



# **Mechatronisches Projekt**

## Migration of LabVIEW into the Test of Magnetic Properties

Projektdokumentation über das mechatronische  
Projekt des 6. Semesters in der  
Fakultät Mechatronik und Elektrotechnik

Durchgeführt an der

Hochschule Esslingen  
Robert-Bosch-Str. 1  
73037 Göppingen  
Deutschland

vorgelegt von

**Jan Philipp Grünewald, Smiljan Mahkovec, Marc Schnaitmann,**

**Christian Meier, Till Schwaderer**

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing H. Förschner (Hochschule Esslingen)  
Uwe Weidlich (Hochschule Esslingen)

Bearbeitungszeitraum

15. März 2017 bis 28. Juni 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1    Aufgabenstellung.....</b>	<b>4</b>
<b>2    Beschreibung des Programmes .....</b>	<b>7</b>
2.1   Zustandsdiagramm .....	7
2.2   State-Maschine .....	8
2.2.1 Beschreibung der einzelnen Unterschritte der State-Maschine .....	9
2.2.2 Error Handling.....	11
2.2.3 Beschreibung Daten im Cluster .....	12
2.3   Aufrufe der SubVIs.....	15
2.4   MagnetoGUI.vi .....	17
2.4.1 Beschreibung des VIs MagnetoGUI .....	17
2.5   Anpassung.vi .....	22
2.6   Anpassungspruefung.vi.....	22
2.7   AnsteuerungFrequenzgenerator.vi.....	22
2.8   AnsteuerungOszilloscope.vi.....	23
2.9   Entmagnetisierung.vi.....	23
2.10 FindeArrayIndexNullstelle.vi.....	23
2.11 FlussdichteAnpassen.vi .....	24
2.12 FrequenzgeneratorInit.vi .....	24
2.13 MessbereichEinstellen.vi.....	25
2.14 MessdatenAuslesen.vi .....	25
2.15 MessdatenPeriode.vi.....	26
2.16 Messung.vi .....	26
2.17 MessungHystereseschleife.vi.....	27
2.18 MessungHBPeriode.vi.....	27
2.19 MessungNeukurve.vi.....	27
2.20 OsziKanalInfo.vi .....	28
2.21 OsziOffsetMessen.vi .....	28
2.22 OszilloscopeInit.vi .....	28
2.23 RungeKutta.vi .....	29
2.24 SymmetrierungMessdaten.vi.....	29
<b>3    Offene Punkte.....</b>	<b>30</b>

---

<b>4</b>	<b>Weitere Verbesserungen .....</b>	<b>31</b>
	<b>Tabellen und Abbildungsverzeichnisse .....</b>	<b>32</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>33</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>34</b>

# 1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe des Mechatronischen Projektes war es, den Laborversuch der magnetischen Eigenschaften für die magnetischen Werkstoffe auf eine neue Software zu übertragen.

In diesem Versuch analysieren die Studenten die Eigenschaften der verschiedenen Magnetwerkstoffe (in Form eines Bleches) mit Hilfe eines Epsteinrahmens. Teile des Versuchs sind das Aufnehmen einer Hystereseschleife, sowie einer Kommutierungskurve. Der alte Softwarestand wurde unter der Verwendung der Programmiersprache „Turbo Pascal“ programmiert.

Der in dieser Projektarbeit enthaltene Code wurde auf Vorlage des bestehenden Pascal-Codes neu in der grafischen Programmiersprache LabVIEW programmiert. Die Gründe für die Auswahl für diese Programmiersprache können der folgenden Auflistung entnommen werden:

- LabVIEW bietet Anwendern die Flexibilität einer leistungsstarken Programmiersprache, ohne die Komplexität traditioneller Entwicklungsumgebungen d.h. einfache Handhabung
- Vollständiger Funktionsumfang bezüglich der Erfassung von messtechnisch zu ermittelnden Daten und deren Verarbeitung
- Integrierte I/O-Funktionen
- Integrierte Treiber zur Hardwareansteuerung
- Einfache GUI-Erstellung
- Einfache Erzeugung von Executables.

**Das bisherige Programm konnte folgende Funktionen ausführen:**

- Eingabe der Werkstoffe und Anordnungsparameter
- Vorgaben Frequenz und Flusswert vollautomatisch anfahren
- Messung der Remanenz ( $B_r$ )
- Messen der Koerzitivfeldstärke ( $H_r$ )
- Messen der maximalen Flussdichte ( $B$ ) und der maximalen magnetischen Feldstärke ( $H$ )
- Messen der Verlustleistung
- Messen der Hystereseschleife
- Messen der Kommutierungskurve
- Grafische Darstellung der Hystereseschleife
- Grafische Darstellung der Kommutierungskurve
- Grafische Darstellung aller Eingabeparameter und Messergebnisse
- Ausdruck der Dokumentation

**Durch die Programmierung in LabVIEW konnten zusätzlich folgende Vorteile geändert bzw. hinzugefügt werden:**

- Für die Erstellung der Dokumentation der Studenten gibt es die Möglichkeit das aufgenommene Diagramm abzuspeichern
- Implementierung einer Strombegrenzung
- Die Messdaten der Kommutierungskurve, können separat in Excel exportiert werden
  - Verbesserte Nachbereitung des Labors durch Studenten möglich
  - Direktes Einsehen/Abspeichern der eigentlichen Werte
- Anzahl an Messpunkte kann eingestellt werden
  - Übersichtlicher (genauere Messergebnisse)
  - Zeitersparnis (durch Messpunktauswahl und reduzierte Totzeiten)
- Weitere umfangreiche Einstellungsmöglichkeiten (z.B. Anzahl der Punkte der Kommutierungskurve, ...)
- Schnelle, intuitive Bedienung
- Fortschrittsanzeige (Anzeige des jeweiligen durchgeführten Schrittes der State-Maschine)
- Cursor/Zoom- Funktion im Graph
- Gruppen Name / Datum wird bei Plot angezeigt

- Messung der Kommutierungskurve ist deselektierbar (Zeitersparnis)
- Error Handling für die Hardware
- Code ist selbsterklärend
  - neue Features können relativ gut implementiert werden
  - einfachere Wartung des Codes

## 2 Beschreibung des Programmes

### 2.1 Zustandsdiagramm

Der Ablauf der State-Maschine richtet sich nach nachfolgendem Zustandsdiagramm:

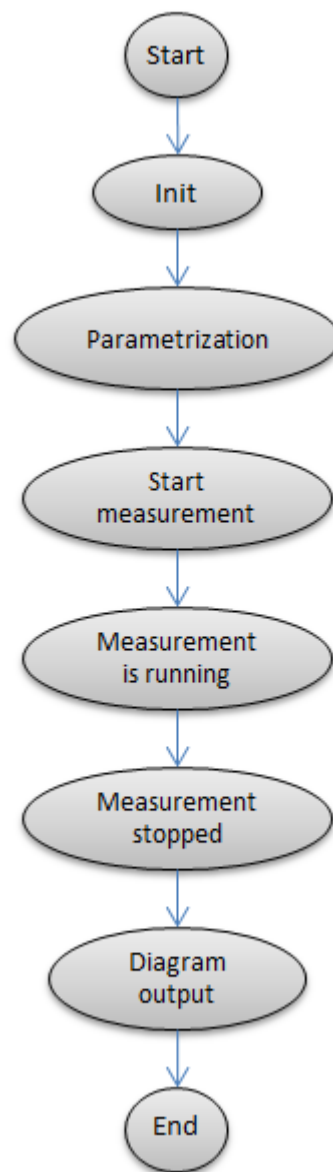


Abbildung 2-1: Zustandsdiagramm

## 2.2 State-Maschine

Die State-Maschine ist im MagnetoGUI.vi hinterlegt. Sie arbeitet verschiedene Zustände ab, in denen verschiedenen Aktionen bzw. SubVIs aufgerufen werden.

