In den folgenden Jahren wurde LabVIEW zu einer universellen Programmiersprache weiterentwickelt.

Der Erfolg dieser Programmiersprache - vor allem in den USA - gründet sicher auf der vereinfachten Komplexität und der graphischen Funktionsblöcke. Durch die graphischen Elemente ist es möglich, eine schnelle und maßgeschneiderte Benutzeroberfläche für die spezifischen Anwendungen, sowie vielfältige Programmieransätze für die Bearbeiter zu erstellen. Ursprünglich war es vorwiegend für den Bereich der MSR-Technik (Mess-, Steuer- und Regelungstechnik) gedacht, was auch heute noch das Hauptanwendungsgebiet ist. Allerdings können durch viele neue Module und Features auch andere Anwendungsmöglichkeiten abgedeckt werden. Des Weiteren bietet LabVIEW eine erstklassige Hardwareintegration mit einem entsprechenden USB-Steuergerät. Doch nicht nur die Steuerung von Geräten sondern auch die Datenverwaltung ist mit diesem Programm möglich. Durch die Speicher-, Verwaltungs- und Berichterstellungswerkzeuge von LabVIEW, werden die Komplexitäten des Schreibens und Lesens von Daten und der Berichterstellung abstrahiert. Dadurch kann sich der Anwender auf die Erfassung der Daten konzentrieren. Auch aus

diesem Grund kann LabVIEW für den gesamten Entwicklungsprozess eingesetzt werden. Diese Programmiersprache ist vor allem für Ingenieure und Wissenschaftler im Bereich der technischen und wissenschaftlichen Applikationen geeignet, die sich nicht mit der Syntax und der Semantik von textbasierten Programmiersprachen auseinandersetzen wollen. Durch die besondere Art Prozesse und Algorithmen in Form von Diagrammen darstellen zu können, bietet es den Anwendern eine sehr natürliche und intuitive Art der Veranschaulichung. Durch dieses Konzept konnte sich LabVIEW in bestimmten Bereichen gegenüber anderen Programmiersprachen durchsetzen [1,2]. In Deutschland ist der Verbreitungsgrad gegenüber dem amerikanischen Markt eher gering, doch wird in Zukunft diese Programmiersprache vor allem in ingenieurstechnischen Bereichen vermutlich weiter an Bedeutung gewinnen.

1.2 Theoretische Grundlagen

Die in LabVIEW enthaltenen Funktionsblöcke werden unter Anwendern als virtuelles Instrument (VI) bezeichnet. Im Programm gibt es zwei essentielle Fenster für die Erstellung und Bearbeitung der Programmierung. Diese sind zum einen das Frontpanel und zum anderen das Blockdiagram. Bei der Erstellung eines neuen Programms bzw. eines neuen VI´s öffnet sich die Bedienoberfläche - das Frontpanel. Darauf sind alle Anzeige- und Bedienelemente in ihrer grafischen Darstellung abgebildet. Bedienelemente sind Eingabegeräte die manuell getätigte Informationen an das Blockdiagram übermitteln. Anzeigeelemente hingegen wie z.B. eine LED (Leuchtdiode) oder ein Graph erzeugen anhand der Informationen aus dem Blockdiagram ihre jeweilige Darstellungsmöglichkeit. Dabei muss allerdings in unterschiedliche Datentypen unterschieden werden. Die Differenzierung erfolgt in numerische, boolesche und string Datentypen, die bei entsprechender Verbindung miteinander kommunizieren können.

Bei dem hier verwendeten VI handelt es sich um eine State Machine. Dies steht für Zustandsmaschine oder auch Zustandsautomat. Diese State Machine kann verschiedene Zustände besitzen und wird zur Automatisierung diverser Prozesse verwendet. Ein Zustand kann dabei in einen anderen übergehen oder auch den

Prozess beenden. Für eine State Machine bedarf es mindestens einer While-Schleife, einem Enum, einer Case-Struktur und eine Verbindung über die Schieberegister. Die While-Schleife bewirkt eine immer wiederholende Ausführung der Vorgänge bis der Stopp-Button betätigt wird. Somit wird eine erste Automatisierung erzeugt. Das Enum übermittelt eine Auswahlliste von String-Daten über die While-Schleife hin zur Case-Struktur. Mit diesem Enum werden die Zustände somit erstellt. Eine Verknüpfung wird über eine lokale Variable des Enums hergestellt. Die Bearbeitung der Zustände erfolgt dann in der Case-Struktur. Das Enum befindet sich außerhalb der While-Schleife und wird über dessen Schieberegister mit der Case-Struktur verbunden. Schieberegister transportieren Werte vom Ende einer Schleifenwiederholung zum Beginn der nächsten. Fertig sieht dies dann so aus (s. Abbildung 1.1). Diese State Machine bildet auch die theoretische Grundlage für das hier programmierte verfahrenstechnische Modell.

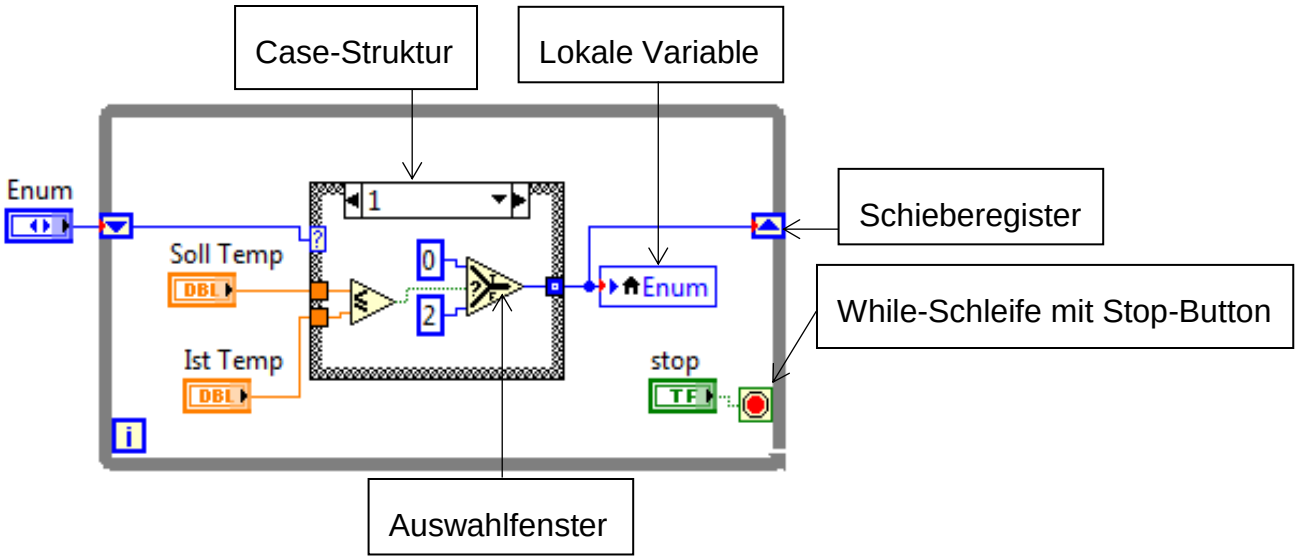

Abbildung 1.1: Grundaufbau einer State Machine

In der Case-Struktur werden dann die programmiertechnischen Schritte eingefügt, die der jeweilige Zustand ausführen soll. Über ein Auswahlfenster kann durch „true“ und „false“ Bedingungen zwischen den einzelnen Cases gewechselt werden. Dadurch wird die eigentliche Automatisierung erreicht, die ein manuelles Umschalten der Cases überflüssig macht.

