



Timm Stobbe, M. Sc.
Alessandro Carlassare, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Volker K. S. Feige

Teilpraktikum „Sensorik und Signalverarbeitung“

Name, Vorname	Matrikel-Nr.	
Mohamed Ghazi Bannour	895536	
Mohamed Aziz Bouhouch	895090	
Gruppe	Versuchsdatum	Versuchsplatz
B25	16.11.2023	
Testat		

Versuch 1: Kalibrierung eines Magnetfeldsensors

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einführung.....	3
1.1	Statische Übertragungskennlinie	3
1.2	Messwertbildung	4
1.3	Interpolation.....	5
2.	Versuchsvorbereitung.....	8
3.	Durchführung	9
3.1	Aufgabenstellung.....	9
3.2	Realisierung in LabVIEW	9
3.3	Anforderungen an die Funktion der Anwendung	11
3.3.1	Programmablauf	12
3.3.2	Erläuterungen zur Programmierung	13
3.3.3	Übersicht Variablen.....	19
	Literaturverzeichnis	23

1. Einführung

1.1 Elemente eines Messsystems

Man betrachte ein beliebiges Messsystem, an dessen Anfang der **Messaufnehmer** steht (auch Sensor oder Fühler genannt), der die zu messende physikalische Größe X erfasst und als elektrisches Signal an den Messumformer gibt. Der **Messumformer** wandelt das Eingangssignal in ein für die Digitalisierung, Filterung, Übertragung oder Speicherung geeignetes, oft normiertes elektrisches Ausgangssignal Y um. Hierbei kommen unter anderem Messverstärker zum Einsatz, welche die kleinen Signale vom Messaufnehmer so verstärken, dass sie im nächsten Schritt weiterverarbeitet werden können. In der **Messwertbildung** werden die aus dem elektrischen Signal Y informationstragenden Parameter extrahiert, um daraus das Messergebnis X_{Anzeige} zu ermitteln. [9]

Sind bei einer sprunghaften Änderung der Eingangsgröße X alle Ausgleichsvorgänge des Systems abgeklungen, sodass sich die Anzeigegröße X_{Anzeige} zeitlich nicht weiter ändert, so entspricht dieses dem eingeschwungenen Zustand („Beharrungszustand“ [1]) des Systems. Oft wird dieser Zustand in der Literatur auch als „stationärer Zustand“ bezeichnet. Abbildung 1 zeigt den Signalfloss in der Messkette des Messsystems.

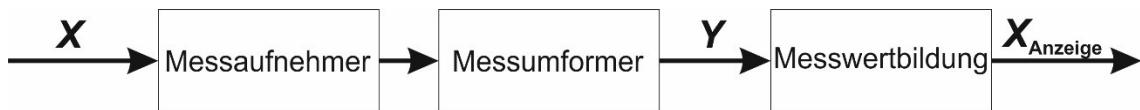


Abbildung 1: Messsystem, schematische Darstellung der Messkette

Der Zusammenhang zwischen der Ausgangsgröße Y und der Eingangsgröße X im eingeschwungenen Zustand, der allgemein durch eine Funktion $Y=f(X)$ beschrieben werden kann, wird als das „Übertragungsverhalten“ eines Messsystems im eingeschwungenen Zustand bezeichnet. Dieses Verhalten lässt sich mithilfe einer Wertetabelle oder einer Kennlinie darstellen. Nimmt man einen linearen Zusammenhang an, so kann die Kennlinie durch eine Geradengleichung der Form

$$Y = E \cdot X + b \quad (1.1)$$

beschrieben werden, wobei der Faktor E die Steigung angibt und die Variable b den Achsenabschnitt („Offset“) der Kennlinie definiert. Die Steigung beschreibt, wie sich eine Änderung der Eingangsgröße X auf die Ausgangsgröße Y auswirkt. In der

Messtechnik spricht man in diesem Zusammenhang auch von der Empfindlichkeit E eines Messsystems. Es gilt

$$E = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1.2)$$

Der Zusammenhang zwischen Eingangsgröße X und Ausgangsgröße Y kann in der Praxis jedoch in den seltensten Fällen mithilfe einer Geradengleichung beschrieben werden, da der Großteil der Messsysteme nichtlineare Übertragungseigenschaften besitzt. Die Empfindlichkeit ist in diesem Fall von der Eingangsgröße abhängig und somit nicht über den gesamten Messbereich konstant. Sie kann daher lediglich in einem konkreten Arbeitspunkt angegeben werden. Mathematisch entspricht diese Operation einer Ableitung der Funktion $Y=f(X)$ an der Stelle $X=X_0$:

$$E = \left. \frac{dY}{dX} \right|_{X=X_0}. \quad (1.3)$$

Die Empfindlichkeit muss in solchen Fällen für jeden Wert der Eingangsgröße getrennt ermittelt werden. In der Praxis werden häufig Anfangs- und Endempfindlichkeit hinsichtlich eines definierten Wertebereichs angegeben. Alternativ kann eine über den Wertebereich gemittelte Empfindlichkeit angegeben werden. [1]

1.2 Messwertbildung

Sinn und Zweck der Messwertbildung ist es, das elektrische Signal vom Messumformer in einen physikalischen Wert umzuformen, welcher angezeigt oder weiterverarbeitet werden kann. Ziel ist es, eine möglichst große Übereinstimmung zwischen dem angezeigten Wert $X_{Anzeige}$ und dem physikalischen Wert X zu erreichen.

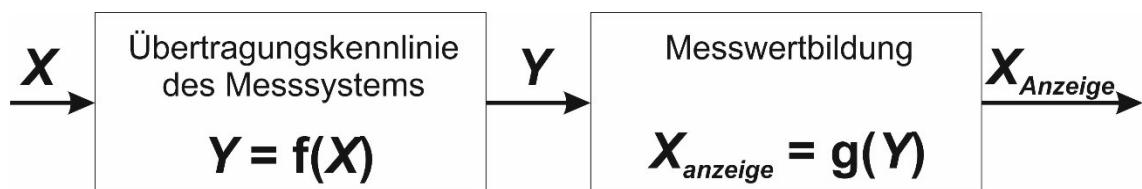


Abbildung 2: Messwertbildung, schematische Darstellung

In der Praxis ist die Übertragungskennlinie bzw. die Funktion $f(X)$ in der Mehrzahl der Fälle unbekannt, da jedes Messsystem individuelle Eigenschaften besitzt.

Zur Kalibrierung und Justierung werden Referenzwerte $X_{\text{REF_}i}$ definiert, die experimentell für das jeweilige Messsystem den zugehörigen Ausgangsgrößen $Y_{\text{REF_}i}$ zugeordnet werden können. Aus diesen Stützstellen $(X_{\text{Ref_}i}, Y_{\text{Ref_}i})$ kann durch geeignete Interpolationsmethoden (s. Abschnitt 1.3) eine Übertragungskennlinie, die der Funktion

$$Y = f(X) \quad (1.4)$$

folgt, genähert werden. Zu Y ist nun eine geeignete Funktion für die Messwertbildung

$$X_{\text{Anzeige}} = g(Y) \quad (1.5)$$

derart zu bestimmen, dass die Bedingung

$$X \cong X_{\text{Anzeige}} \quad (1.6)$$

möglichst gut erfüllt ist. Einsetzen der Gleichungen 1.4 bis 1.6 führt zu dem Ergebnis, dass die Kennlinienkorrektur der folgenden Bedingung genügen muss:

$$X_{\text{Anzeige}} = g(f(X)) \quad (1.7)$$

Die Forderung gemäß Gl. 1.7 ist im Allgemeinen dann erfüllt, wenn g die Umkehrfunktion von f darstellt. [2]

1.3 Interpolation

Ziel der Interpolation ist es, eine kontinuierliche Funktion (Interpolante) zu vorhandenen diskreten Stützpunkten (z. B. Referenzmessdaten) zu finden. Die Interpolante verläuft durch die gegebenen Stützpunkte und wird innerhalb eines vorgegebenen Intervalls durch die angesetzte Interpolationsfunktion beschrieben.

