



HOCHSCHULE RUHR WEST
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Bachelorarbeit

zum Thema

Softwareimplementierte Messbrücke zur Dehnungsmessung an einem Walzgerüst

Vorgelegt dem Institut für Mess- und Sensortechnik
der Hochschule Ruhr West

von

Julius Focke
Sandstr. 21
45468, Mülheim an der Ruhr
Matrikelnummer: 10009405

Betreuerin:	Annette Jobst
1.Gutachter:	Prof. Dr. Himmel
2.Gutachter:	Prof. Dr. Thelen
Studiengang:	Mechatronik
Studiensemester:	Sommersemester 2022
Bearbeitungszeitraum:	18.04.2022 - 04.07.2022

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt habe. Ich habe alle Stellen, die ich aus den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommen habe, als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Focke', with a long horizontal stroke extending to the right.

Julius Focke, Mülheim an der Ruhr, den 04.07.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Aufgabenstellung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Wheatstonesche Brückenschaltung	2
2.2	Relais	3
2.3	National Instruments USB-6009	5
3	Konzeptentwicklung	6
3.1	Aktueller Stand des Versuchsaufbaus	6
3.2	Arten von Brückenschaltungen	7
3.2.1	Biegedehnung mittels Vollbrücke ermitteln	7
3.2.2	Zugdehnung mittels Zweiviertelbrücke ermitteln	8
3.3	Konzepte vorstellen	8
3.3.1	Erstes Konzept	8
3.3.2	Zweites Konzept	9
3.4	Bewertung der Konzepte	10
3.5	Umgesetztes Konzept	11
3.5.1	Viertelbrücke	11
3.5.2	Verstärkerschaltung	12
3.5.3	Software	13
3.5.4	MatLab - Darstellung der einzelnen Teilschritte	15
3.5.5	MatLab - Vollbrücke	17
3.5.6	MatLab - Zweiviertelbrücke	18
4	Versuchsaufbau	19
4.1	Aufhängung zur Krafteinleitung	19
4.2	Gewinkelte Auflage	20
4.3	Verschaltung der Viertelbrücken	21

4.4	Aufbau Messung	21
5	Versuchsdurchführung	23
5.1	Ablauf der Messungen	23
6	Messung	24
6.1	Anpassung an die Simulation	24
6.2	Vollbrücke	27
6.3	Zweiviertelbrücke	28
7	Auswertung und Vergleich der Ergebnisse	29
7.1	Vergleich - Vollbrücken	30
7.1.1	Vollbrücken Walzenhalter 1	30
7.1.2	Vollbrücken Walzenhalter 2	30
7.1.3	Vollbrücken Walzenhalter 3	31
7.1.4	Vollbrücken Walzenhalter 4	31
7.2	Vergleich - Zweiviertelbrücken	32
7.2.1	Zweiviertelbrücke Walzenhalter 1	32
7.2.2	Zweiviertelbrücke Walzenhalter 2	32
7.2.3	Zweiviertelbrücke Walzenhalter 3	33
7.2.4	Zweiviertelbrücke Walzenhalter 4	33
7.3	Auswertung	33
8	Fazit und Ausblick	34