1.3 Verfahrenstechnisches Modell (VTM)

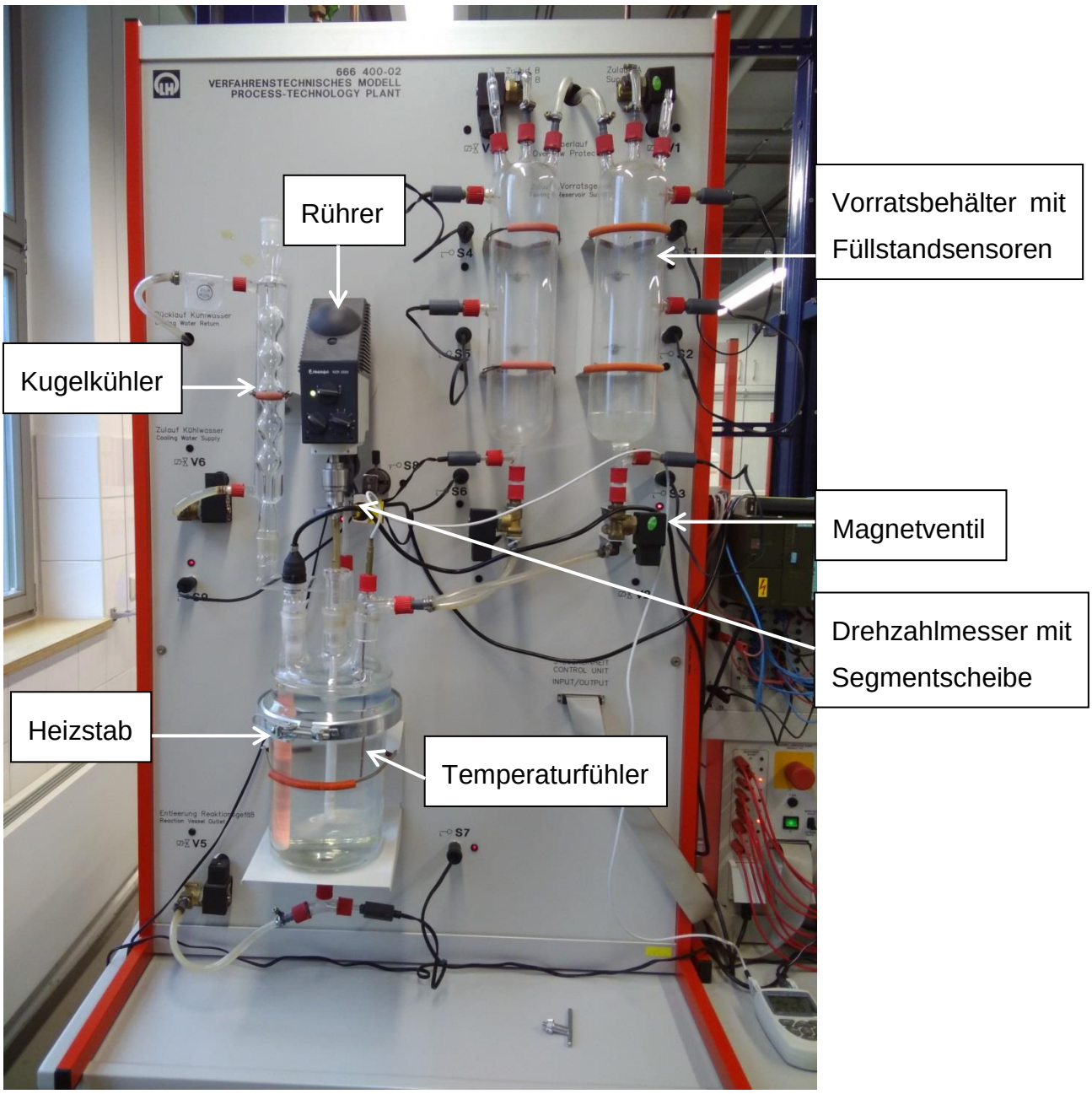

Abbildung 1.2: verfahrenstechnisches Modell in Betrieb

Das verfahrenstechnische Modell (VTM) in Abbildung 1.2, wie es im Labor der Berufsakademie Riesa vorzufinden ist, besteht aus einer Grundplatte mit daran angebrachten Glasgefäßen, die über diverse Schläuche miteinander verbunden sind. Zu den Glasgefäßen gehören ein Glasreaktor und zwei Glasvorratsgefäße. Die Befüllung bzw. Entleerung dieser wird über Magnetventile und Füllstandssensoren gesteuert. Das VTM verfügt über eine Pumpe, sowie einem

Heizstab und Rührer im Reaktor. Zusätzlich ist der Betrieb eines Kugelkühlers als Abluftkühler möglich. Die Ermittlung der Rührerdrehzahl ist über ein optisches Reflexionsmessgerät eingerichtet wurden. Dazu wurde ein separates Messgerät in das VTM integriert und an die Steuereinheit angeschlossen. Im Betrieb sieht die Drehzahlmessung dann wie in Abbildung 1.3 aus.

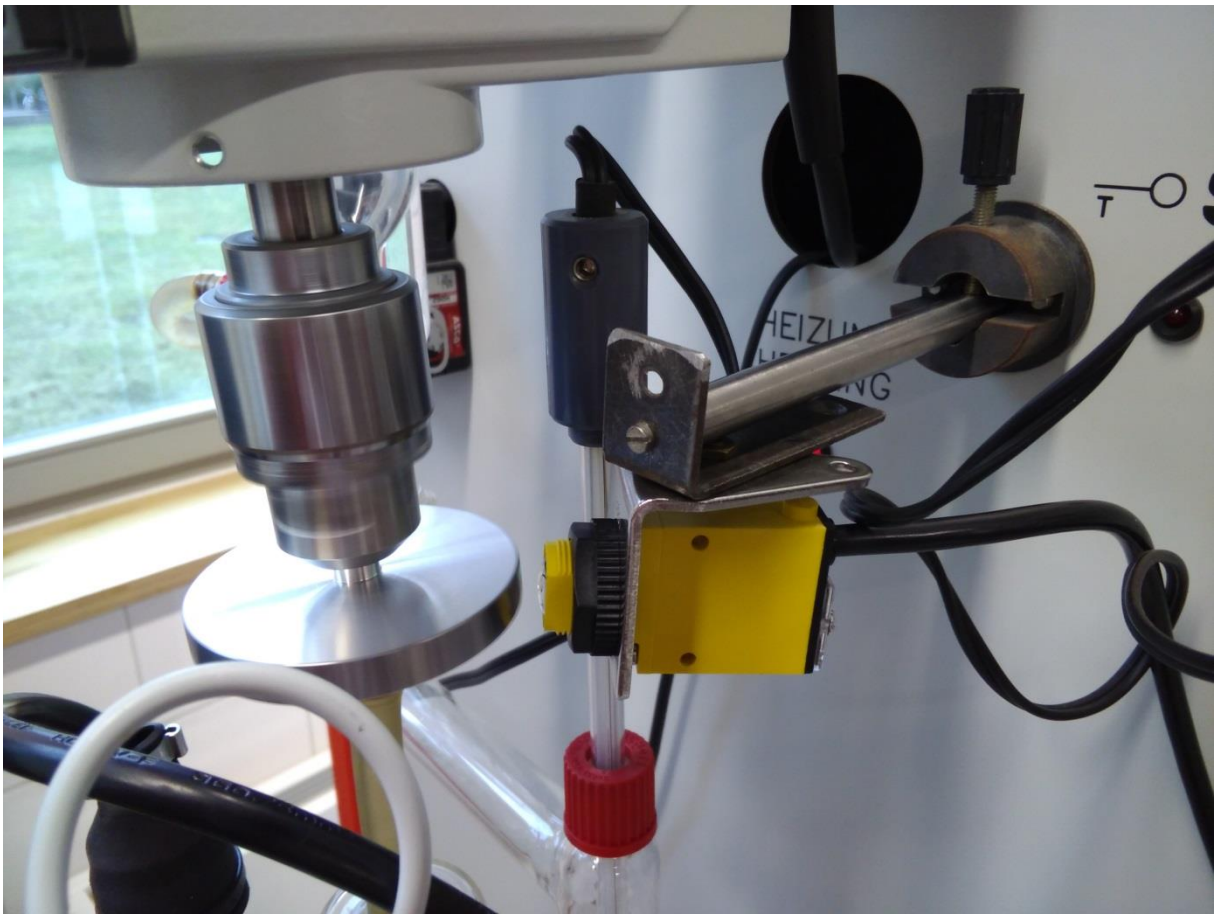

Abbildung 1.3: Drehzahlmessung über optisches Reflexionsmessgerät

Das Reflexionsmessgerät sendet einen kontinuierlichen Strahl aus, welcher von einer Segmentscheibe, die am Rührer befestigt ist, je nach Segment unterschiedlich reflektiert wird. Über ein einfaches Zählprinzip werden die Daten in der Software dann in die Drehzahl umgerechnet.

Die Füllstandsensoren werden durch eine Konduktivmessung zur Signalgebung bewegt. Dabei findet eine Stromsignaländerung bei Veränderung des elektrischen Wiederstandes statt. Die Sensoren besitzen zwei Elektroden, zwischen denen eine Wechselspannung angelegt wird. Ist eine leitfähige Flüssigkeit (z.B. Leitungswasser) anwesend, wird Strom geleitet. Beim Schließen oder Öffnen, des mit einer geringen

Wechselspannung betriebenen Stromkreises, werden binäre Ausgangssignale erzeugt. Diese Signal Condition kann von den Eingängen des NI USB-6501 Moduls erfasst werden (s. Abbildung 1.4). In den zwei Vorratsglasbehältern werden Füllstandssensoren als Voll-, Mittel- und Leermelder eingesetzt. Im Reaktor gibt es je einen Sensor für Voll- und Leeranzeige [1]. Des Weiteren verfügt der Reaktor über ein Temperatursensor, der über ein USB-Interface mit dem Computer und der NI LabVIEW Software verbunden ist und somit die Temperatureinbindung in °C in das Programm ermöglicht. Das NI USB-6501 kann nicht nur Signale über einen Eingang aufnehmen, sondern auch über einen Ausgang zur Steuerung aussenden. In diesem Fall übernimmt die Optocouple-Relais-Unit die Steuerung der 6 Ventile, sowie der Pumpe, dem Heizer und dem Rührer. Das in Abbildung 1.4 dargestellte Blockschaltbild verdeutlicht die nötigen Einzelverbindungen zwischen der Hardware- und der Softwarekomponente.