In der numerischen Analysis werden beliebige Funktionen in der Regel mithilfe von Polynomfunktionen interpoliert.

Eine Methode zur Bestimmung solcher Funktionen bieten Spline-Interpolationen. Dabei werden Teilintervalle definiert und die Funktion für jedes dieser Intervalle mithilfe einer Polynomfunktion erstellt. Die einfachste Realisierung einer Spline-Interpolation stellt die stückweise lineare Interpolation dar, bei der zwei benachbarte Stützstellen mithilfe einer Geraden verbunden werden.

Die lineare Interpolation $f_i(x)$ im Intervall zwischen den Stützwerten $(x_i | f(x_i))$ und $(x_{i+1} | f(x_{i+1}))$ kann mithilfe der Vorschrift

$$f_i(x) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} (x - x_i) + f(x_i) \quad (1.8)$$

gebildet werden. Der Zusammenhang ist grafisch in Abbildung 3 dargestellt.

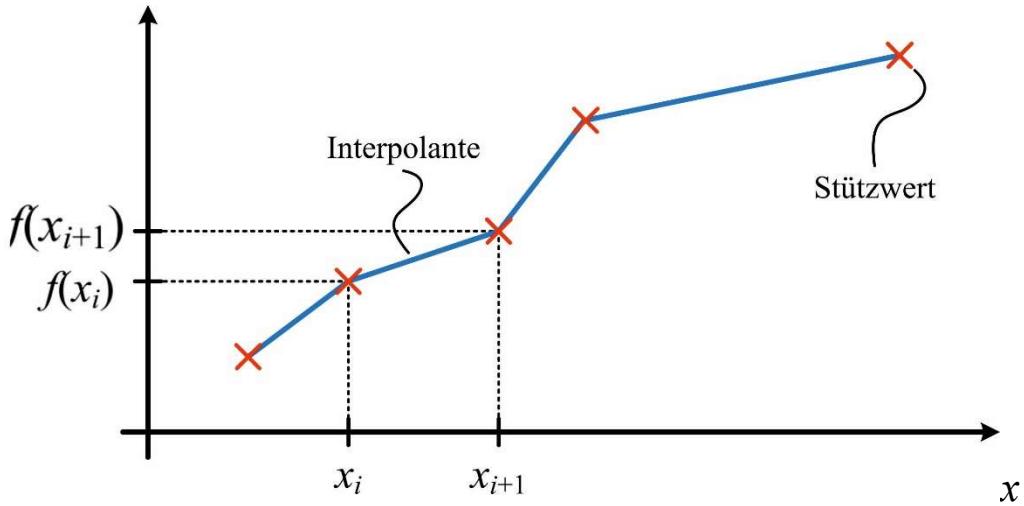


Abbildung 3: lineare Spline-Interpolation

Ein Nachteil der stückweisen linearen Interpolation gemäß Abbildung 3 ist, dass die resultierende interpolierte Funktion an den Grenzen der einzelnen Intervalle im Regelfall nicht stetig differenzierbar ist. Eine Möglichkeit, stetig differenzierbare Funktionsverläufe an den Intervallgrenzen zu erhalten, ist die Verwendung quadratischer oder kubischer Polynome.

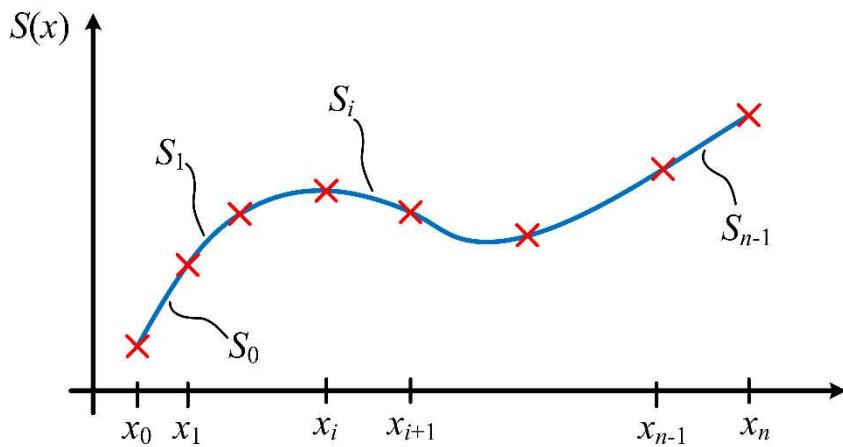


Abbildung 4: kubische Spline-Interpolation

Das entsprechende Verfahren wird als „quadratische oder kubische Spline-Interpolation“ bezeichnet. Kubische Spline-Interpolationen basieren auf einen Polynom dritter Ordnung

$$S_i(x) = f_i + \frac{f'_i}{1!}(x - x_i) + \frac{f''_i}{2!}(x - x_i)^2 + \frac{f'''_i}{3!}(x - x_i)^3. \quad (1.9)$$

Die Koeffizienten $f'_i \dots f'''_i$ aus Gleichung 1.9 lassen sich durch Aufstellung eines Gleichungssystems unter Anwendung der o. g. Bedingungen bestimmen, wie es in den Vorlesungsunterlagen dargestellt ist. Daneben existieren weitere Interpolationsmethoden,

es seien insbesondere die Hermite-, die Lagrange- sowie die Akima-Interpolation genannt.

Da die Programmierung der oben genannten Interpolationsalgorithmen nicht Gegenstand dieses Versuches ist, soll auf eine Beschreibung der einzelnen Methoden an dieser Stelle verzichtet werden. Zur Vertiefung der Thematik sei auf die Vorlesung sowie die einschlägige Literatur verwiesen, z. B. auf [4] und [5].

2. Versuchsvorbereitung

1. Recherchieren Sie die Definitionen zu den messtechnischen Begriffen „kalibrieren“ und „justieren“. Geben Sie Ihre Quelle an. Erläutern Sie die beiden Begriffe ferner an zwei Beispielen.
2. Erläutern Sie den Unterschied zwischen einer „Approximation“ und einer „Interpolation“.
3. Nennen Sie mindestens zwei Messprinzipien, mit deren Hilfe eine Messung der magnetischen Flussdichte durchgeführt werden kann.
4. Erläutern Sie den Unterschied zwischen den Begriffen „arithmetischer Mittelwert“ und „Median“. Geben Sie die jeweilige Bildungsvorschrift an.
5. Die Kalibrierung des Hallsensors erfolgt mithilfe einer Helmholtz-Spulenanordnung, die Messungen bei definierten Referenzflussdichten B_{ref} erlaubt. Im Rahmen von Probemessungen wurden die in Tabelle 1 dargestellten Messreihen (Ausgangsspannung U_{mess} des Messumformers) aufgenommen. Es ist festzustellen, dass die einzelnen Messwerte zufällige Fehler aufweisen – aus diesem Grunde ist vor der weiteren Verarbeitung eine Medianbildung erforderlich.