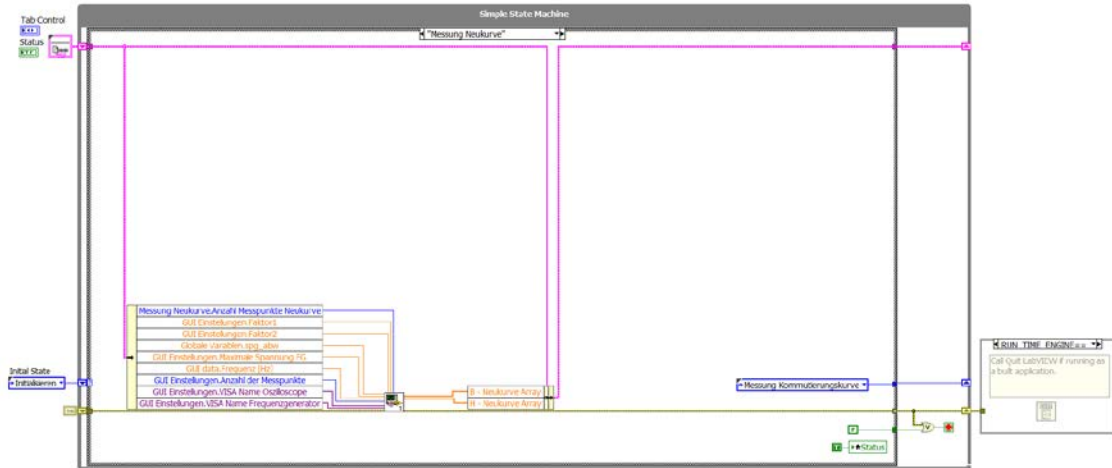


Abbildung 2-2: LabVIEW Code in der State Maschine

Hier werden die einzelnen SubVIs nacheinander aufgerufen.

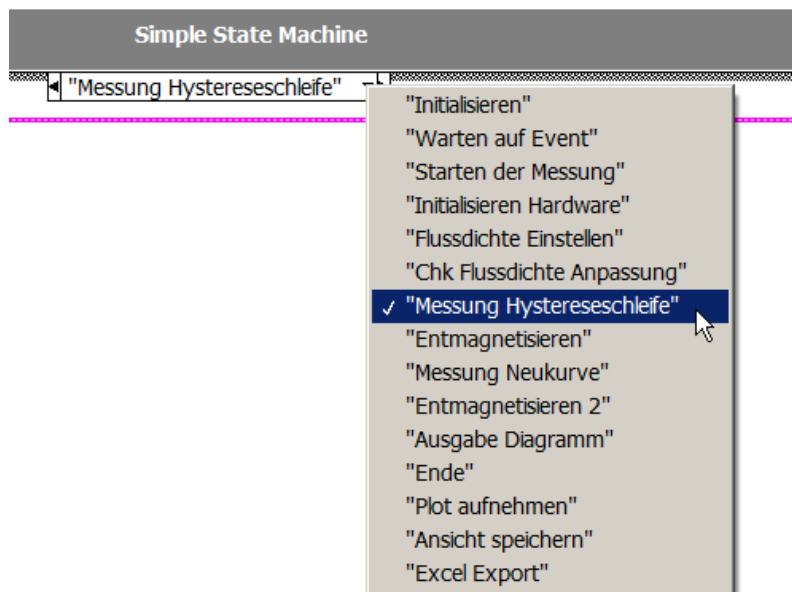


Abbildung 2-3: Zustände der State Maschine



## 2.2.1 Beschreibung der einzelnen Unterschritte der State-Maschine

### 2.2.1.1 Initialisieren

Die Diagramme werden beim Start des Programmes zurückgesetzt.

### 2.2.1.2 Warten auf Event

In diesem Schritt kann der Bediener seine Einstellungen vornehmen. Es wird so lange in diesem Schritt gewartet, bis ein Tastendruck auf „Messung Starten“ erfolgt. Nach Ablauf der Messung kommt man wieder in diesen Schritt.

### 2.2.1.3 Starten der Messung

Nachdem der Taster „Messung Starten“ betätigt wurde, springt die State-Maschine in den Schritt „Starten der Messung“. Hierbei werden die Diagramme nochmals zurückgesetzt und die eingegebenen Parameter in ein Cluster übergeben (Parameter siehe Tabelle in Kapitel 2.2.3). Es werden noch die Parameter Faktor 1, Faktor 2 und die Theoretische Primärwindungszahl berechnet, welche intern für das weitere Vorgehen benötigt werden und als Umrechnungsfaktoren dienen.

### 2.2.1.4 Initialisieren der Hardware

Bevor die Messung ausgeführt wird, werden Oszilloskop und der Frequenzgenerator initialisiert.

Bei der Einstellung des **Oszilloskops** werden unter anderem folgenden Parameter modifiziert:

- Zuweisung eines VISA Namens
- Sperren der manuellen Bedienung
- Einstellen der Range auf 40V (Channel 1 und 2)
- Einstellen der Timebase auf 200ms
- Einstellen des externer Triggermodus
- Auswählen der positiven Flanke für die Triggerung

Bei der Einstellung des **Frequenzgenerators** werden unter anderem folgenden Parameter modifiziert:

- Zuweisung eines VISA Namens
- Einstellen der Frequenz auf 50 Hz
- Einstellen der Signalform auf Sinus
- Einstellen der Amplitude auf 0,05V

**Aufgerufene VIs:** FrequenzgeneratorInit.vi und OszilloscopelInit.vi

#### 2.2.1.5 Flussdichte Einstellen

Um die gewünschte Flussdichte zu erhalten, wird die Spannung am Frequenzgenerator langsam schrittweise erhöht, bis die Spannung gefunden wird, welche der eingestellten Flussdichte entspricht.