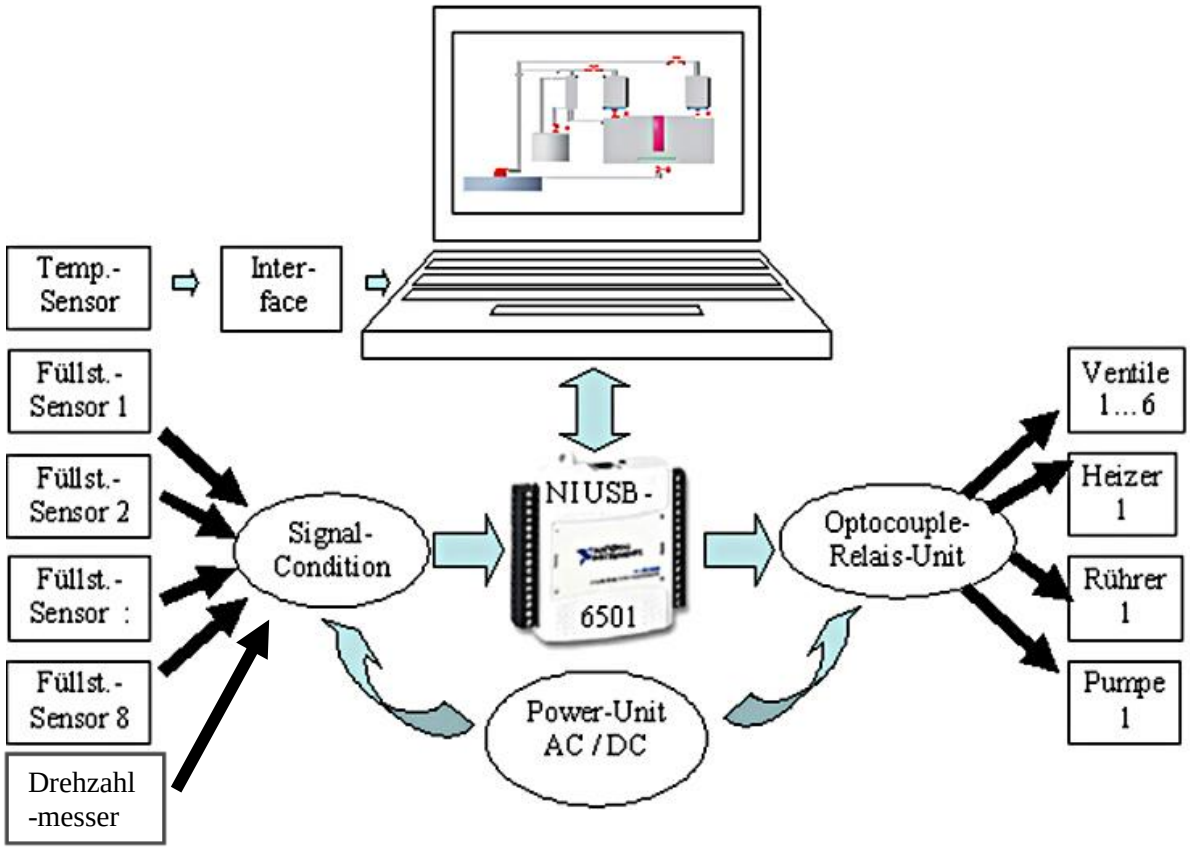

Abbildung 1.4: Blockschaltbild der NI-LabVIEW-VTM-Steuerung [1]

Diese Hardwareanbindung erfolgt über sogenannte DAQ-Assistenten, die es der Software ermöglichen über das Steuergerät auf externe Geräte zuzugreifen. Beim Start des Programmes wird eine Niederspannung von 12 V an das NI USB-6501 angelegt. Diese geringe Spannung ist für den Betrieb der Platine und der Relais ausreichend. Die Stromversorgung erfolgt über ein zusätzliches Netzteil (Power-Unit). Für den Betrieb des Heizstabes und des Rührers ist eine Nachverstärkung der Spannung, um deren geforderte hohe Leistung abrufen zu können, über separate Netzteile auf 220 V essentiell.

Abbildung 1.5 zeigt den realen Aufbau der Versuchsanlage in Bezug auf das NI-USB 6501.

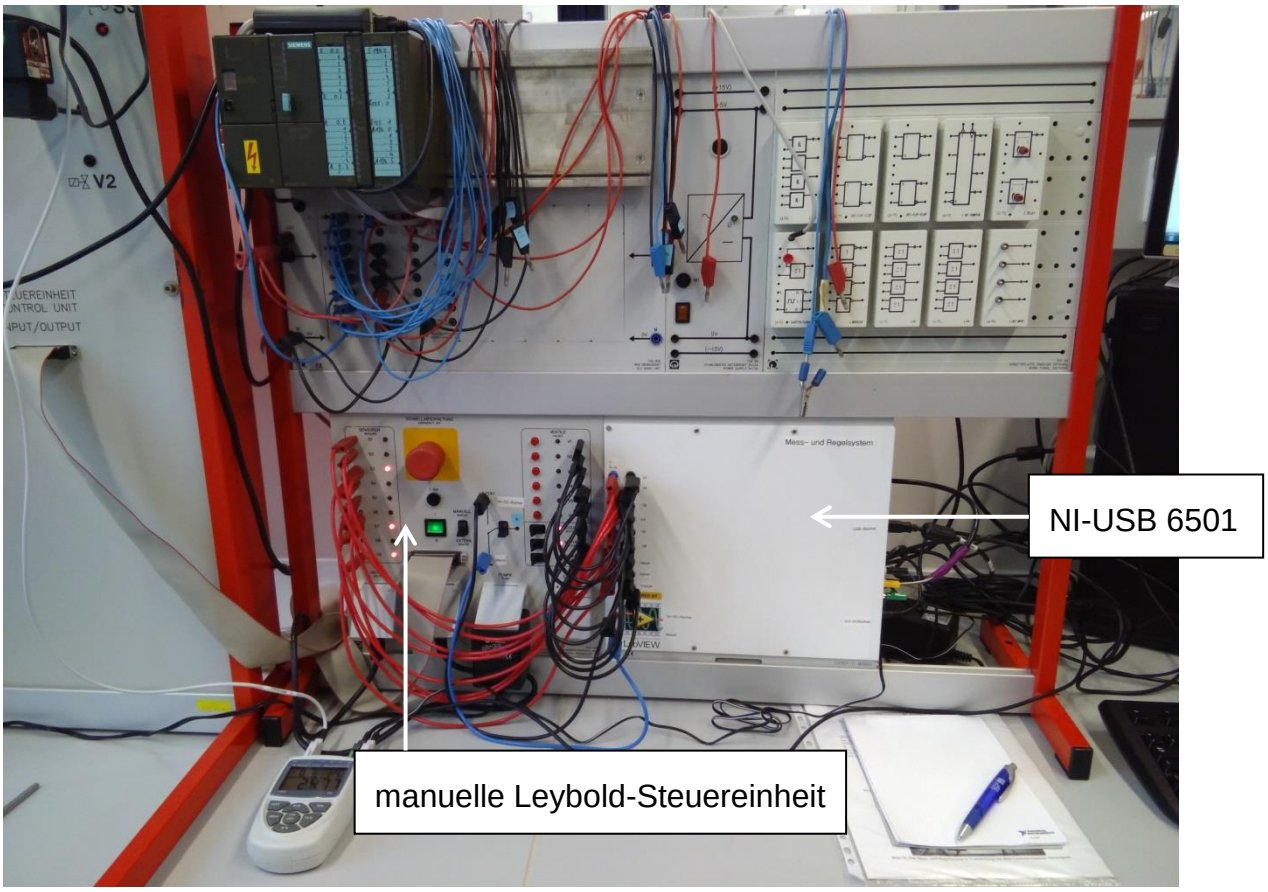

Abbildung 1.5: NI-USB 6501 mit Verbindung zum VTM

Im unteren Bildabschnitt (s. Abbildung 1.5) ist die Verbindung des NI-USB 6501 mit dem VTM sowie dem Computer und den einzelnen Messgeräten zu sehen. Neben der LabVIEW-Hardwarekomponente befindet sich die Leybold-Steuerung, über die das VTM aufgrund der speziellen Schnittstellen angesteuert werden muss. Das NI-

USB 6501 überträgt somit die erhaltenen Daten des Computers über normale elektrotechnische Anschlüsse zum VTM. Durch diese Zwischenansteuerung ist zudem auch eine manuelle Steuerung der Ventile allein über das Leybold-Steuergerät möglich. Im oberen Bildabschnitt ist die veraltete Steuerung mit einem SPS-Steuergerät zu sehen, welches durch das deutlich kompaktere NI-USB 6501 ersetzt wurde. Ein weiterer Vorteil der LabVIEW-Steuerung gegenüber der SPS-Steuerung ist die deutlich anschaulichere Bedienung. Das Frontpanel im VI zeigt alle aktuell ablaufenden Vorgänge bzw. aktive Geräte. Bei der SPS geschieht dies alles ohne optische Sichtbarkeit im Schaltkasten verborgen, sodass dies gerade im Lehrwesen didaktisch ungeeignet ist.

2. Material und Methodik

2.1 Geräte

Verfahrenstechnisches Modell	666 400-01/-02; Leybold-Didactic Steuergerät
Heizstab	STNS 750/230 V – 750 W
Rührer	R2R 2020; Heidolph
Ahlborn-Multimeter	Almemo 2450; Ahlborn mit Temperaturfühler PT 100
Glasreaktor	2 l; Schott
Drehzahlmesser	Mini Beam SM312CVG; Banner
Segmentscheibe	Sonderanfertigung
Cassy-C-Modul	LabVIEW USB-6501; National Instruments
LabVIEW-Software	2015; National Instruments

2.2 Programmtechnische Umsetzung

Die programmtechnische Umsetzung erfolgt zum einen über das Frontpanel und zum anderen über das Blockdiagram. Diese beiden Fenster bilden das Handwerkszeug der LabVIEW-Programmierung und verkörpern die Darstellung, sowie den „Quelltext" im eigentlichen Sinn.

2.2.1 Frontpanel

Ein manuell zu steuerndes VI lag bereits aus vorangegangener Arbeit vor, auf welches aufgebaut werden konnte [3]. Die dabei gewählten Darstellungen des Frontpanels entsprechen der DIN EN ISO 10628:2015-04. Diese Darstellungen wurden übernommen und durch weitere Items und Bedienelemente ergänzt. Das erweiterte Frontpanel gestaltet sich nun wie in Abbildung 2.1 dargestellt.