Bestimmen Sie den Median \tilde{U}_{mess} aus den sechs Einzelmessungen bei der jeweiligen Referenzflussdichte B_{ref} und tragen Sie das Ergebnis in die entsprechende Spalte in Tabelle 1 ein.

Referenz-flussdichte $B_{\text{ref}} / \text{mT}$	Ausgangsspannung des Messumformers $U_{\text{mess}} / \text{mV}$						Median $\tilde{U}_{\text{mess}} / \text{mV}$
	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4	Messung 5	Messung 6	
10	31,6814	31,7255	31,5264	31,5842	31,4785	31,4778	
30	163,652	164,598	164,138	164,657	164,859	164,215	
50	353,916	354,672	352,331	354,533	351,878	351,918	
70	584,967	588,358	585,564	588,020	587,562	586,138	
90	851,803	851,457	850,057	853,369	851,069	850,145	

Tabelle 1: Probemessung Magnetfeldsensor

3. Durchführung

3.1 Aufgabenstellung

Zur Bestimmung der magnetischen Flussdichte in einem Messsystem soll ein Magnetfeldsensor zum Einsatz kommen. Der Sensor liefert in Abhängigkeit der vorherrschenden magnetischen Flussdichte B (Eingangsgröße) eine Messspannung U_{mess} (Ausgangsgröße). Das Übertragungsverhalten $U_{\text{mess}} = f(B_z)$ des Sensors ist nicht näher bekannt.

Ziel des Versuchs ist eine Messwertbildung. Dazu sind zunächst die Messwerte der Ausgangsspannung U_{mess} bei fünf unterschiedlichen Referenzwerten der magnetischen Flussdichte B_{ref} aufzunehmen. Die Ausgangsgröße U_{mess} weist beispielsweise aufgrund von Rauschen zufällige Abweichungen auf. Aus diesem Grund sollen bei jeder Referenzflussdichte B_{ref} zunächst jeweils sechs Messwerte für U_{mess} aufgenommen werden, aus denen der Median \tilde{U}_{mess} zu bilden ist. Im Anschluss daran ist mithilfe der fünf Wertepaare $(B_{\text{ref}} | \tilde{U}_{\text{mess}})$ und einer geeigneten Interpolationsmethode innerhalb eines Intervalls I eine Funktion f bzw. eine Lookup-Tabelle zu bestimmen, die im Rahmen der vorzugebenden N -Stützpunkten der Lookup-Tabelle das Übertragungsverhalten $U_{\text{mess}} = f(B)$ des Sensors abbildet. Aufbauend auf der Lookup-Tabelle soll durch lineare Spline-Interpolation die Messwertbildung $g = f^{-1}$ nachgebildet werden. Diese Funktion g sei als die Umkehrfunktion von f definiert (vgl. Absatz 1.2) und überführe jeden beliebigen Wert von U_{mess} innerhalb des gegebenen Intervalls im Rahmen der geforderten Auflösung in einen Wert X_{Anzeige} , wobei

$$X_{\text{Anzeige}} \cong B_z \quad (3.1)$$

angestrebt wird.

3.2 Realisierung in LabVIEW

1. Legen Sie im Arbeitsverzeichnis einen neuen Ordner an.

Der Name des Ordners soll wie folgt aufgebaut sein:

YYYYMMDD_HHMM_SenSysSig_V02_<MatrNr1>_<MatrNr2>_<MatrNr3>,
wobei die Platzhalter <MatrNr1...3> für die Matrikelnummern der Gruppenteilnehmer/-innen stehen. Achten Sie bitte auf die korrekte Einhaltung

der Dateinamenkonvention, da Ihre Arbeit andernfalls unter Umständen nicht korrekt zugeordnet werden kann.

2. Kopieren Sie die Dateien

TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi

TS20171224_0845_Sub_Hall-Sensor.vi

AC20150928_1804_Sub_Messung#1.vi

AC20150928_1804_Sub_Messung#2.vi

...

AC20150928_1804_Sub_Messung#5.vi

von „*Verzeichnis*“ in den von Ihnen erstellten Ordner und ändern Sie den Dateinamen in gleicher Weise, wie Sie es bei dem von Ihnen angelegten Ordner getan haben. Legen Sie ein gleichnamiges Projekt in dem Ordner an und binden Sie die oben genannten Dateien ein.

3. Nach dem Öffnen der Datei „*TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi*“ zeigt sich die in Abbildung 5 gezeigte Benutzeroberfläche, die auch als „Frontpanel“ bezeichnet wird. Diese wurde bereits soweit vorbereitet, sodass alle Eingaben und Ausgaben für die Bedienung der Kalibrierfunktion sowie Messfunktion definiert sind.



Abbildung 5: Das Frontpanel

4. Die eigentliche Programmierung findet in dem sogenannten „Blockdiagramm“ statt. Diese kann über den Menüpunkt Fenster → Blockdiagramm anzeigen (siehe Abbildung 6) oder über die Tastenkombination „Strg+E“ geöffnet werden.

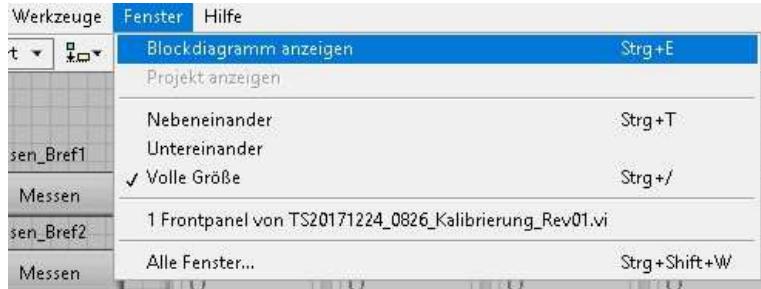


Abbildung 6: Blockdiagramm anzeigen

5. In dem Blockdiagramm sind bereits alle Bausteine vorhanden, die für die korrekte Funktion des Programms benötigt werden. Verbinden Sie die Bausteine nun so, dass das Programm funktionsfähig ist. Nutzen Sie dazu die Erläuterungen aus dem Kapitel 3.3.

3.3 Anforderungen an die Funktion der Anwendung

Der grundsätzliche Programmablauf ist der schematischen Darstellung in Abbildung 7 zu entnehmen. Ändern und erweitern Sie die schematische Darstellung entsprechend des von Ihnen realisierten Programms. Allgemein sind kritische Zustände (Division durch null,

„Endlosschleifen“, etc.), die zu Programmabbrüchen führen können, im Programm zu behandeln.