**Aufgerufene VIs:** FlussdichteAnpassen.vi

#### 2.2.1.6 Flussdichte Anpassung

Die in Kapitel 2.2.1.5 ermittelte Spannung, wird nun auf die Mindestspannung des Frequenzgenerators angehoben, sofern sie kleiner als diese ist.

**Aufgerufene VIs:** Anpassungspruefung.vi

#### 2.2.1.7 Messung Hystereseschleife

Innerhalb dieses VIs wird die Hystereseschleife gemessen. Hierbei werden die Spannungswerte integriert und korrigiert. Ebenfalls werden hier die markanten Punkte wie Remanenz, Koerzitivfeldstärke, Bmax und Hmax bestimmt.

**Aufgerufene VIs:** MessungHystereseschleife.vi

#### 2.2.1.8 Entmagnetisieren 1

Nach dem Messen der Hystereseschleife wird der Werkstoff entmagnetisiert. Dazu wird die Spannung langsam schrittweise vermindert.

**Aufgerufene VIs:** Entmagnetisierung.vi

#### 2.2.1.9 Messung Kommutierungskurve

Um die Kommutierungskurve zu erhalten, werden in diesem Schritt die nötigen Messungen und Berechnungen durchgeführt.

**Aufgerufene VIs:** MessungNeukurve.vi

#### 2.2.1.10 Entmagnetisieren 2

Nach dem Messen der Kommutierungskurve, wird das Werkstück entmagnetisiert.

**Aufgerufene VIs:** Entmagnetisierung.vi

#### 2.2.1.11 Ausgabe Diagramm

Bei der Ausgabe des Diagrammes werden die Eingegeben Parameter sowie die gemessenen Daten ausgegeben und Grafisch dargestellt.

#### 2.2.1.12 Ende

Nachdem die Messung vollständig durchgelaufen ist, wird die Sperrung am Frequenzgenerator und Oszilloskop aufgehoben, sodass diese wieder manuell bedient werden können.

**Aufgerufene VIs:** AnsteuerungOszilloscope.vi und AnsteuerungFrequenzgenerator.vi

#### 2.2.1.13 Plot aufnehmen

Der Plot kann per Knopfdruck auf „Plot Speichern“ an einem beliebigen Pfad gespeichert werden. Dieses Bild wird im PNG Format abgespeichert.

#### 2.2.1.14 Ansicht speichern

Die Ansicht (mit Gruppennamen, Uhrzeit, Eingestellte und berechnete Parameter, etc.) kann per Knopfdruck auf „Ansicht Speichern“ an einem beliebigen Pfad gespeichert werden. Dieses Bild wird im PNG Format abgespeichert.

#### 2.2.1.15 Excel Export

Die im Diagramm dargestellten Datenmesspunkte können in eine Excel Tabelle exportiert und abgespeichert werden.

### 2.2.2 Error Handling

Es gibt bestimmte Situationen, wodurch eine Messung in Bezug auf ihre Aussagekraft bezüglich Messverfälschungen nicht durchgeführt werden kann oder eine Gefahr für die eingesetzten Geräte/ Bauteile besteht.

Deshalb können die nachfolgend beschriebenen Meldungen ausgegeben werden:

- Kein, oder ein falsches Gerät (Oszilloskop oder Frequenzgenerator) angeschlossen
- Abbruch der Messung sobald die Strombegrenzung überschritten wurde.
- Bei Überschreitung der maximalen Spannung des Frequenzgenerators hat der Bediener die Möglichkeit, die Messung mit der maximalen Spannung durchzuführen oder die Messung abubrechen

### 2.2.3 Beschreibung Daten im Cluster

#### Data:

Bezeichnung	Datentyp	Erklärung
Faktor 1	Double 64-Bit Reell	Berechnet aus Eingabeparameter um auf die geforderten Grundeinheiten zu kommen
Faktor 2	Double 64-Bit Reell	Berechnet aus Eingabeparameter um auf die geforderten Grundeinheiten zu kommen
Theoretische Primärwindungszahl	Double 64-Bit Reell	-
Anzahl Messpunkte	Longe 32-Bit Integer	-
Minimale Spannung FG	Double 64-Bit Reell	-
Pfad für Messwerte und Plots	Pfad	-
Maximalstrom	Double 64-Bit Reell	Strombegrenzung der Sekundärseite

Tabelle 2-1: Cluster Daten (Data)

#### GUI Data:

Bezeichnung	Datentyp	Erklärung
Eisenquerschnitt	Double 64-Bit Reell	Querschnittsfläche der eingelegten Bleche
Wirksame Länge	Double 64-Bit Reell	Entspricht der mittleren Länge, die in der GUI eingegeben wird
Primärwindungszahl	Double 64-Bit Reell	-
Sekundärwindungszahl	Double 64-Bit Reell	-
Messwiderstand	Double 64-Bit Reell	Auf der Sekundärseite
Spannungsteiler Verhältnis	Double 64-Bit Reell	Eingangsspannungsteiler
Dichte des Eisens	Double 64-Bit Reell	-
Magn. Flussdichte	Double 64-Bit Reell	-

Frequenz	Double 64-Bit Reell	-
Probebezeichnung	String	-
Name	String	-
Gruppe	String	-

Tabelle 2-2: Cluster Daten (GUI Data)

**Messung Hystereseschleife:**

Bezeichnung	Datentyp	Erklärung
B - Hysterese Array	1D Array aus Double 64-Bit Reell	Werte der Flussdichte der Hystereseschleife
H - Hysterese Array	1D Array aus Double 64-Bit Reell	Werte der Feldstärke der Hystereseschleife
Hystereseverluste	Double 64-Bit Reell	-
Hmax	Double 64-Bit Reell	-
Bmax	Double 64-Bit Reell	-
Remanenz	Double 64-Bit Reell	-
Koerzitivfeldstärke	Double 64-Bit Reell	-

Tabelle 2-3: Cluster Daten (Messung Hystereseschleife)

**Messung Neukurve:**

Bezeichnung	Datentyp	Erklärung
B - Neukurve Array	1D Array aus Double 64-Bit Reell	Werte der Flussdichte der Neukurve
H - Neukurve Array	1D Array aus Double 64-Bit Reell	Werte der Feldstärke der Neukurve
Anzahl Messpunkte Neukurve	Byte 8-Bit Integer	-
Neukurve Messen?	Boolean	Aktivieren bzw. deaktivieren der Messung

Tabelle 2-4: Cluster Daten (Messung Neukurve)