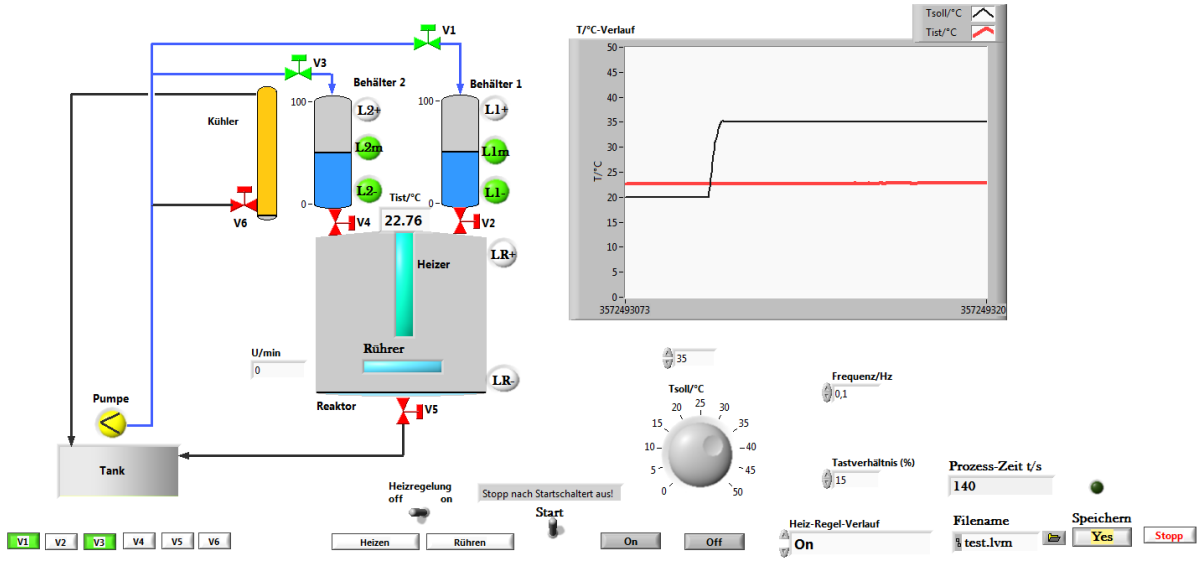

Abbildung 2.1: Frontpanel des VTM

Im linken Abschnitt ist das eigentliche Verfahrenstechnische Modell in schematischer Darstellung nach DIN EN ISO 10628:2015-04 dargestellt (s. Abbildung 2.1). Die einzelnen Magnetventile des VTM können über die Buttons am unteren linken Bildrand durch einen Mausklick zum Öffnen bzw. zum Schließen gebracht werden. Werden die Ventile V1 oder V3 geöffnet beginnt automatisch die Pumpe das Wasser in den jeweiligen Behälter zu befördern und die entsprechenden Leitungen im Frontpanel ändern ihre Farbe zu blau. Mit den drei Füllstandssensoren wird durch Konduktivmessung der Wasserstand in den

Vorratsglasbehältern gemessen und graphisch im Frontpanel durch Farbänderung dargestellt. Ist der obere Füllstandsensor erreicht, verriegelt das Ventil automatisch um ein Überlaufen des Vorratsbehälters zu verhindern. Sind beide Behälter voll, schaltet auch die Pumpe ab. Beim Befüllen des Reaktors ist es ein ähnlicher Ablauf. Hierbei wird allerdings keine Pumpe benötigt, da die Befüllung anhand der Schwerkraft funktioniert. Zum Füllen müssen hierzu die Ventile V2 bzw. V4 geöffnet werden, die bei Erreichen des oberen Füllstandssensors im Reaktor sofort verschlossen werden. Ventil V5 ist lediglich zum Ablassen der Flüssigkeit aus dem Reaktor vorgesehen. Des Weiteren enthält das VTM noch einen Kugelkühler, der über das Ventil V6 gestartet werden kann und das aufsteigende Gas durch vorbeifließendes Wasser kühlt. Da hier nur Temperaturen bis maximal 50 °C verwendet werden, hat dieser Kühler aufgrund geringen Gasphasenaustrags bei diesen Temperaturen eine nahezu nichtige Wirkung und wird in diesem Versuch nicht weiter betrachtet. Die Darstellung des Heizers und des Rührers ist nicht Normgerecht aufgrund einer besseren graphischen Sichtbarkeit im Betrieb durch Farbwechselnde LEDs. Die Ventile verändern ihre Farbe ebenfalls (grün im geöffneten Zustand), um einen besseren und schnelleren Überblick über diese im Frontpanel zu haben.

Die beiden Anzeigen neben dem Reaktor zeigen zum einen die aktuelle Ist-Temperatur im Reaktor an und zum anderen die Anzahl der Umdrehungen pro Minute des Rührers. Diese Messung erfolgt über einen angebrachten Reflexlichttaster, der anhand einer farblich separierten Metallscheibe unterschiedliche Reflexionssignale erhält und anhand der voreingestellten Parameter die Anzahl der Umdrehungen des Rührers bestimmen kann. Dies ist wichtig, da eine abweichende Rührgeschwindigkeit die Temperaturverhältnisse im Reaktor maßgeblich beeinflussen kann.

In der Bedienfläche gibt es als nächstes die so genannte Heizregelung. Wird auf diese Heizregelung geschalten, ist neben dem Heizstab der Rührer automatisch in Betrieb. Der Heizstab lässt sich dann nicht mehr über den darunterliegenden Button händisch ausschalten. Dies ist dann nur noch über den Kippschalter der Heizregelung im laufenden Betreib möglich. Darüber hinaus ist der Betrieb des Heizstabes nur bei vollem Reaktor möglich, da ansonsten eine Überhitzung die

Folge sein könnte. Aus diesem Grund lässt sich der Heizstab bei unausgelöstem Füllstandssensor des Reaktors nicht starten.

Bevor das gesamte VI allerdings startet, muss zunächst die Start-Schaltfläche in der Symbolleiste betätigt werden. Anschließend kann nun der Kippschalter mit der Aufschrift „Start“ angeschaltet werden. Erst jetzt erhält die Hardware ein Signal und das VI beginnt auf Bedienbefehle zu reagieren.

Zum Starten der eigentlichen State Machine muss zusätzlich noch der Kippschalter der Heizregelung und der Button „On“ betätigt werden. Nun kann die automatisierte Prozesssteuerung beginnen. Um eine Temperatur für die Ausführung des Heizsystems nach dem Befüllen fest zu legen, kann entweder über den Drehknopf oder über das entsprechende Anzeigeelement die Soll-Temperatur eingestellt werden. Diese Soll-Temperatur wird bei gestartetem Vorgang im Temperatur-Zeit-Diagramm mit einer schwarzen Linie dargestellt. Die Ist-Temperatur wird für Vergleichszwecke mit einer roten Linie im Diagramm angezeigt.

Das Anzeigeelement „Heiz-Regel-Verlauf“ zeigt an, welcher Zustand der Case-Struktur gerade aktiv ist. Die jeweiligen Prozessnamen werden dabei vom Enum übermittelt. Während des laufenden Prozesses ist normalerweise eine manuelle Umstellung der Zustände nicht möglich, da es sich um eine State Machine handelt und das Wechseln der Zustände automatisch von Statten geht. In diesem VI wurde allerdings ein Case-Wechsel durch das betätigen des „Off“-Buttons eingerichtet. Diese Funktion ist jedoch bei korrekt funktionierender State Machine während der ersten beiden Cases überflüssig und ist lediglich für das schonende Beenden des „Heiz-Regel-Verlaufs“ vorgesehen. Vor dem Start der State Machine sollte der Zustand jedoch immer auf „On“ gestellt sein, um einen reibungslosen Ablauf gewährleisten zu können. Dieser Zustand wird durch das schonende Beenden oder durchklicken der Cases nach Beendigung erreicht.

Die weiteren Elemente des Frontpanels stellen den Lösungsansatz des Problems der Heizsteuerung im Bereich des Bedienfeldes dar. Dazu befinden sich zwei Bedienfelder zur Einstellung der Frequenz und des Taktverhältnisses im Frontpanel. Diese Elemente Regeln die Taktung zur Ansteuerung des Heizers im Zustand „T soll halten“. Daneben befindet sich die Anzeige der Prozesszeit, die lediglich die

Dauer des laufenden Prozesses darstellt. Durch Betätigen des Buttons „Yes“ wird die Speicherfunktion der Messdaten aktiviert. In der Regel ist diese Funktion beim Start bereits aktiviert. Der dazugehörige Speicherpfad wird unter „Filename“ abgebildet.

Zum Abschalten der State Machine wird im Idealfall die Einschaltprozedur rückwärts durchgeführt. Dazu sollte zunächst der Button „Off“ angeklickt werden. Dadurch springt der aktuelle Zustand der Case-Struktur in den Zustand „Off“. Somit wird der Heizstab ausgeschaltet. Der Rührer dreht aufgrund der eingeschalteten Heizregelung noch weiter, um das Abkühlen der Reaktorflüssigkeit zu beschleunigen. Zum Abschalten des Rührers muss lediglich der Kippschalter der Heizregelung auf „Off“ gekippt werden. Zum Ausschalten aller Gerätschaften wird nun der Start Kippschalter wieder umgelegt und anschließend der Gesamtprozess über den Whileschleifen-Stopp-Button oder das Stopp-Symbol in der Symbolleiste beendet. Für eine schnelle Beendigung des Prozesses zum Beispiel bei einem unerwarteten Zwischenfall kann der Start-Kippschalter auch sofort umgelegt werden, um den gesamten laufenden Prozess zu stoppen. Alternativ existiert auch noch ein mechanischer Notausschalter an der Leybold-Steuereinheit, der das gesamte Modell zum Stillstand bringt.