3.3.1 Programmablauf

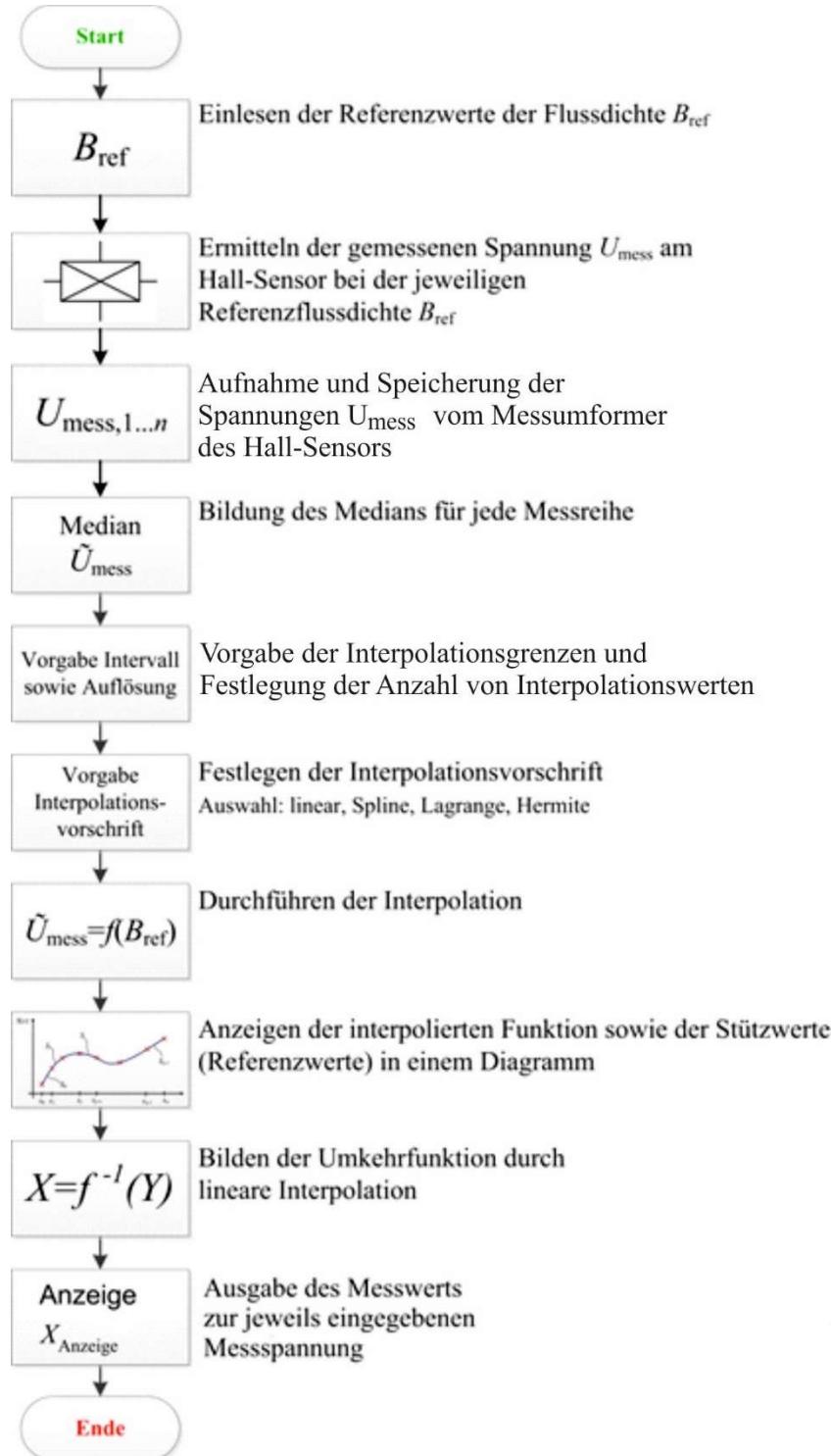


Abbildung 7: Programmablauf, schematische Übersicht

3.3.2 Erläuterungen zur Programmierung

- **Einlesen der Referenzwerte der magnetischen Flussdichte B_{ref}**

Es sind fünf Eingabefelder zur Vorgabe von fünf frei wählbaren Referenzwerten für B_{ref} als skalare Variable des Typs „double precision“ vorhanden. Die Referenzwerte sind an den Eingang „B_ref_in“ des SubVI „Sub_Hall-Sensor“ zu übergeben und können zu diesem Zweck unmittelbar aus dem Eingabefeld übernommen werden.

- **Nachbildung des Hall-Sensors (SubVI „Sub_Hall-Sensor“)**

Das im Folgenden beschriebene SubVI bildet das Übertragungsverhalten eines fiktiven Hall-Sensors ab und ermöglicht die Durchführung von „virtuellen“ Referenzmessungen. Das SubVI benötigt als Eingangsgröße einen Referenzwert der magnetischen Flussdichte B_{ref} als skalare Größe des Datentyps „double precision“. Der dazugehörige Messwert U_{mess} wird berechnet und am Ausgang „U_mess_out“ ausgegeben. Das SubVI bildet einen zufälligen Fehler nach, wie er z. B. bei der Messung von rauschbehafteten Signalen auftritt. Dieser wird am gleichnamigen Anschluss in Prozent angegeben.

Anschlussbelegung des SubVI „Sub_Hall-Sensor“:

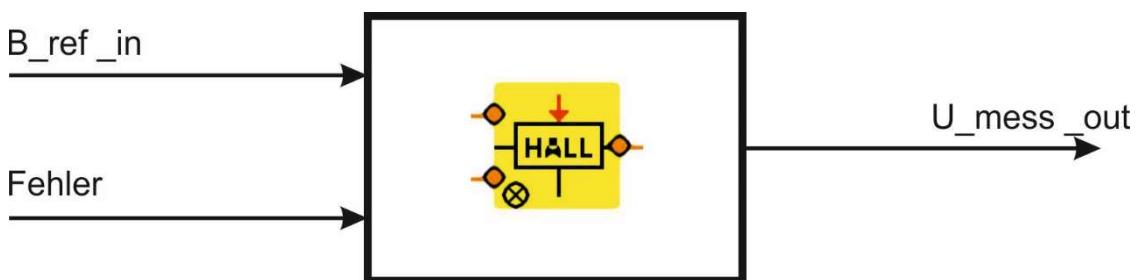


Abbildung 8: Belegung des SubVI „Sub_Hall-Sensor“

Bezeichnung	Datentyp	Beschreibung
B_ref_in	double	Übergabe des Referenzwerts der magnetischen Flussdichte B_{ref}

U_mess_out	double	Ausgabe des Messwerts für U_{mess} <u>Anmerkung:</u> Der Messwert besitzt eine zufällige Messabweichung z. B. aufgrund von Rauschen.
Fehler	float	Angabe des maximal zufälligen Fehlers in Prozent

Tabelle 2: Erläuterung zur Belegung des SubVI „Sub_Hall-Sensor“

▪ Nachbildung des Messsystems (SubVI „Sub_Messung“)

Das SubVI „Sub_Messung“ ermöglicht die Durchführung der „virtuellen“ Kalibrierung mithilfe einer Referenzmessung. Es stehen insgesamt fünf durchnummerierte SubVI („Sub_Messung#1“ bis „Sub_Messung#5“) zur Verfügung, wobei jedes dieser SubVI einen Kanal des simulierten Messsystems für die Kalibrierung nachbildet. Die Referenzmessungen sollen in dem Programm parallel ausgeführt werden, sodass bei der Kalibrierung in jedem Messkanal ein erneuter Aufruf des SubVI „Sub_Hall-Sensor“ erfolgt. Das SubVI „Sub_Messung#2“ benötigt als Eingangsgröße die gemessene Spannung U_{mess} des Hall-Sensors. Wird der Eingang „Übernehmen“ auf den Bool'schen Wert „TRUE“ gesetzt, so wird der aktuelle Messwert in das Array „Mess_Array_Out“ übernommen, sämtliche gespeicherten Werte liegen unmittelbar am gleichnamigen Ausgang an. Es können bis zu sechs Messwerte pro Kanal gespeichert werden. Ist die maximale Anzahl erreicht, schließt das Messsystem den Messdurchgang ab, es können dann keine weiteren Messwerte übernommen werden. Soll eine neue Messreihe gespeichert werden, so können die Werte jedoch durch Setzen des Bool'schen Eingangs „Reset“ auf den Wert „TRUE“ gelöscht werden.