**Globale Variablen:**

Bezeichnung	Datentyp	Erklärung
bmax1	Double 64-Bit Reell	Maximale Flussdichte Messung 1
bmin1	Double 64-Bit Reell	Minimale Flussdichte Messung 1
bmax2	Double 64-Bit Reell	Maximale Flussdichte Messung 2
bmin2	Double 64-Bit Reell	Minimale Flussdichte Messung 2
hmax1	Double 64-Bit Reell	Maximale magn. Feldstärke Messung 1
hmin1	Double 64-Bit Reell	Minimale magn. Feldstärke Messung 1
hmax2	Double 64-Bit Reell	Maximale magn. Feldstärke Messung 2
Spannungsabweichung	Double 64-Bit Reell	Spannung welche der gewünschten Flussdichte entspricht
Tatsächliche Flussdichte	Double 64-Bit Reell	Flussdichte die tatsächlich erreicht wurde (unter Berücksichtigung der Spannungsbegrenzung vom FG)
Tatsächliche Anzahl an Punkte	Double 64-Bit Reell	-
Max Spannung erreicht?	Boolean	-
Min Spannung erreicht?	Boolean	-
Keine Neu- oder Kommutierungskurve möglich	Boolean	-
Strombegrenzung aktiv?	Boolean	-
Abbruch Messung	Boolean	-

Tabelle 2-5: Cluster Daten (Globale Variablen)

## 2.3 Aufrufe der SubVIs

In diesem Kapitel werden lediglich die einzelnen Aufrufe der SubVIs dargestellt. Diese Darstellung entspricht nicht der Aufruf-Reihenfolge und ist somit keine komplette Ablaufsteuerung!