2.2.2 Blockdiagram

Für die Umsetzung und Integrierung der neuen Steuerungseigenschaften in der Software mussten zunächst einige Überlegungen hinsichtlich der Umsetzung der geforderten Aufgabe unternommen werden. Ziel war es eine automatische Heizsteuerung über eine manuell eingestellte Temperatur zu erreichen und diese möglichst genau zu halten. Darüber hinaus sollte eine Drehzahlüberprüfung, sowie die Speicherung der Daten erfolgen.

Die Verwirklichung der State Machine und somit die Automatisierung der Temperatursteuerung lässt sich in LabVIEW am besten über die Case-Struktur realisieren. Dazu wurde eine Case-Struktur mit drei Zuständen in das VI eingepflegt. Die Zustände wurden mit „T soll anfahren“, „T soll halten“ und „ON“ bzw. „OFF“ betitelt. Dieser Vorgang wurde so gestaltet, dass der erste Vorgang „Temperatur anfahren“ so lange erhalten bleibt, bis die manuell eingestellte Temperatur erreicht ist. Sobald diese Temperatur eingehalten ist, schaltet das Case in den zweiten Zustand „T soll halten“ über. Dabei wird der Heizer erst bei unterschreiten der geforderten Temperatur über das entsprechende Relais mit Strom gespeist und zum Heizen bewegt. Der dritte Zustand wird durch manuelles Abschalten des Prozesses herbeigeführt und entspricht dem Grundzustand, bei dem keine Heizaktivität zugelassen wird.

Für die Temperaturmessung werden sogenannte Sub VI´s, zur besseren Übersichtlichkeit eingefügt. Dies sind kleinere Unterprogramme die häufig viel Platz im Blockdiagram einnehmen oder mehrmals im normalen VI zu finden sind. In diesem Temperatur-Sub VI wird das analoge Messsignal des Temperatur-messgerätes über den Treiber in ein digitales Messsignal umgewandelt. Es ist allerdings nicht sinnvoll, alle diese gebrochen rationalen Zahlen anzeigen zu lassen. Aus diesem Grund muss der String über den read Buffer zurechtgeschnitten werden, sodass nur die für den Bearbeiter relevanten Zahlen (String 6-9) sichtbar werden.

Die Messdaten der Online-Temperaturmessung sind immer eng mit den Heizaktivitäten verknüpft. Da die Regelung des Heizers nur über den Ein- bzw. Auszustand möglich ist und nicht über eine leistungsgedrosselte

Temperaturregulierung, musste eine Funktion entwickelt werden, um das Überschwingen der Temperatur zu berücksichtigen. Diese Funktion sollte über den Temperaturbereich von 25 – 50 °C gehen. Als Funktion wurde eine lineare Funktion gewählt, da die spezifische Wärmekapazität von Wasser eine Konstante ist und somit unabhängig der Temperatur immer gleich bleibt. Der Abschaltezeitpunkt sollte so sein, dass durch das Überschwingen der Restwärme des Heizstabs die eingestellte Temperatur möglichst exakt erreicht wird. Anhand experimenteller Untersuchungen und mathematischer Regression wurde folgende lineare Funktion für den entsprechenden Abschaltewert ermittelt.

$$F(x) = 1{,}021\ x - 2$$

Der Wert x steht hierbei für die manuell voreingestellte Temperatur. F(x) beschreibt die Temperatur, bei der der Heizstab abgeschaltet wird.

Mithilfe dieser Formel konnte dieses verfolgte Ziel am nächsten erreicht werden. Im Blockdiagram wird dies wie folgt umgesetzt (s. Abbildung 2.2).

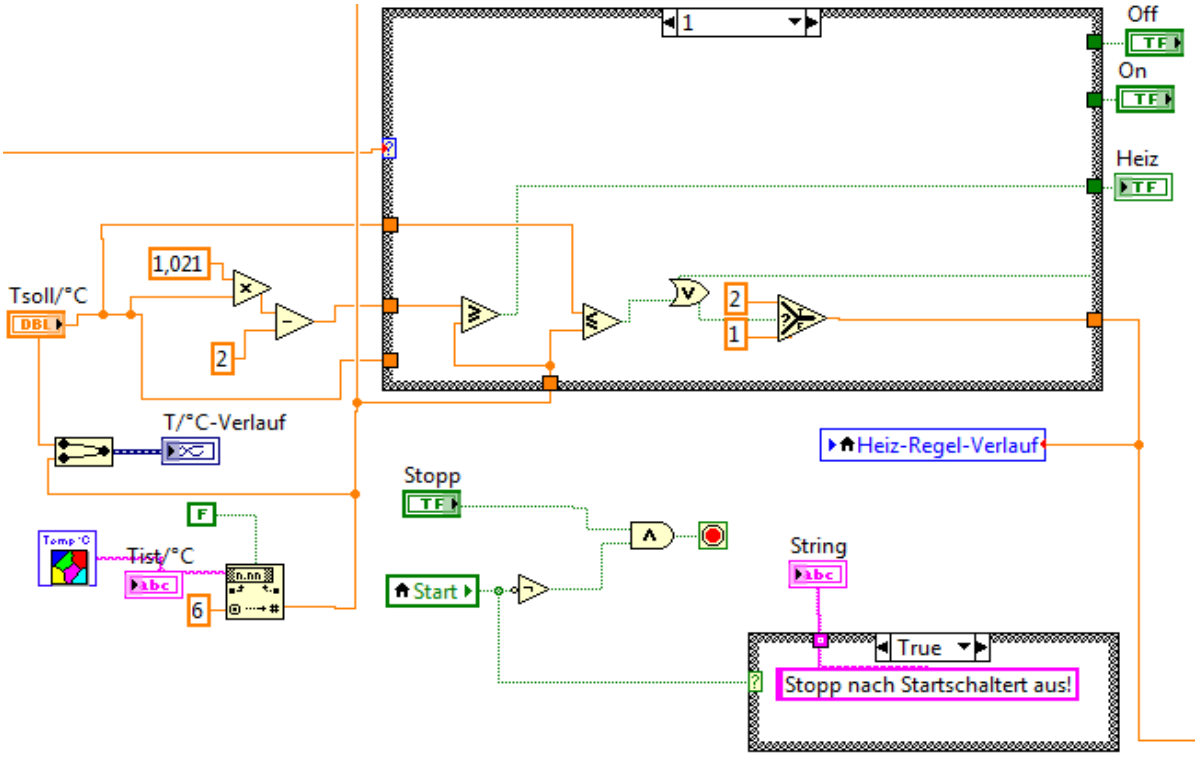

Abbildung 2.2: Blockdiagram Case-Zustand 1 „T soll anfahren“

Die Formel wurde mit numerischen Rechenoperationen eingefügt, sodass zunächst die Multiplikation und anschließend die Subtraktion der jeweiligen Zahlen vollzogen

werden. So würde bei beispielsweise eingestellten 40,00 °C der Heizstab bei erreichten 38,80 °C abschalten, um mit der überschwingenden Restwärme die Solltemperatur von 40,00 °C zu erreichen. Die so errechnete Abschalttemperatur wird über ein „größer gleich“ Befehl mit der online gemessenen Ist-Temperatur abgeglichen. Ist die aktuelle Temperatur kleiner, wird dem Heizer der Befehl zum Erwärmen erteilt. Damit der Temperaturhaltezustand erst bei Überschreiten der eingestellten Temperatur ausgelöst wird, ist zusätzlich noch eine „kleiner gleich“ Funktion mit einem Auswahlfenster (Select-Funktion) gekoppelt. Dadurch wird erst bei Erreichen des True-Status in den nächsten Zustand gewechselt. Gleiches wurde mit einer „ist gleich“ Funktion versucht, bei der es zu Komplikationen aufgrund der verzögernden Prozesszeiten und somit dem Überspringen der gesuchten Numerik kam. Durch die außerdem enthaltene „oder-Verknüpfung“ vor dem Auswahlfenster, kann auch bei laufender State Machine das nächste Case (Case 2) manuell angewählt werden.

Nach Erreichen der Solltemperatur geht nun die Softwaresteuerung in den Haltezustand (Case 2) über und der Heizer heizt nur kurz bei Unterschreiten der Temperatur, um diese zu halten.

Aufgrund der zu hohen Heizleistung des Heizstabes bei Unterschreiten der eingestellten Temperatur, kam es zu erneuten starken Überschwingungen der Temperatur. Da eine mechanische Lösung über eine Spannungsdrosselung aufgrund der erforderlichen Spannung anderer Gerätschaften nicht möglich war, musste eine elektrotechnische softwarebasierte Lösung gefunden werden. Hierfür wurde eine Taktung des Heizstabes in Betracht gezogen. Demnach würde der Heizstab trotz unterschreitender Temperatur nur kurze Schübe entsprechend der eingestellten Taktfrequenz heizen. Neben der Taktfrequenz lässt sich außerdem noch das Tastverhältnis einstellen, um die Lückengröße im Signal variieren zu können. Um diese Taktung ausführen zu können, muss das Programm ein Signal simulieren. Dabei können verschiedene Signaltypen ausgewählt werden. Hierbei bietet sich die unipolare Rechteck-Signalgebung (s. Abbildung 2.4) an, da der Heizstab ohnehin nur einen Ein- und Auszustand besitzt und keine Zwischenwerte annimmt. Für diese Umsetzung wurde das Case 2 wie folgt aufgebaut (s. Abbildung 2.3).