Anschlussbelegung des SubVI „Sub_Messung“:



Abbildung 9: Belegung des SubVI „Sub_Messung#2“ (Messkanal 2, exemplarisch)

Bezeichnung	Datentyp	Beschreibung
U_mess_in	double	Übergabe des gemessenen Werts bei der magnetischen Flussdichte B_{ref}
Übernehmen	boolean	Speichern des aktuellen Werts von U_{mess}
Reset	boolean	gespeicherte Messwerte löschen (erforderlich, um eine neue Messung zu beginnen)

Tabelle 3: Erläuterung zur Belegung des SubVI „Sub_Messung“

- **Durchführen und Speichern einer Messung**

Der Ausgang „U_mess_out“ des jeweiligen SubVI „Sub_Hall-Sensor“ ist zur Übernahme der Messwerte mit dem für den jeweiligen Messkanal vorgesehenen SubVI „Sub_Messung“ zu verbinden.

- **Medianberechnung**

Die Berechnung des Median erfolgt separat für jeden Messkanal. Verwenden Sie hierzu das LabVIEW-VI „Median“. Das LabVIEW-VI benötigt ein 1D-Eingangsarray („X“) des Datentyps „double precision“. Der Ausgang „Fehler“ wird in diesem Programm nicht angeschlossen.

Anschlussbelegung des LabVIEW-VI „Median“:



Abbildung 10: Belegung des LabVIEW-VI „Median“

Bezeichnung	Datentyp	Beschreibung
X	double[n]	Übergabe der Eingangsfolge, zu der der Median zu bestimmen ist
Median	double	Median (Zentralwert) der Eingangsfolge „X“
Fehler	integer32	Gibt codierte Fehler oder Warnungen des VIs aus.

Tabelle 4: Erläuterung zur Belegung des LabVIEW-VI „Median“

▪ Durchführen der Interpolation

Ermittlung der Funktion f durch Berechnung einer beliebigen Anzahl weiterer Stützwerte durch Interpolation.

Mögliche Interpolationstypen: Lineare Interpolation, Spline-Interpolation, Lagrange-Interpolation, Hermite-Interpolation; obere und untere Grenze der Interpolation sollen frei wählbar sein, die interpolierten Stützwerte werden an ein 1D-Array des Typs „double precision“ übergeben.

Anschlussbelegung des LabVIEW-VI „1D interpolieren“:

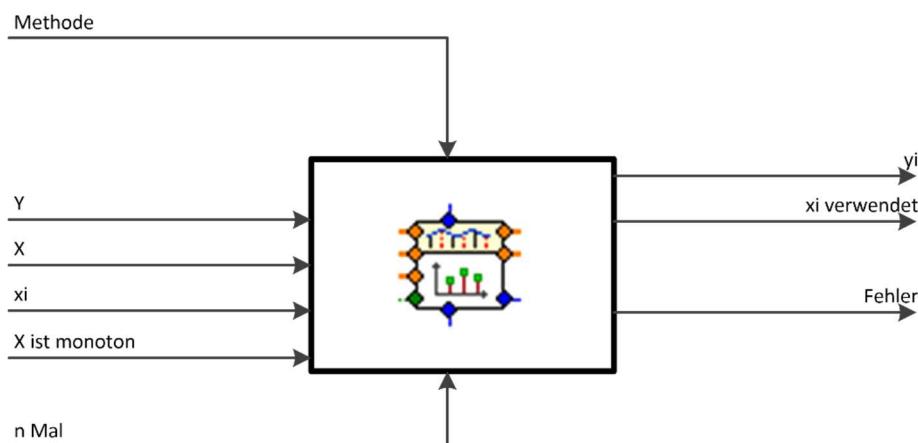


Abbildung 11: Belegung des LabVIEW-VI „1D interpolieren“

Bezeichnung	Datentyp	Beschreibung
Methode	integer32	Gibt das Interpolationsverfahren an: 0: Methode des naheliegenden Werts 1: lineare Spline-Interpolation 2: kubische Spline-Interpolation 3: Hermite-Interpolation (kubisch) 4: Lagrange-Interpolation
Y	double[n]	Array mit den Stützwerten der abhängigen Variablen
X	double[n]	Array mit den Stützwerten der unabhängigen Variablen <u>Bedingung:</u> Die Länge des Arrays von „X“ muss der Länge des Arrays von „Y“ entsprechen.
xi	double[n]	Array mit den Werten der unabhängigen Variablen, bei denen die interpolierten Werte „yi“ der abhängigen Variablen berechnet werden sollen.

X ist monoton	boolean	Gibt an, ob die Werte in „X“ monoton mit dem Index ansteigen, so dass ggf. eine Sortierung stattfindet, der Eingang sollte mit einer Bool'schen Konstanten mit dem Wert „TRUE“ verbunden werden.
n Mal	integer32	Bestimmt die Interpolation von „xi“-Stellen und gibt zwischen jedem Element „Y“ interpolierte Werte aus, wenn „xi“ leer ist. Die Interpolation zwischen „Y“-Elementen wird n Mal wiederholt. Wenn an „xi“ ein Wert anliegt, wird n Mal ignoriert.
yi	double[n]	Ausgangs-Array aus interpolierten Werten entsprechend der von „xi“ unabhängigen Variablenwerte.
xi verwendet	double[n]	1D-Array aus Werten der ersten unabhängigen Variablen, bei der interpolierte Werte der abhängigen Variable „yi“ zu berechnen sind.
Fehler	integer32	Gibt codierte Fehler oder Warnungen des VIs aus.

Tabelle 5: Erläuterung zur Belegung des LabVIEW-VI „1D interpolieren“ [6]

Hinweis zur Erstellung des Arrays zur Übergabe an den Eingang „xi“ des LabVIEW-VIs „1D interpolieren“:

Die Berechnung der interpolierten Werte soll in Abhängigkeit der vorgegebenen unteren und oberen Grenzen sowie der gewählten Auflösung erfolgen. Aus diesem Grunde muss zunächst ein Array aus N Werten entsprechend der vorgegebenen Auflösung erstellt und im Anschluss daran entsprechend oberer und unterer Grenze skaliert werden. Eine Möglichkeit der Realisierung ist in Abbildung 12 dargestellt.

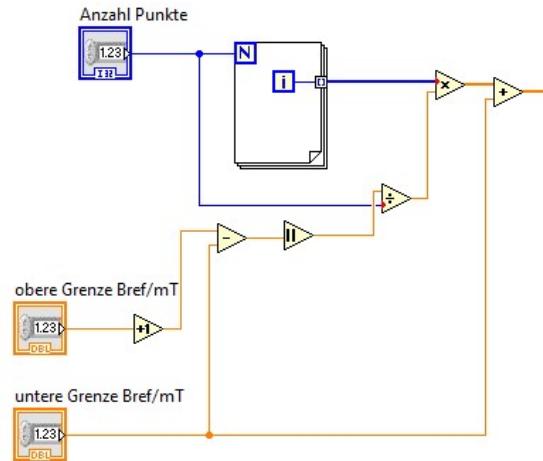


Abbildung 12: Erstellung des Arrays „xi“ zur Übergabe an die Funktion „1D interpolieren“

- Grafische Ausgabe der Funktion f sowie der Stützwerte

Die berechnete interpolierte Funktion $U_{\text{mess}}=f(B)$ sowie die eingelesenen Stützwertpaare $(B_{\text{ref}} \mid U_{\text{mess}})$ sind in einem Diagramm („XY-Graph“) darzustellen. Die Skalierung der Achsen erfolgt mithilfe der „Autoscale“-Funktion.