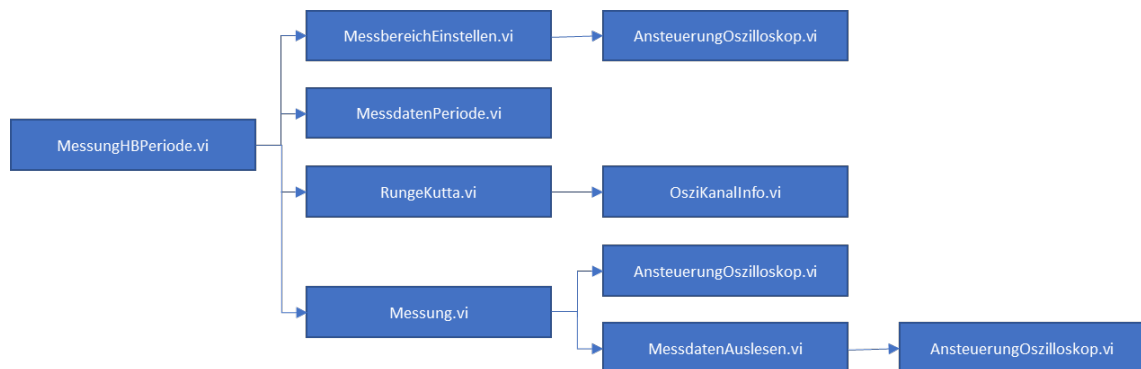


Abbildung 2-4 Aufrufe der SubVIs im VI MessungHBPeriode

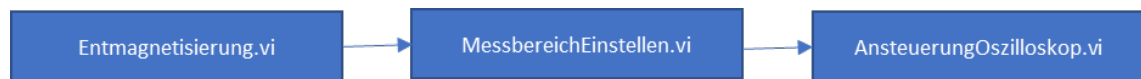


Abbildung 2-5: Aufrufe der SubVIs im VI Entmagnetisierung

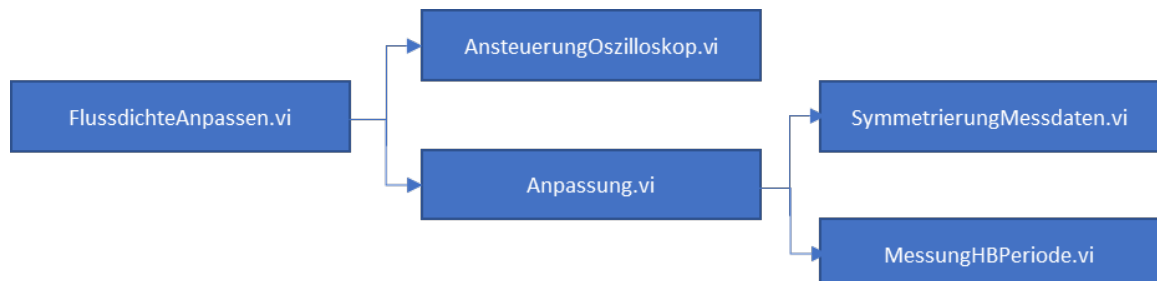


Abbildung 2-6: Aufrufe der SubVIs im VI FlussdichteAnpassen

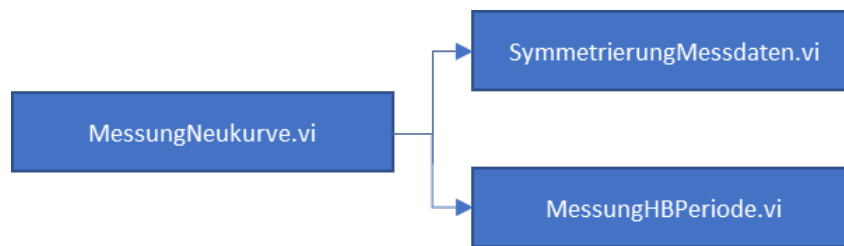


Abbildung 2-7: Aufrufe der SubVIs im VI `MessungNeukurve`

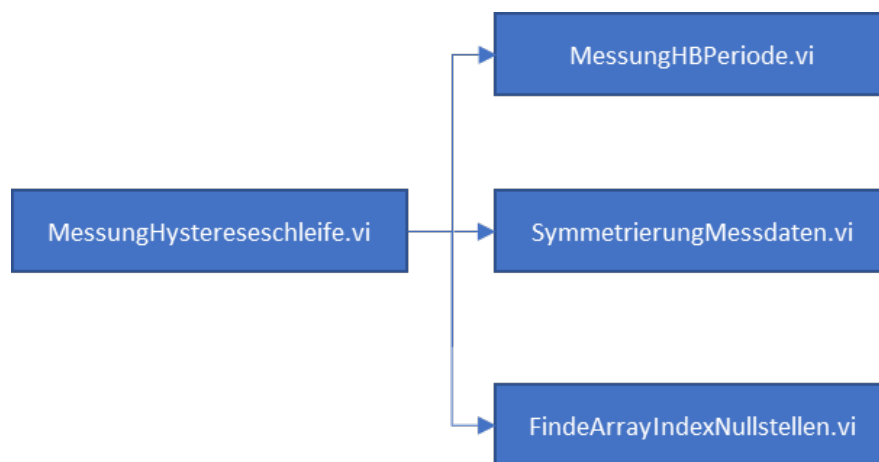


Abbildung 2-8: Aufrufe der SubVIs im VI `MessungHystereseschleife`



## 2.4 MagnetoGUI.vi

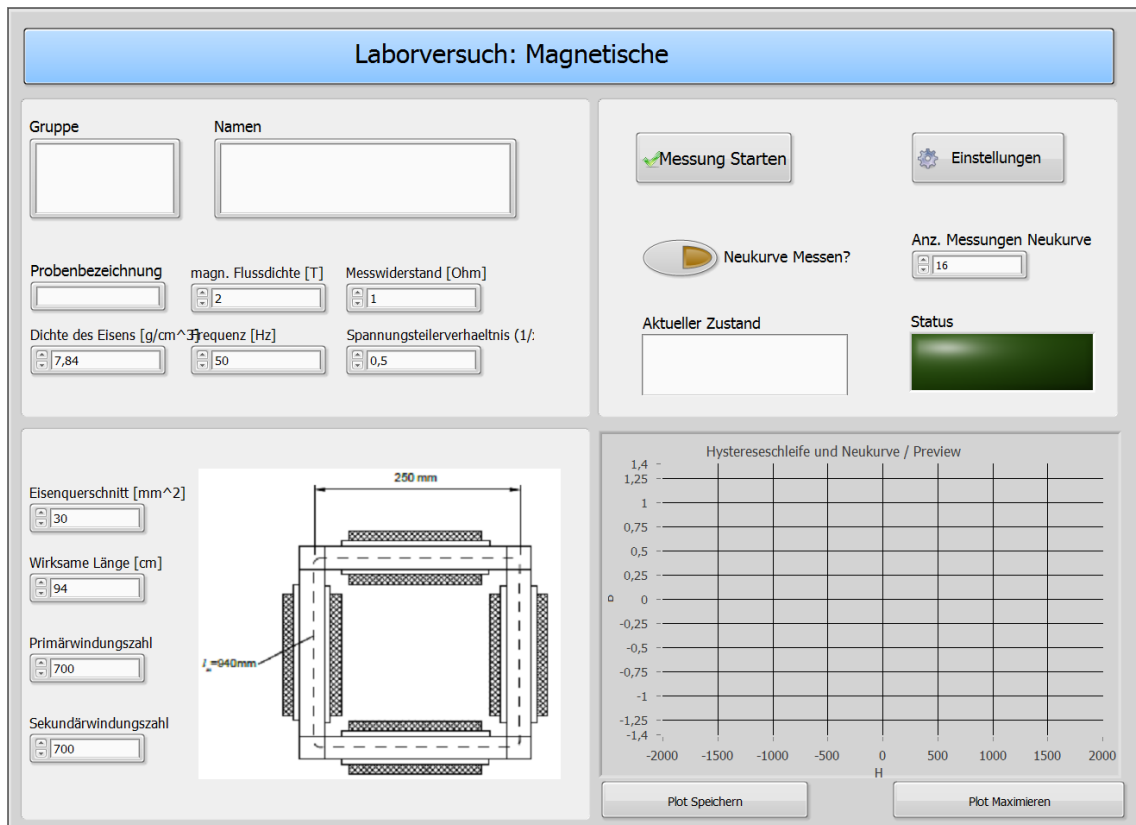


Abbildung 2-9: Hauptansicht GUI

### 2.4.1 Beschreibung des VIs MagnetoGUI

In diesem VI ist die State-Maschine hinterlegt. Dieses VI wurde als das Main.vi des Projektes zugewiesen. Hier werden unter anderem die SubVIs aufgerufen und auch die GUI abgebildet.

In dem VI kann Auswahl mehrerer Registerkarten möglich. In diese springt man automatisch durch Drücken der entsprechenden Buttons. Die Registerkarten stellen sich zusammen aus Hauptansicht, Optionen und Plotansicht, eine Erklärung ist nachfolgend zu finden.

- **Hauptansicht:**

Auf dieser Ansicht hat der Bediener die Möglichkeit, alle benötigten Daten des Versuchs einzustellen. In der folgenden Tabelle sind die maximalen und minimalen Eingabewerte aufgeführt.

Bezeichnung	max	min	Erklärung
Probenbezeichnung	12	0	Textbezeichnung der Probe
Wirksame Länge	1000	1	Mittlere Eisenwegstrecke in [cm]
Eisenquerschnitt	10000	1	Eisenquerschnitt in [mm <sup>2</sup> ]
Dichte des Eisens	50	1	Eisendichte in [g/cm <sup>3</sup> ]
Primärwindungszahl	1500	1	-
Sekundärwindungszahl	1500	1	-
Spannungsteilerverhältnis	100	1	Eingangsspannungsteiler
Messwiderstand	100	1	Messwiderstand in [Ohm]
Frequenz	15000	15	Frequenz in [Hz]
Magn. Flussdichte	5	0.001	Flussdichte in [T]

Tabelle 2-6: Begrenzungen der Eingabeparameter

Durch den Button „Messung Starten“ kann die Messung begonnen werden.

Durch den Button „Plot Speichern“ wird der Plot gespeichert.

Durch den Button „Plot Maximieren“ wird das Diagramm vergrößert mit mehr Informationen angezeigt.

- **Einstellungen:**

Hier kann der Bediener weitere Einstellungen vornehmen. Diese sind beispielsweise die Änderung der VISA-Namen des Oszilloskops oder des Frequenzgenerators.

In diesem Einstellungsmenü muss der Normalanwender keine Änderungen für den Versuch vornehmen, da es hierfür Voreinstellungen gibt.

**Laborversuch: Magnetische**

Oszilloskop Messpunkte	System
Anzahl der Osz-Messpunkte 6000	VISA Name Oszilloscope USB0::0x0957::0x179B::MY54313507::INSTR
<b>Frequenzgenerat</b>	VISA Name Frequenzgen. USB0::0x0957::0x0407::MY44043889::INSTR
Maximale Spannung [V] 10	
Minimale Spannung [V] 0,02	
<b>Strombegrenzung</b>	<b>Anzeige der berechneten</b>
Maximal zulässiger Strom [A] 3	Theo. 0
	Faktor1 0
	Faktor2 0
	Hauptansicht

Abbildung 2-10: Ansicht für die Einstellungen in der GUI

### • Plotansicht

Die Plotansicht wird durch das Drücken des „Plot Maximieren“ Buttons erreicht. Sie stellt die Messdaten übersichtlich dar und erlaubt ebenfalls das genaue Analysieren des Graphen (Zoomfunktion etc.) Es werden des Weiteren noch allgemeine Daten angezeigt (z.B. Gruppe, Namen, Datum, ...).

Unter dem Diagramm befinden sich die Taster („Plot Speichern“, „Ansicht Speichern“ und „Excel Export“).

- Um die Daten von der Kommutierungskurve für weitere Berechnungen zu exportieren, gibt es den Taster „Excel Export“.
- Beim Speichern der Ansicht kann man das komplette VI abspeichern. Dabei sind auch die eingestellten Daten auf dem abgespeicherten Bild zusehen (siehe Bild unten).