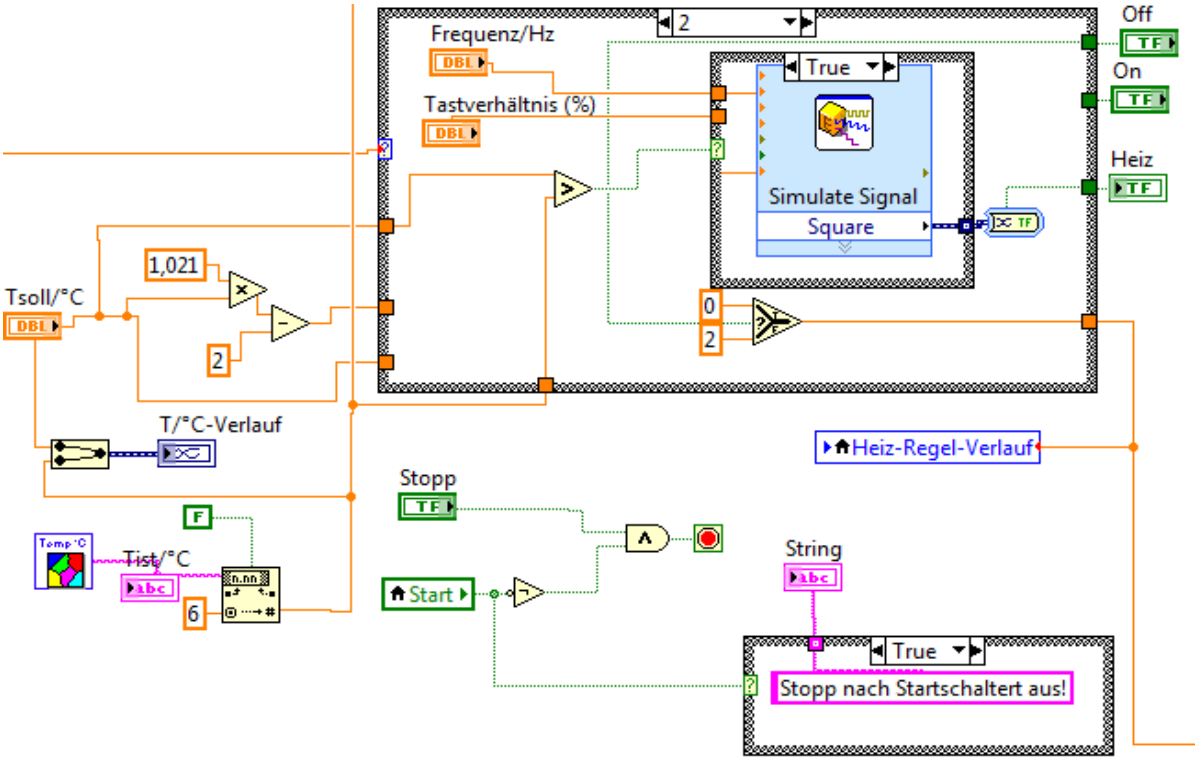

Abbildung 2.3: Blockdiagram Case-Zustand 2 „T soll halten“

Im Haltezustand wird zunächst die aktuelle Temperatur verglichen und nur bei unterschreiten der eingestellten Temperatur wird das simulierte Signal weiter zur inneren Case-Struktur geleitet. Dieses Signal wird anhand der Einstellungen hinsichtlich der Frequenz und des Tastverhältnisses simuliert. Durch den Wandler, der dynamische zu booleschen Signalen konvertiert, können die Signale dann dem Heizstab übermittelt werden. Ein mögliches simuliertes Signal mit einem Tastverhältnis von 50 % (gleiche Verteilung von 0- und 1-Zuständen) könnte in etwa so aussehen (s. Abbildung 2.4).

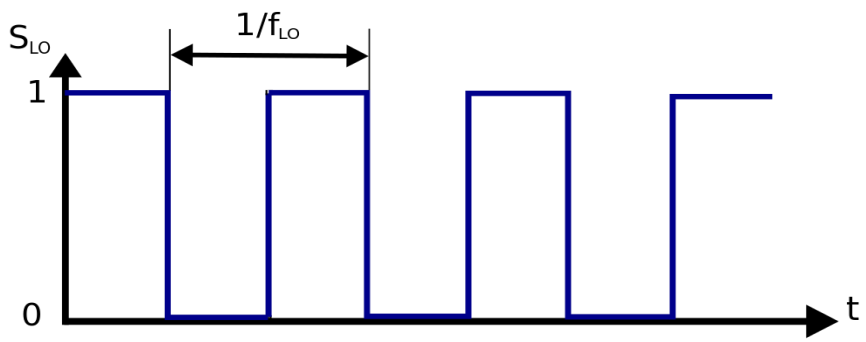

Abbildung 2.4: unipolares Rechtecksignal mit Tastverhältnis von 50 % [4]

Die Einstellung der Frequenz bezieht sich auf die Häufigkeit der Wiederkehr des Sprungsignals und somit auf die zeitlichen Abstände der Impulse. Ein Herz generiert dabei pro Sekunde einen Impuls, der bei einem Tastverhältnis von 50 % eine halbe Sekunde in den An-Zustand (1) und eine halbe Sekunde in den Aus-Zustand (0) geschaltet wird. Um die Verteilung der Zustände zu verändern, muss das Tastverhältnis angepasst werden. Wird das Tastverhältnis reduziert, wird es zu Gunsten des Aus-Zustandes verschoben und somit die Dauer des An-Zustandes verringert. Durch diese zwischengeschaltete Signalsimulation sind nun eine feine Steuerung des Heizers und die Anpassung an die medialen Einflüsse besser möglich, sodass eine höhere Temperaturkonstanz im Haltezustand erreicht werden kann. Entsprechend den von außen wirkenden Verhältnissen, kann nun auf diese Einflüsse reagiert werden.

Zur Realisierung der Drehzahlmessung wurde eine segmentierte Metallscheibe an der Drehachse des Rührers befestigt. Als Drehzahlmesser wurde ein optisches Reflexionsmessgerät angebaut. Dieses Gerät sendet einen Lichtstrahl aus, der von der Segmentscheibe je nach Segment überwiegend reflektiert oder absorbiert wird. Das so entstehende Reflexlichttast-Signal kann durch Angabe der Anzahl der Segmentteile zur definierten Drehzahlbestimmung verwendet werden.

Durch ein eingefügtes Zeitintervall wird die Drehzahl gemittelt und nur aller zwei Sekunden berechnet bzw. angezeigt (s. Abbildung 2.5). Anschließend wird die Messung wieder zurückgesetzt, um eine erneute Bestimmung der Drehzahl durchführen zu können. Die Übertragung der Daten erfolgt wiederum über das NI USB-6501, welches auch die Stromspeisung des Reflexionsmessgerätes komplett übernimmt.

Die generelle Datenerfassung erfolgt natürlich über eine Umwandlung der erfassten physikalischen Größen. Dazu sind verschiedene Messumformer notwendig, die die gemessenen Daten in verwertbare Signale umwandeln. Hierfür existieren Analog zu Digital Wandler. Dabei werden die Signale der „realen Welt“ in das binäre Zahlensystem in Form von Bits ummoduliert, damit sie für den Computer erfassbar sind. Für die eigentliche Datenerfassung gibt es bei LabVIEW sogenannte DAQ-Assistenten (Data AcQuisition), die die Einbindung der Signale externer Hardwarekomponenten in das softwaretechnische Blockdiagram ermöglichen [2].

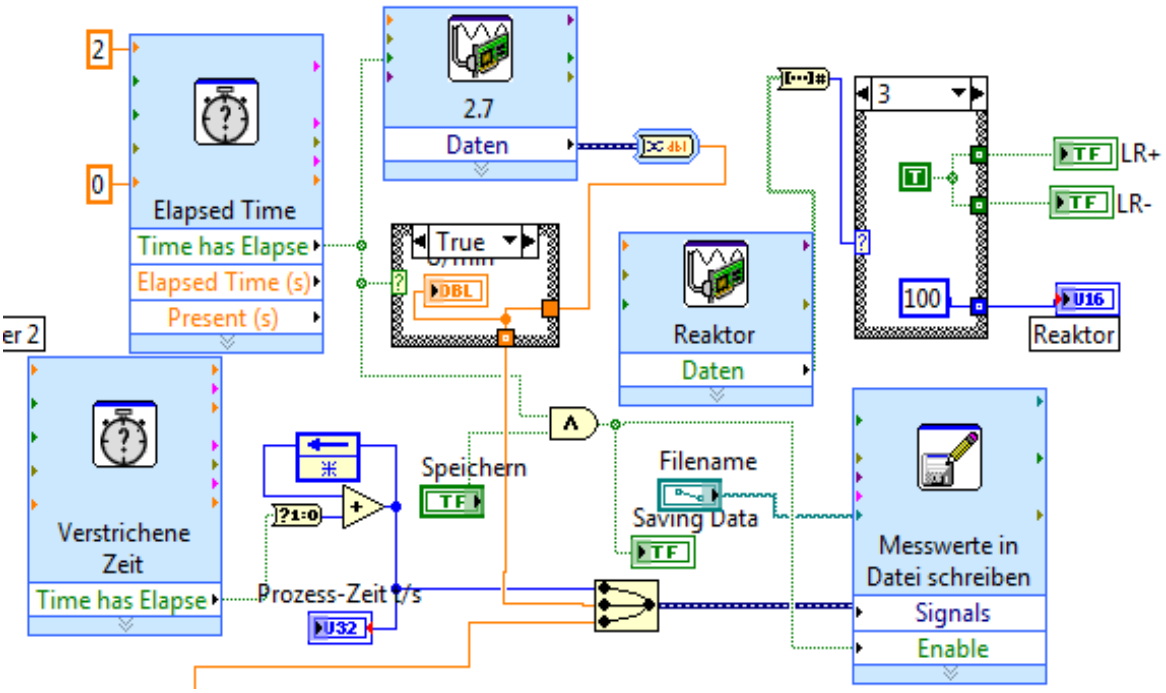

Abbildung 2.5: Blockdiagram der Drehzahlmessung und der Datenspeicherung

Für die Datenspeicherung wurde der Befehl „Messwerte in Datei schreiben“ hinzugefügt. Dadurch können die gemessenen Daten in eine Datei gefasst werden. In der Datei werden die Daten der Temperaturmessung, der Drehzahlmessung und der Prozesszeit gespeichert. Der angegebene Dateipfad ist hierbei „test.lvm“. Dieses Dateiformat ist eine LabVIEW Datei, die allerdings mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms entschlüsselt und in Spalten generiert werden kann. Durch die Verbindung zum Zeitintervall werden hierbei die Werte ebenfalls nur aller zwei Sekunden gespeichert. Nach Beendigung des Programms wird die Datei automatisch abgeschlossen und beim nächsten Programmstart überschrieben. Um dies zu vermeiden, könnte der Dateiname geändert werden. Da die Auswertung allerdings ohnehin über ein externes Programm erfolgt ist dies überflüssig. Es sollten nur bei erfolgreicher Messung die Daten vor Beginn des nächsten Starts gesichert werden, um einen Verlust der Messergebnisse auszuschließen.