Hinweis zum Plotten mithilfe von „XY-Graph“:

Mithilfe des Anzeigeelements „XY-Graph“ können beliebige Funktionen ausgegeben („geplottet“) werden. Grundsätzlich können alle numerischen Datentypen verarbeitet werden, sofern sie als 1D-Array vorliegen. Zur Anzeige eines Graphen ist stets je ein Array für die Abszissen- sowie für die Ordinatenachse erforderlich. Vor der Übergabe an das Anzeigeelement „XY-Graph“ sind diese „Array-Paare“ ferner mithilfe der Funktion „Bündeln“ jeweils als ein Cluster zu bündeln. Eine Anzeige mehrerer Kurven ist möglich, in diesem Falle sind die einzelnen Cluster vor der Übergabe zu einem 1D-Array zusammenzufassen. Der Versuch, ein 1D- oder 2D-Array ohne Umformung direkt mit dem Terminal zu verbinden, führt zu einer Fehlermeldung. Abbildung 13 zeigt die Programmierung, wenn beispielsweise drei Cluster bestehend aus jeweils zwei 1D-Arrays an das Element „XY-Graph“ übergeben werden sollen.

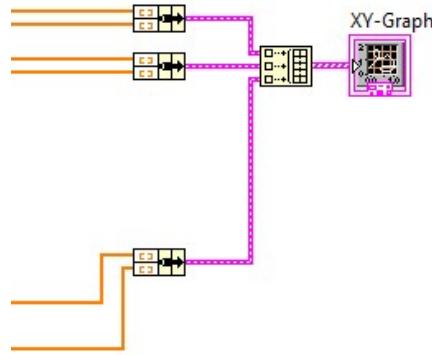


Abbildung 13: Anzeige mehrerer „Wertepaare“ in einem „XY-Graph“

- **Ermitteln der Funktion für die Messwertbildung g (Umkehrfunktion zu f)**
Ermitteln der Umkehrfunktion der interpolierten Funktion, mit dessen Hilfe jeder beliebige Wert U_{mess} in einen Wert X_{Anzeige} überführt werden kann, so dass die Bedingung $X_{\text{Anzeiger}} \cong B_z$ erfüllt ist. Zur Bildung der Umkehrfunktion sind die bereits interpolierten Werte zu verwenden. Da in der Regel eine hohe Anzahl an Werten vorliegt, kann stückweise linear interpoliert werden.

3.3.3 Übersicht Variablen

Ein-/Ausgabe	Bezeichnung	Datentyp	Beschreibung
Eingabe	„ B_{ref} “	double	numerisches Bedienelement des Typs „double precision“ (1D-Array) zur Übergabe von fünf Referenzwerten B_{ref}
Eingabe	„Messen_ $B_{\text{ref}1...5}$ “	boolean	insgesamt fünf Buttons des Typs „boolean“ zur Übernahme der Messwerte U_{mess}
Eingabe	„Reset_ $B_{\text{ref}1...5}$ “	boolean	insgesamt fünf Buttons des Typs „boolean“ zur zum Löschen bereits durchgeföhrter Messungen („Reset“)
Ausgabe	„ $U_{\text{mess},\text{ref}}$ “	double[5]x[6]	numerisches Anzeigeelement des Typs „double precision“ (2D-

			Array) zur Anzeige der Messwerte für U_{mess} (fünf Zeilen zu jeweils sechs Spalten)
Ausgabe	,, \tilde{U}_{mess} “	double[5]	numerisches Anzeigeelement des Typs „double precision“ (1D-Array) zur Anzeige des Medianwerts \tilde{U}_{mess} aus jeweils sechs Einzelmessungen
Eingabe	,,Obere_Grenze_B _{ref} “	double	numerisches Bedienelement des Typs „double precision“ zur Vorgabe der oberen Interpolationsgrenze
Eingabe	,,Untere_Grenze_B _{ref} “	double	numerisches Bedienelement des Typs „double precision“ zur Vorgabe der unteren Interpolationsgrenze
Eingabe	,,Anzahl_Punkte“	integer32	numerisches Bedienelement des Typs „integer32“ zur Vorgabe der Auflösung (Anzahl der Punkte für die Interpolation)
Eingabe	,,Interpolationstyp“	integer32 (Ring-Menü)	„Ring“-Menü unter Verwendung des Datentyps „integer32“ zur Auswahl der zu verwendenden Interpolationsmethode
Eingabe	,, $U_{\text{mess,in}}$ “	double	numerisches Bedienelement des Typs „double precision“ zur Übergabe eines beliebigen Wertes für U_{mess}
Ausgabe	,, $U_{\text{korr,out}}$ “	double	numerisches Anzeigeelement des Typs „double precision“ zur Anzeige des korrigierten Werts U_{korr}

Eingabe	„Verlassen“	boolean	Schaltfläche des Typs „bool“ zum Beenden der Anwendung
Eingabe	„Kalibrieren“	boolean	Schaltfläche des Typs „bool“ zum Starten der Kalibrierung

Tabelle 6: Zusammenstellung der erforderlichen Variablen

4. Versuchsausarbeitung

Hinsichtlich der Versuchsausarbeitung sind folgende Aufgabenpunkte zwei Wochen nach dem jeweiligen Versuchstermin pro Praktikumsgruppe schriftlich einzureichen:

- 1.) Ausarbeitung der Versuchsvorbereitung,
wobei die Fragen und Themen in Kapitel 2 dargestellt sind.
- 2.) Ausdruck des LabView-Programms mit kurzer Dokumentation der einzelnen Programmteile.
- 3.) Dokumentation der maximalen Messabweichung von B_{mess} ,
wenn eine Kalibrierung basierend auf linearer Spline-Interpolation mit einer Kalibrierung basierend auf kubischer Spline-Interpolation verglichen wird.
Dabei sollen für die Kalibrierung folgende Referenzwerte gelten
 $B_{\text{ref}} = 15 ; 30 ; 45 ; 60 ; 75 \text{ mT}$. Hinsichtlich der Einstellung der maximalen zufälligen Messabweichung im Programm soll ein Wert von 5 % gesetzt sein. Zur Vereinfachung der Auswertung soll davon ausgegangen werden, dass die maximalen Abweichungen in den einzelnen Intervallen jeweils in der Mitte zwischen zwei Stützwerten existieren. Achten Sie bei der Dokumentation auf eine verständliche und nachvollziehbare Darstellung, die durch geeignete Tabellen und ggf. Graphiken unterstützt wird.
Insbesondere sind die Messwerte und die zugehörigen Medianwerte für die Kalibrierung zu dokumentieren. Bestimmen Sie die maximale absolute Abweichung der angezeigten magn. Flussdichte B_{mess} sowie die zugehörige relative Abweichung mit Bezug zum Messbereich.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DIN 1319-1: Grundlagen der Meßtechnik - Teil 1 Grundbegriffe,
Beuth Verlag GmbH, (1995)
- [2] J. Hoffmann: Handbuch der Messtechnik, München: Carl Hanser Verlag, (2012)
- [3] R. Gottkehaskamp: Vorlesungsskript - Numerische Mathematik,
Hochschule Düsseldorf, (2013)
- [4] M. Hermann: Numerische Mathematik, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, (2011)
- [5] J. D. Faires und R. L. Burden: Numerische Methoden, Spektrum-Verlag, (2000)
- [6] National Instruments, Corp.: LabVIEW-Hilfe, Version 371361M-0113, (Juni 2015)
- [7] T. Pfeifer und R. Schmitt: Fertigungsmesstechnik,
Oldenbourg Wissenschaftsverlag, (2010)
- [8] J. Hoffmann: Messen nichtelektrischer Größen - Grundlagen der Praxis,
VDI Verlag, (1996)