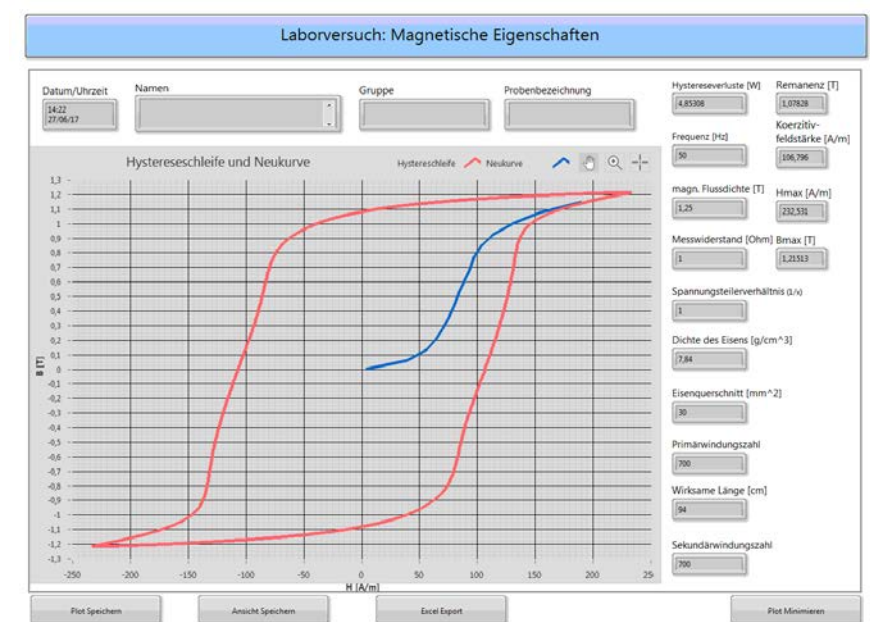


Abbildung 2-11: Bild "Ansicht Speichern"

- Mit dem Speichern des Plots hingegen, wird nur das Diagramm gespeichert (siehe Bild unten)

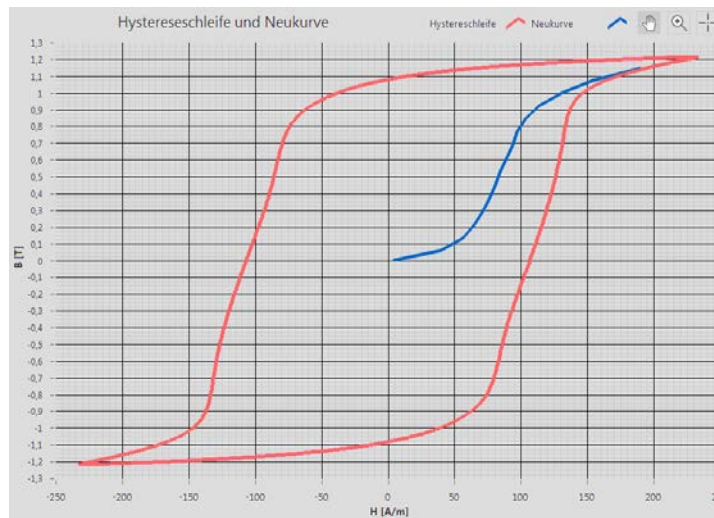


Abbildung 2-12: Bild "Plot Speichern"

## 2.5 Anpassung.vi

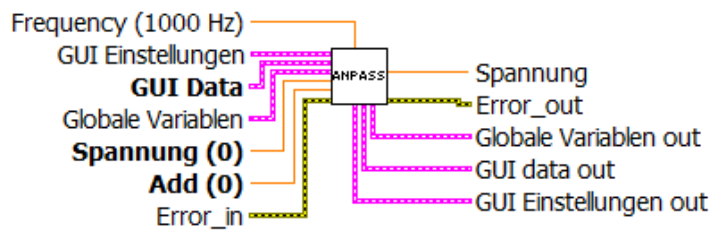


Abbildung 2-13: Anpassung.vi

Passt die Spannung des Frequenzgenerators mit der Genauigkeit (Schrittweite) der Variable "add" an, sodass die gewünschte Flussdichte erreicht wird. Dabei wird überprüft, ob die maximale bzw. minimale Spannung des Frequenzgenerators unterschritten oder überschritten wird. Ebenfalls wird hier auf die Strombegrenzung hin überprüft.

## 2.6 Anpassungspruefung.vi

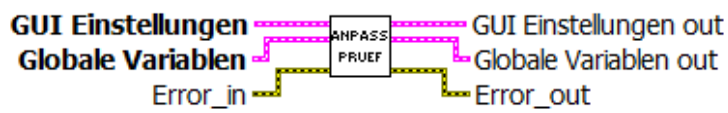


Abbildung 2-14: Anpasspruefung.vi

Weist nach der Flussdichte-Anpassung der Spannungsabweichung den minimal möglichen Spannungswert des Frequenzgenerators zu und stellt die Spannung des Frequenzgenerators auf diesen Wert ein, wenn die Spannungsabweichung kleiner der minimal möglichen Spannung des Frequenzgenerators ist.

## 2.7 AnsteuerungFrequenzgenerator.vi



Abbildung 2-15: AnsteuerungFrequenzgenerator.vi

Das VI übergibt der Hardware einen String, mit den Einstellungen gesetzt oder abgefragt werden können.

## 2.8 AnsteuerungOszilloscope.vi



Abbildung 2-16: AnsteuerungOszilloscope.vi

Das VI übergibt der Hardware einen String, mit den Einstellungen gesetzt oder abgefragt werden können.

## 2.9 Entmagnetisierung.vi

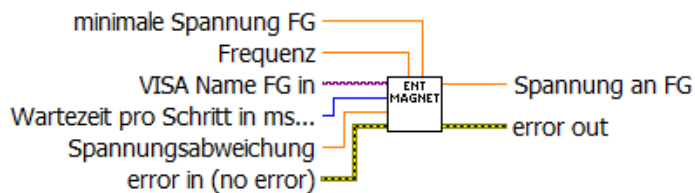


Abbildung 2-17: Entmagnetisierung.vi

Die Entmagnetisierung des Werkstoffes wird hier durchgeführt. Hierbei wird zyklisch die Spannung verringert.

## 2.10 FindeArrayIndexNullstelle.vi

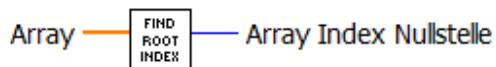


Abbildung 2-18: FindeArrayIndexNullstelle.vi

Bestimmt den Index eines Nulldurchgangs innerhalb eines Arrays mit Messwerten eines periodischen Signals. Dabei wird die erste Nullstelle ausgegeben die gefunden wurde.

## 2.11 FlussdichteAnpassen.vi

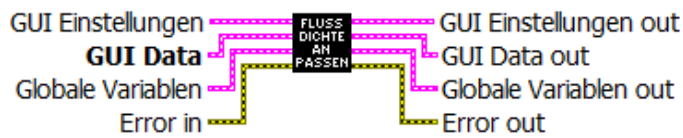


Abbildung 2-19: FlussdichteAnpassen.vi

Übergibt die Spannungswerte dem Anpassung.vi (Kapitel 2.5. Die Spannungswerte werden in 2V, 1V, 0,5V, 0,1V, 0,05V, 0,02V Schritten an das VI übergeben. Es übernimmt somit die Schrittweitevorgabe für den Regelungsalgorithmus im Anpassung.vi.