In der folgenden Abbildung 2.6 ist nun das gesamte Blockdiagram abgebildet. Ihm sind allerdings noch zwei Sub-VI´s untergeordnet.

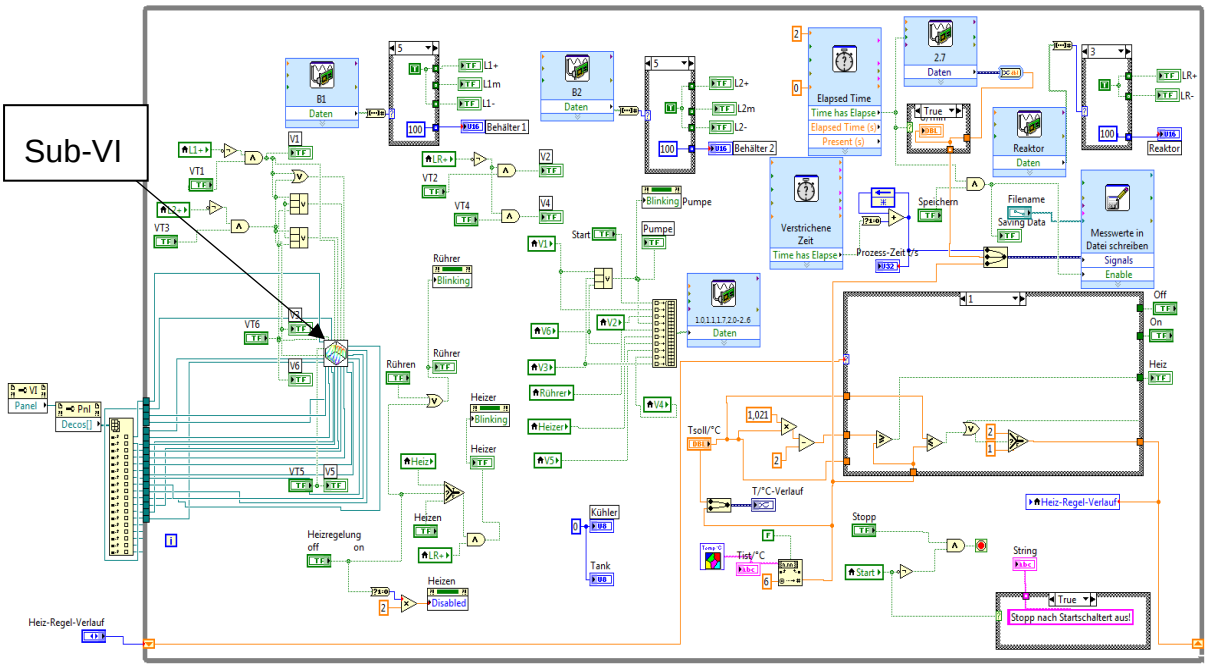

Abbildung 2.6: gesamtes Blockschaltbild des VTM

Dieser kompakte Wirrwarr aus Verzweigungen und Items stellt nun den graphisch programmierten Hintergrund der Bedienoberfläche dar. Dazu kommen noch die beiden Sub-VI´s, die die Temperaturerfassung und die verfahrenstechnische Regelung der Ventile und Sensoren maßgeblich steuern. Diese Sub-VI´s sind Unterprogramme, die aus dem normalen VI aufgerufen werden. Dabei dienen sie einem Abstraktionsprinzip und können beliebig oft eingesetzt und aufgerufen werden.

Insgesamt verbirgt sich hinter diesem recht „simplen“ verfahrenstechnische Modell wie in Abbildung 2.6 zu sehen ein großer programmiertechnischer Aufwand und ein hohes Maß an Komplexität, was ein weitreichendes Wissen über LabVIEW voraussetzt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Zur Überprüfung der eingestellten Parameter wurden verschiedene Messreihen in dem Bereich von 25 bis 50 °C durchgeführt. Für die Datenaufzeichnung wurde eine entsprechende Speicheranwendung in das Programm eingepflegt, die eine LabVIEW Datei mit dem Namen „test“ bei eingeschalteter Speicherfunktion ausgibt und speichert. Es werden Messwerte in etwa zwei Sekunden Abständen genommen. Die entstandene Datei kann mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms geöffnet und ausgewertet werden. Die entstehenden Dateien werden dann wie folgt ausgegeben (s. Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Datenaufnahmeformat der Speicherfunktion

Prozesszeit in s	Drehzahl in min^{-1}	Ist-Temp in °C
43	154	33,1
45	155	33,07
47	155	33,07
49	154	33,07
51	152	33,1
52	153	33,14
54	154	33,17
56	154	33,22
58	154	33,29
60	156	33,33
62	154	33,39
64	153	33,45

In diesem Ausschnitt einer Messung (s. Tabelle 3.1) ist sichtbar, dass die Schwankung der Rührerdrehzahl unter 5 % liegt und somit eine vergleichbare Temperaturverteilung im Reaktor erfolgen kann. Eine geringe Abweichung der Messzeiten kommt durch die Anpassung der Prozessgeschwindigkeit an die messtechnische Leistungsfähigkeit der Geräte zustande. Durch diese zwangsmäßige Verlangsamung der Abläufe kommt es zu Verschiebungen im Millisekunden-Bereich. Bei längerer Messung können diese Verschiebungen sich aufsummieren, was einen geringen Aufschub der Messwerterfassung zur Folge hat. Für diesen Versuch sind die dabei entstehenden Abweichungen allerdings unerheblich.

In Abbildung 3.1 ist ein Liniendiagramm für 45 °C zu sehen, welches den kompletten Temperaturverlauf des Heizvorganges darstellt.

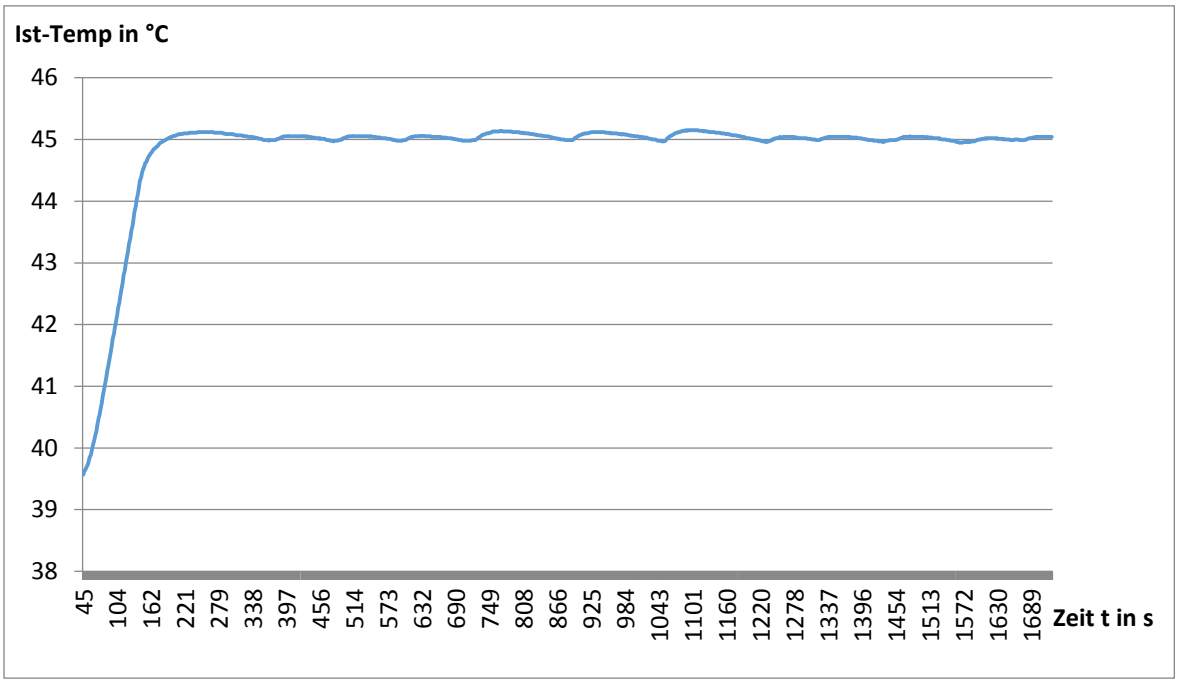

Abbildung 3.1: Temperatur-Verlaufs-Diagramm bei 45 °C

Die angestrebte Temperatur von 45 °C wurde optimal erreicht. Nach der Anfahrtsphase ist nur ein geringes Überschwingen feststellbar auf 45,12 °C. in der anschließenden Haltephase wird nun der Heizstab bei Unterschreiten der 45 °C in dem eingestellten Frequenzrhythmus zum kurzzeitigen Heizen angesteuert. Dabei kommt es ebenfalls zu leichten Überschwingphasen. Insgesamt bewegt sich die zu haltende Temperatur zwischen 44,96 °C und 45,13 °C. Damit liegt die maximale Abweichung der Temperatur im zehntel Grad Bereich und entspricht hier etwa 0,3 % Abweichung vom Sollwert. Dabei spielt neben der Raumtemperatur und dem Luftdruck vor allem die Rührerdrehzahl eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Temperaturkonstanz und die einzustellenden Parameter. In diesem Versuch wurde eine Frequenz von 0,05 Hz bei einem Tastverhältnis von 12 % verwendet. Das bedeutet, dass der Heizstab im Haltzustand nur aller 20 Sekunden ein elektrischen Impuls erhält. Dabei wird allerdings vorher noch geprüft, ob sich die Temperatur unterhalb der Solltemperatur befindet und nur dann wird der Impuls des simulierten Signals auch weiter geleitet. Wird es weitergeleitet, heizt der Stab jedoch nur für

2,4 Sekunden, da das Tastverhältnis so gering eingestellt ist. Diese kurze Heizphase ist allerdings ausreichend, um die Temperatur im Reaktor zu halten.

Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor ist die Temperatur des Glasreaktors. Durch die kapazitive Wärmeübertragung des Glases kommt es zu unterschiedlichen Überschwingverhalten bei warmem oder kaltem Reaktor. Ist der Reaktor durch vorherige Versuche bereits erwärmt, zeigt sich ein etwas größeres Überschwingverhalten. Dies geschieht durch die geringere Temperaturabgabe an das Reaktorgefäß. Dieses Phänomen ist auch bei anhaltender Messung zu beobachten, sodass nach einiger Zeit die Schwankungen geringfügig höher sind als zu Beginn, da alle Gerätschaften sich an die aktuell herrschende Temperatur angepasst haben und somit keine Wärmeaufnahme mehr stattfindet. Die geringsten Schwankungen konnten bei Temperaturen zwischen 30 und 35 °C festgestellt werden.

3.1 Vergleich Temperaturhalteverfahren

Nichts desto trotz sind diese Temperaturschwankungen äußerst gering. Um dies zu bestätigen, wurde ein Vergleich der beiden Temperaturhalteverfahren durchgeführt. Dazu wurde die optimierte frequenzbasierte Heizsteuerung der vorherigen (klassischen) Heizsteuerung gegenüber gestellt. Bei der klassischen Heizsteuerung wurde der Heizer bei Unterschreiten der Solltemperatur solange aktiviert, bis die Solltemperatur wieder erreicht wurde. Die optimierte Heizsteuerung hingegen heizt entsprechend der eingestellten Frequenz und des Tastverhältnisses kürzer. Dadurch ergibt sich ein deutlich größeres Überschwingverhalten der klassischen Heizsteuerung.

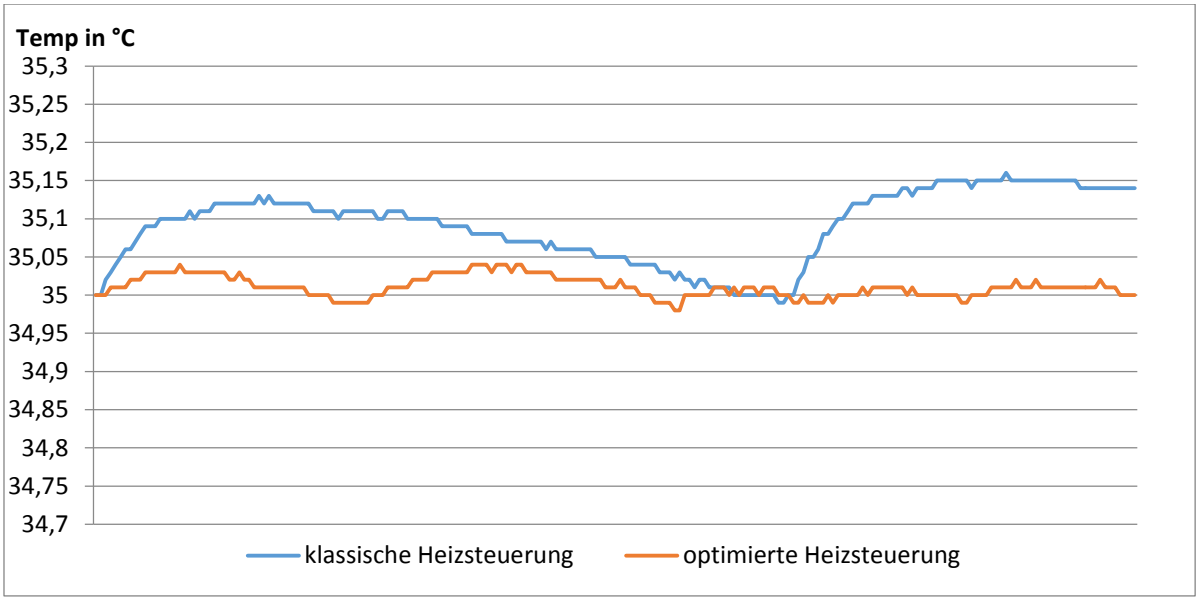

Abbildung 3.2: Vergleich des Überschwingverhaltens der Heizsteuerungen

In der Abbildung 3.2 ist der Unterschied der Überschwingung sichtbar. Die Differenz der beiden Verfahren beläuft sich etwa auf das 3-4 fache des Überschwingverhaltens. So wurde bei dieser Messung als höchster Messwert 35,16 °C bei der klassischen Methode und lediglich 35,04 °C bei der optimierten Heizsteuerung im Haltezustand ermittelt. Als geringen Vorteil der klassischen Heizsteuerung ist das niedrigere Unterschreiten der Solltemperatur anzusehen, da sofort und nicht erst bei Erreichen der Taktung im unterschrittenen Zustand geheizt wird. Durch Verzögerungen in der Erwärmung des Wasser, sowie der Temperaturmessung kommt es allerdings zu längeren Heizzeiten, was das größere Überschwingen verursacht und durch die frequenzgesteuerte Optimierung reduziert werden konnte.

Die Anwendung einer solchen verfahrenstechnischen Anlage, insbesondere der Heizsteuerung könnte z.B. bei sehr empfindlichen biologischen Untersuchungen zum Einsatz kommen, bei denen eine Temperaturkonstanz im hundertstel Gradbereich notwendig ist. Eine Optimierung im „T soll halten“ Zustand müsste allerdings immer den spezifischen Umgebungseinflüssen angepasst werden, was durch die eingeführte Frequenzsteuerung erreicht werden konnte.

4. Fazit

Die Erweiterungen der Steuerung des verfahrenstechnischen Modells (Leybold-Didactic) der BA Riesa konnten erfolgreich umgesetzt werden. Neben der kompletten Automatisierung des Heizprozesses (State Machine) konnte das Überschwingverhalten der Temperatur durch eine lineare Anfahrtskurve, sowie eine frequenzgesteuerte Taktung der Heizsignale deutlich verbessert werden. Des Weiteren wurde ein Drehzahlmesser in das System eingebracht und eine automatische Datenspeicherung von Temperatur, Zeit und Drehzahl wurde etabliert.

Der größte Erfolg konnte dabei mit der optimierten frequenzbasierten Heizsteuerung erreicht werden. Durch diese manuell einstellbaren Parameter der Frequenz und des Testverhältnisses kann auf spezielle Faktoren eingegangen werden. Die im Abschnitt Ergebnisse und Diskussion angegebenen Werte für die Frequenz und das Tastverhältnis sind dabei nur eine äußerst spezifische Angabe für die im Experiment vorherrschenden Bedingungen. Gleiches gilt für die lineare Funktion der Abschaltkurve. Bei Verwendung anderer Gerätschaften oder Füllmengen können diese Angaben deutlich abweichen. Weitere große Einflussfaktoren sind die medialen Verhältnisse von Raumtemperatur, Luftdruck und Reaktortemperatur, da es sich um ein offenes System handelt.

Dieses verfahrenstechnische Modell wird vermutlich nur Ausbildungszwecke erfüllen aber vielleicht lässt sich ähnliche Technik bei speziellen Anwendungen mit konkreter spezifischer Temperaturkonstanz zumindest im Laborbereich einsetzen. Eine erneute Weiterentwicklung dieses verfahrenstechnischen Modells ist eher unwahrscheinlich, da alle Möglichkeiten in der Funktionsweise erfolgreich ausgereizt wurden.

5. Literatur

[1] Schneider, H., Wehner, I., Gläser, L. (2012): LabVIEW-Steuerung eines verfahrenstechnischen Modells Begleitband zum National Instruments Kongress VIP 2012, S. 411 - 416

[2] Jamal, R., Krauss, P. (1998): LabVIEW das Grundlagenbuch, Prentice Hall

[3] Beyer, J. (2016): Studienarbeit zum Thema „Erstellung eines LabVIEW-Programmes mit VTM-Frontpanel/Fließbild nach DIN EN ISO 10628“

[4] Bildquelle:
https://de.wikipedia.org/wiki/Mischer_(Elektronik)#/media/File:Unipolares_Rechtecksignal.svg

Erklärung

gemäß § 19 (Abs. 1) der Prüfungsordnung für den

Studienganges Labor- und Verfahrenstechnik vom 01. Oktober 2008

Ich habe die vorliegende Studienarbeit selbständig

verfasst und keine anderen als die angegebenen

Quellen und Hilfsmittel benutzt.

Hohburg, 02.04.2017
(Ort, Datum)

Tom Kühne
(Unterschrift)