Abkürzungsverzeichnis

B_z	Magnetische Flussdichte in z-Richtung, allgemein
B_{ref}	Magnetische Flussdichte in z-Richtung, Referenzwert
E	Empfindlichkeit
i, n	Zählindizes, allgemein
$S_i(x)$	Spline-Polynom auf dem Teilintervall i
$S_i'(x)$	Erste Ableitung der Funktion S_i nach der Variablen x
$S_i''(x)$	Zweite Ableitung der Funktion S_i nach der Variablen x
\tilde{U}	Median aus n Spannungsmesswerten U
U_{mess}	Unkorrigierte, am Hall-Sensor gemessene Spannung bei einer vorgegebener magnetischen Flussdichte B_{ref}
Y_{korr}	Korrigiertes Messsignal (allgemein)
Y_{unkorr}	Unkorrigiertes Messsignal (allgemein)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messsystem, schematische Darstellung	3
Abbildung 2: Messwertbildung, schematische Darstellung	4
Abbildung 3: Stückweise lineare Interpolation	6
Abbildung 4: Interpolation mit kubischen Splines	6
Abbildung 5: Das Frontpanel Frontpanels	11
Abbildung 6: Blockdiagramm anzeigen	11
Abbildung 7: Programmablauf, schematische Übersicht	12
Abbildung 8: Belegung des SubVI „Sub_Hall-Sensor“	13
Abbildung 9: Belegung des SubVI „Sub_Messung#2“ (Messkanal 2, exemplarisch) ...	14
Abbildung 10: Belegung des LabVIEW-VI „Median“	15
Abbildung 11: Belegung des LabVIEW-VI „1D interpolieren“	16
Abbildung 12: Erstellung des Arrays „xi“ zur Übergabe an die Funktion „1D interpolieren“	18
Abbildung 13: Anzeige mehrerer „Wertepaare“ in einem „XY-Graph“	19
Abbildung 14: Unvollständiges Blockdiagramm der Anwendung (Verbindungen sind z. T. nicht eingezeichnet)	A

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Probemessung Magnetfeldsensor.....	8
Tabelle 2: Erläuterung zur Belegung des SubVI „Sub_Refenzmessung“	14
Tabelle 3: Erläuterung zur Belegung des SubVI „Sub_Messung“	15
Tabelle 4: Erläuterung zur Belegung des LabVIEW-VI „Median“	15
Tabelle 5: Erläuterung zur Belegung des LabVIEW-VI „1D interpolieren“ [6]	17
Tabelle 6: Zusammenstellung der erforderlichen Variablen.....	21

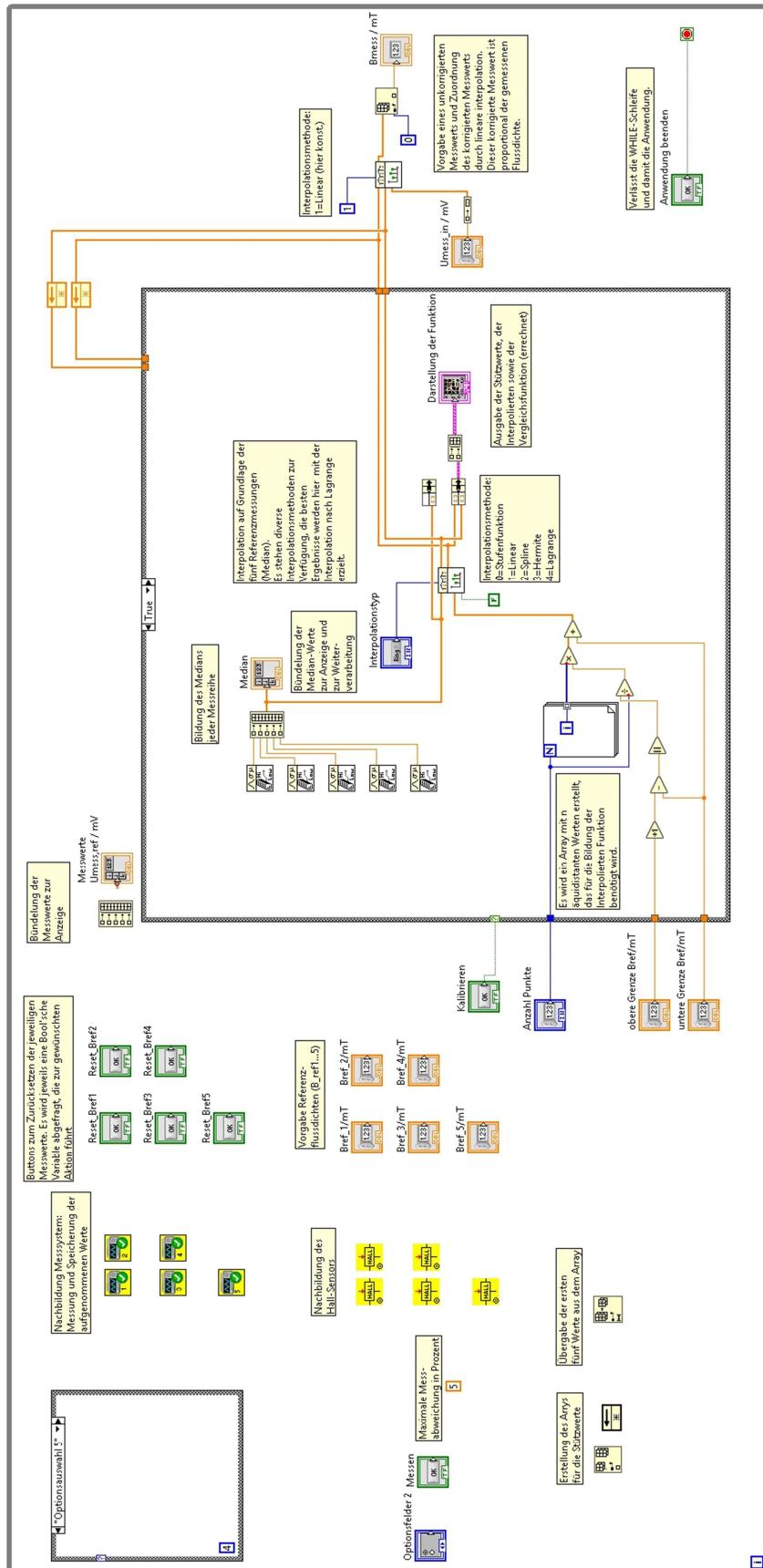


Abbildung 14: Unvollständiges Blockdiagramm der Anwendung (Verbindungen sind z. T. nicht eingezeichnet)

1) Kalibrierung in der Messtechnik ist ein Messprozess zur Feststellung und Dokumentation der Abweichung eines Messgeräts oder einer Maßverkörperung gegenüber einem anderen Gerät oder einer anderen Maßverkörperung, die in diesem Fall als Normal bezeichnet werden.