Der Vorgang wird abgebrochen, sobald die gewünschte Spannung bzw. Flussdichte erreicht wird, oder die Grenzen des Frequenzgenerators erreicht ist.

## 2.12 FrequenzgeneratorInit.vi



Abbildung 2-20: FrequenzgeneratorInit.vi

Bei der Initialisierung des Frequenzgenerators werden unter anderem folgenden Parameter geändert:

- Zuweisung des VISA-Namens
- Einstellen der Frequenz auf 50 Hz
- Einstellen der Signalform auf Sinus
- Einstellen der Amplitude auf 0,05V



### 2.13 MessbereichEinstellen.vi

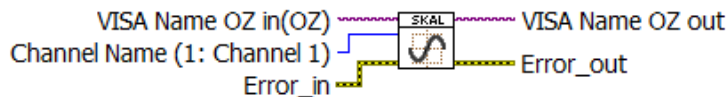


Abbildung 2-21: MessbereichEinstellen.vi

Mithilfe dieses VIs wird die Spannung des ausgewählten Channels auf 90% der Größe des Displays skaliert. Dies hat den Hintergrund, dass nur Signale gemessen werden können, die auf dem Display zu sehen sind. Zudem wird der gemessene Sinus auf 2 Perioden skaliert, um mindestens eine komplette Periode für die Messung zu erhalten.

### 2.14 MessdatenAuslesen.vi

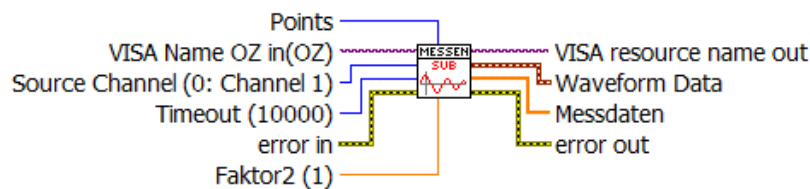


Abbildung 2-22: MessdatenAuslesen.vi

Gibt die aufgenommenen Oszilloskop-Daten des gewählten Kanals zurück. Anschließend wird bei den Messdaten noch der Offset des Oszilloskops abgezogen.

Um die Daten aufzunehmen, muss mindestens eine Periode des Signales auf dem Display angezeigt werden. Die hierfür benötigten Einstellungen werden im MessbereichEinstellen.vi (Kapitel 2.13) initialisiert.

## 2.15 MessdatenPeriode.vi

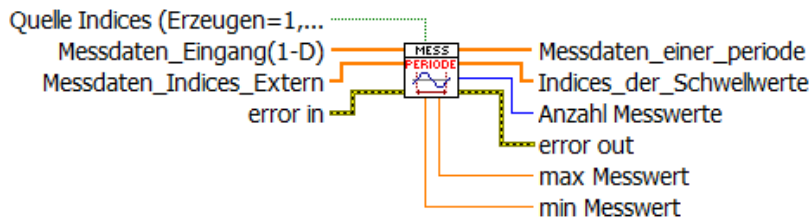


Abbildung 2-23: MessdatenPeriode.vi

Dem VI wird ein periodisches Signal in Form eines 1D-Arrays übergeben. Das ausgegebene Array beinhaltet nur das auf eine Periode reduzierte Signal.

Über „Quelle Indices“, kann zwischen „Messdaten\_Indices\_Extern“ und intern generierten Indices umgeschaltet werden. Dadurch lassen sich die Messdaten aufeinander synchronisieren.

## 2.16 Messung.vi

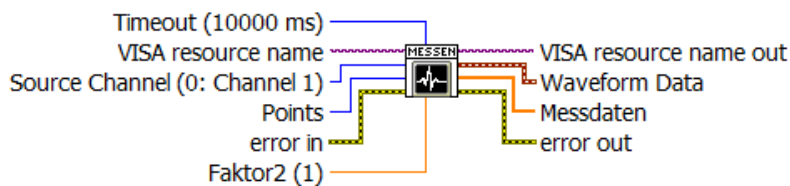


Abbildung 2-24: Messung.vi

Hier werden alle SubVIs aufgerufen, die für die Messung benötigt werden. Dabei wird zuerst das Oszilloskop für die Messung vorinitialisiert. Danach kann das VI „MessungAuslesen“ die Daten aufnehmen.

## 2.17 MessungHystereseschleife.vi

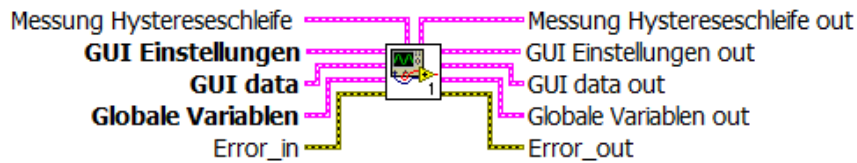


Abbildung 2-25: MessungHystereseschleife.vi

Nimmt die nach der Flussdichte-Anpassungs.vi detektierten Einstellungen um die Hystereseschleife zu messen. Es wird ebenfalls die Remanenz, Koerzitivfeldstärke, Bmax und Hmax bestimmt.

## 2.18 MessungHBPeriode.vi

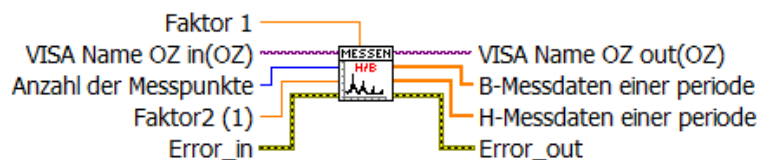


Abbildung 2-26: MessungHBPeriode.vi

Dieses VI führt eine Skalierung und Messung von Channel 1 und Channel 2 durch. Die gemessenen Werte werden auf eine Periode limitiert. Die Arrays in denen die H- und B-Werte gespeichert wurden, können am Ausgang abgegriffen werden.

## 2.19 MessungNeukurve.vi

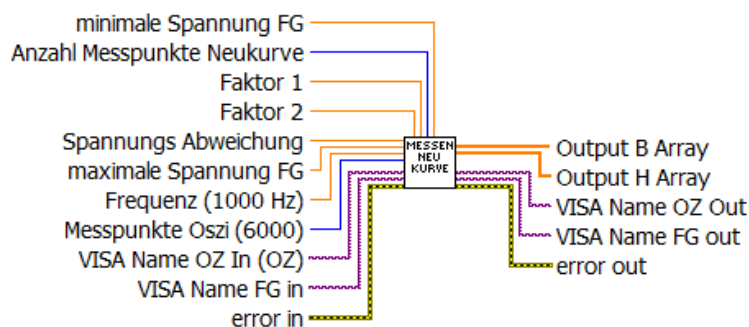


Abbildung 2-27: MessungNeukurve.vi

Aufnehmen der Messwerte der Kommutierungskurve. Gibt die gemessenen Daten in den H- und B-Arrays aus.

## 2.20 OszikanalInfo.vi

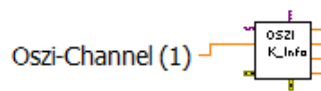


Abbildung 2-28: OszikanalInfo.vi

Gibt die entsprechenden Kanal-Infos des selektierten Kanals des Oszilloskops aus.

## 2.21 OszioffsetMessen.vi

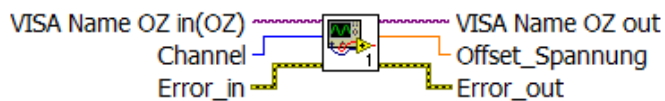


Abbildung 2-29: OszioffsetMessen.vi

Bekommt die Offset-Spannung vom Oszilloskop zurück und gibt diese dann für weitere Berechnungen aus.

## 2.22 Oszilloscopelinit.vi



Abbildung 2-30: Oszilloscopelinit.vi

Mit diesem VI wird das Oszilloskope DSO-X-2002A initialisiert.

Bei der Initialisierung des Oszilloskops werden unter anderem folgenden Parameter eingestellt:

- Zuweisung des VISA-Namens
- Sperrung der manuellen Bedienung
- Einstellen der Range auf 40V (Channel 1 und 2)
- Einstellen der Timebase auf 200ms
- Einstellen auf externer Trigger
- Einstellen der Triggerung auf die positive Flanke

## 2.23 RungeKutta.vi

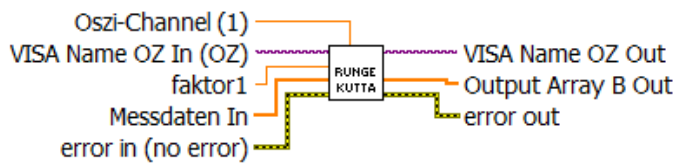


Abbildung 2-31: RungeKutta.vi

Mithilfe der Integration der Spannung durch das Runge-Kutta-Verfahren entsteht das Flussdichte-Array, welches proportional zur gemessenen Spannung ist.

## 2.24 SymmetrierungMessdaten.vi

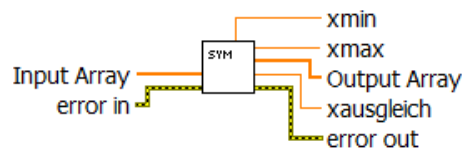


Abbildung 2-32: SymmetrierungMessdaten.vi

Damit die Kurven im Plot mittig zum Koordinatensystem sind, werden bei diesem VI die Daten neu berechnet.

### 3 Offene Punkte

Eine fehlerfreie Anwendung des Programms bei 2000 Messpunkten kann garantiert werden. Bei einer Größeren Anzahl an Messwerten entsteht mit dem aktuellen Stand noch Ungenauigkeiten.

Bei der Inbetriebnahme sind noch folgende Punkte aufgefallen, welche behoben werden sollten:

- Anzahl der Messpunkte wieder auf der GUI variabel machen und Fehler im Programm suchen (H-Werte sind zu groß)
- Ursache für den Berechnungsfehler in der Verlustleistungsberechnung in MessungHystereseschleife.vi finden

## 4 Weitere Verbesserungen

Um das Programm noch komfortabler zu gestalten, können folgende Ergänzungen durchgeführt werden:

- Error Handling erweitern (z.B. Meldung beim Überschreiten der Frequenz).
- Mit der Transformatorhauptgleichung die Spannung für die gewünschte Flussdichte ausrechnen und leicht unterhalb anfahren. Dann erst den Regelalgorithmus verwenden (Zeitersparnis, da der Spannungswert schneller erreicht wird da die Anzahl der Spannungsschritte reduziert werden kann).

## Tabellen und Abbildungsverzeichnisse

Abbildung 2-1: Zustandsdiagramm .....	7
Abbildung 2-2: LabVIEW Code in der State Maschine .....	8
Abbildung 2-3: Zustände der State Maschine .....	8
Abbildung 2-4 Aufrufe der SubVIs im VI MessungHBPeriode .....	15
Abbildung 2-5: Aufrufe der SubVIs im VI Entmagnetisierung .....	15
Abbildung 2-6: Aufrufe der SubVIs im VI FlussdichteAnpassen .....	15
Abbildung 2-7: Aufrufe der SubVIs im VI MessungNeukurve .....	16
Abbildung 2-8: Aufrufe der SubVIs im VI MessungHystereseschleife .....	16
Abbildung 2-9: Hauptansicht GUI .....	17
Abbildung 2-10: Ansicht für die Einstellungen in der GUI .....	19
Abbildung 2-11: Bild "Ansicht Speichern" .....	20
Abbildung 2-12: Bild "Plot Speichern" .....	21
Abbildung 2-13: Anpassung.vi .....	22
Abbildung 2-14: Anpasspruefung.vi .....	22
Abbildung 2-15: AnsteuerungFrequenzgenerator.vi .....	22
Abbildung 2-16: AnsteuerungOszilloscope.vi .....	23
Abbildung 2-17: Entmagnetisierung.vi .....	23
Abbildung 2-18: FindeArrayIndexNullstelle.vi .....	23
Abbildung 2-19: FlussdichteAnpassen.vi .....	24
Abbildung 2-20: FrequenzgeneratorInit.vi .....	24
Abbildung 2-21: MessbereichEinstellen.vi .....	25
Abbildung 2-22: MessdatenAuslesen.vi .....	25
Abbildung 2-23: MessdatenPeriode.vi .....	26
Abbildung 2-24: Messung.vi .....	26
Abbildung 2-25: MessungHystereseschleife.vi .....	27
Abbildung 2-26: MessungHBPeriode.vi .....	27
Abbildung 2-27: MessungNeukurve.vi .....	27
Abbildung 2-28: OszikanallInfo.vi .....	28
Abbildung 2-29: OszOffsetMessen.vi .....	28
Abbildung 2-30: OszilloscopeInit.vi .....	28
Abbildung 2-31: RungeKutta.vi .....	29
Abbildung 2-32: SymmetrierungMessdaten.vi .....	29



## Quellenverzeichnis

<https://blog.digilentinc.com/labview-compiler-under-the-hood/>

## Abkürzungsverzeichnis

B	Flussdichte
Bmax	Größter Wert von der Flussdichte
Br	Remanenz
FG	Frequenzgenerator
GUI	Graphical User Interface
H	Feldstärke
Hmax	Größter Wert von der Feldstärke
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
SubVI	Subroutines Virtual Instruments
VI	Virtual Instruments