Beispiel: das Kalibrieren einer selbstanzigenden Waage durch Auflegen von Gewichtsstücken als Normale. Unter Berücksichtigung systematischen und zufälligen Einflusses wird die Anzeige der Waage mit den aufgelegten Massen verglichen und die Unsicherheit dieser Abweichung geschätzt.

(Wikipedia)

- Unter "Justierung" oder "Justage" versteht man das möglichst exakte Einstellen durch einen fachmännischen Eingriff. Vorgehweise handelt es sich um die Einstellung einer Messeinrichtung oder ihrer Anzeige.

Beispiel:

dejustierte Waage: Justierung mit Prüfgewichten und Eingriff in die Mechanik der Waage bzw. mit einem Justierprogramm

(Wikipedia)

2) Approximation

Eine Funktion, die den Verlauf der Stützpunkte unter Berücksichtigung bestimmter Kriterien darstellt, ohne diese zu durchdringen, ist von Bedeutung. Diese Funktion behält eine Differenz zwischen den Stützpunkten und der Kalibrierfunktion bei, was besonders nützlich ist, wenn viele Messpunkte vorhanden sind und ein physikalisches Modell zur Verfügung steht. Sie wird häufig eingesetzt, um Fehler oder Störungen im Sensorsystem zu erkennen, was einen erheblichen Vorteil bietet, insbesondere in der Fertigungsindustrie.

Interpolation

Bei der Interpolation läuft die Kurve genau durch die Stützpunkte.
 Sie wird insbesondere dann verwendet, wenn nur wenige Messpunkte vorhanden sind und kein physikalisches Modell bzw. mathematischen Ansatz für die Kalibrierfunktion vorhanden ist.
 Interpolationen können zu Oscillationen neigen

3) Halleffekt

Wirklichkeitsmaßsprinzip

4) Arithmetisches Mittelwert

Beim arithmetischen Mittelwert muss die Werte addiert und durch die Anzahl der Werte teilen

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$$

Median

Man hat eine Folge von Zahlen. Diese muss man zuerst von klein bis zum größten Wert sortieren.
 Der Wert den sich nun exakt in der Mitte befindet im

Hierbei muss man allerdings schauen, ob es eine gerade oder ungerade Anzahl von Werten gibt.

Wenn die Anzahl der Werte gerade ist, wird der arithmetische Mittelwert der beiden mittleren Werte gebildet

wäre dann der Median für die gerade Messreihe.
 Für eine ungerade Anzahl von Messwerten wird der Median als der Wert bestimmt, der sich genau in der Mitte der Messreihe befindet

$$\begin{cases} x_{\frac{m+1}{2}} & \text{für } m \text{ ungerade} \\ \frac{1}{2} (x_{\frac{m}{2}} + x_{\frac{m+1}{2}}) & \text{für } m \text{ gerade} \end{cases}$$

Winkel:		Spanne		
Umsatz/mv	Bmex/mv	Umsatz/mv	Bmex/mv	Max. Abweichung
113,141	22,5	113,141	22,7133	-0,9199
237,356	37,5	237,356	37,8496	-0,3496
385,3505	52,5	385,3905	52,835	-0,335
559,5935	67,5	559,5935	67,6659	-0,1659

rel. Abweichung im %

0,96

0,923

0,634

0,945

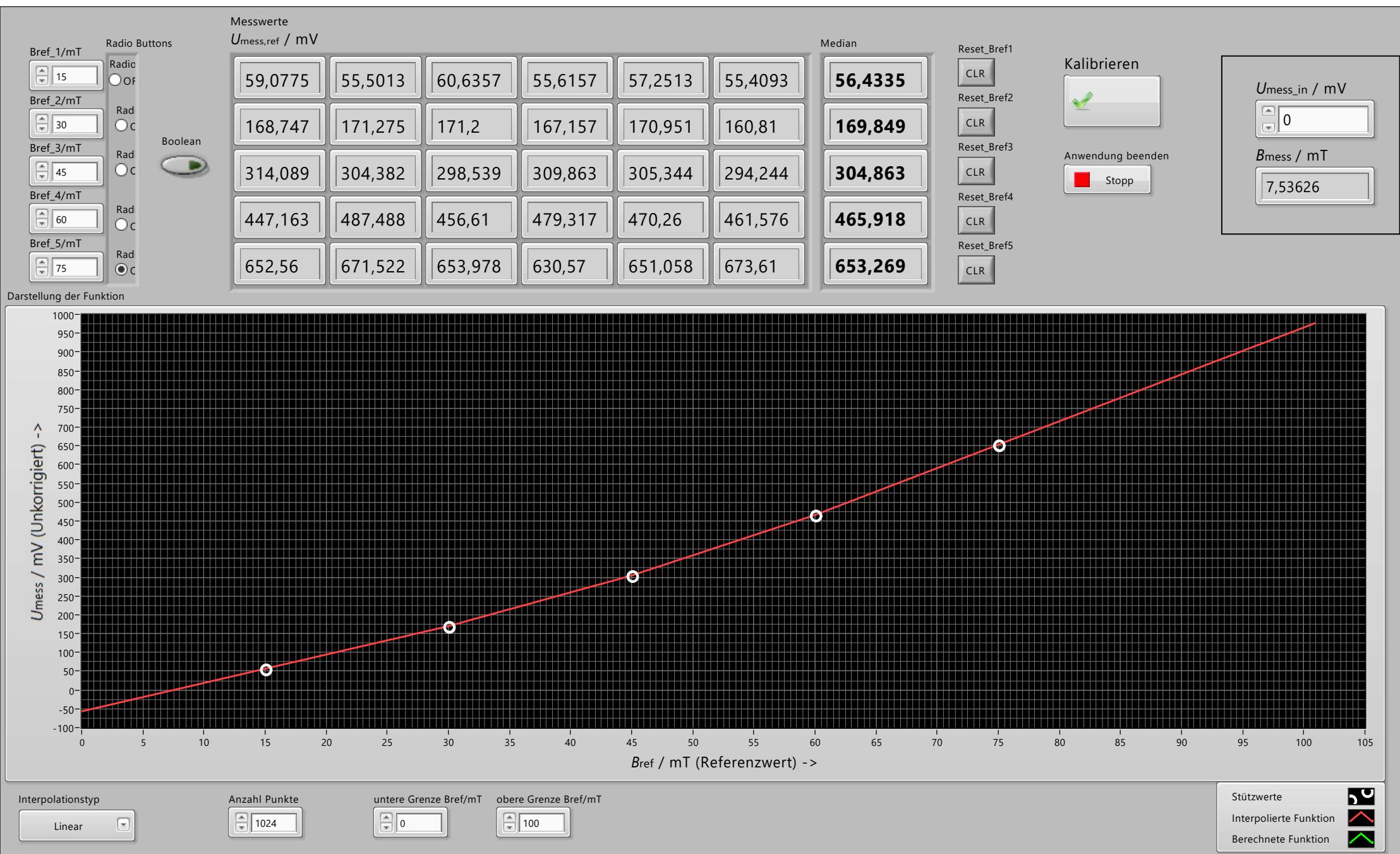


TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi

C:\Users\Student\Desktop\2023_11_16_1510_SenSysSig_V02 895536_895090\TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi

Last modified on 16.11.2023 at 16:37

Printed on 16.11.2023 at 17:19





TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi

C:\Users\Student\Desktop\2023_11_16_1510_SenSysSig_V02 895536_895090\TS20170120_0749_V1_Kalibrierung.vi

Last modified on 16.11.2023 at 16:37

Printed on 16.11.2023 at 17:19