Abbildungsverzeichnis

2.1	Wheatstonesche Messbrücke	2
2.2	Aufbau Relay	4
2.3	Schaltarten von Relais	4
2.4	National Instruments USB-6009	5
3.1	Messaufbau	6
3.2	Vollbrücke für reine Biegung	7
3.3	Zweiviertelbrücke für reine Zug-/Druckkraft	8
3.4	Messaufbau	9
3.5	Ablaufplan des ersten Konzepts	9
3.6	Ablaufplan des zweiten Konzepts	10
3.7	Gegenüberstellung der Konzepte	10
3.8	Viertelbrücken PCB	12
3.9	Verstärkerschaltung	13
3.10	Flussdiagramm	15
3.11	Eingangsdaten	16
3.12	Sprungaufteilung	16
3.13	Datenstücke	17
3.14	Faktorierte Daten	17
4.1	Aufhängung zur Krafteinleitung	20
4.2	Gewinkelte Auflage	20
4.3	Messaufbau	22
6.1	Faktorisierung DMS 2.1.1 und 2.1.2	25
6.2	Faktorisierung DMS 2.1.3 und 2.1.4	25
6.3	Faktorisierung DMS 2.2.1 und 2.2.2	26
6.4	Faktorisierung DMS 2.2.3 und 2.2.4	26
6.5	Vollbrücke Steg 1	27
6.6	Vollbrücke Steg 2	28
6.7	Zweiviertelbrücken Steg 2	28

7.1	Simulierter Walzenhalter	29
7.2	Simulierte Vollbrücken	30
7.3	Vollbrücke vom Walzenhalter 1 Messung 2	30
7.4	Vollbrücke vom Walzenhalter 2 Messung 2	30
7.5	Vollbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 3	31
7.6	Vollbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 6	31
7.7	Vollbrücke vom Walzenhalter 4 Messung 1	31
7.8	Simulierte Zweiviertelbrücke	32
7.9	Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 1 Messung 2	32
7.10	Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 2 Messung 2	32
7.11	Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 6	33
7.12	Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 4 Messung 1	33
8.1	DMS 1.1.1 und DMS 1.1.2	36
8.2	DMS 1.1.3 und DMS 1.1.4	37
8.3	DMS 1.2.1 und DMS 1.2.2	37
8.4	DMS 1.2.3 und DMS 1.2.4	38
8.5	DMS 3.1.1 und DMS 3.1.2	38
8.6	DMS 3.1.3 und DMS 3.1.4	39
8.7	DMS 3.2.1 und DMS 3.2.2	39
8.8	DMS 3.2.3 und DMS 3.2.4	40
8.9	DMS 4.1.1 und DMS 4.1.2	40
8.10	DMS 4.1.3 und DMS 4.1.4	41
8.11	DMS 4.2.1 und DMS 4.2.2	41
8.12	DMS 4.2.3 und DMS 4.2.4	42

Abkürzungsverzeichnis

DMS Dehnmessstreifen

FEM Finite Elemente Methode

NO Normally Open

NC Normally Closed

SPDT Single Pole-Double Throw

NI National Instruments

AI Analog Input

V Volt

g Gramm

ca. circa

m Meter

min Minute

h Stunde

bzw. beziehungsweise

Zusammenfassung

Im Rahmen der dieser Bachelorarbeit werden Dehnungsmessstreifen (DMS) mittels Faktor kalibriert, da die DMS unterschiedlich positioniert sind. Auf Grund der manuellen Applikation stellen die DMS unterschiedliche Dehnungen dar, dies soll mit Hilfe einer Kalibrierung der DMS verhindert werden. Damit die DMS kalibriert werden können, werden die DMS in einer Viertelbrücke gemessen und anschließend mit Hilfe einer Messkarte in Matlab eingelesen. Im Matlab werden die Daten anschließend weiterverarbeitet, so dass jeder DMS seinen eigenen Faktor bekommt. Anschließend werden die DMS in eine Vollbrücke und Zweiviertelbrücke verrechnet, damit die reine Biegedehnung sowie reine Zugdehnung berechnet werden kann.

Abstract

In the context of this bachelor thesis, strain gauges are calibrated by means of a factor, as the strain gauges are positioned differently. Due to the manual application, the strain gauges represent different strains; this is to be prevented with the help of a calibration of the strain gauges. In order to calibrate the strain gages, the strain gages are measured in a quarter bridge and then read into Matlab with the help of a measuring card. The data is then processed further in Matlab so that each strain gauge gets its own factor. The strain gages are then calculated into a full bridge and two-quarter bridge so that the pure bending strain and pure tensile strain can be calculated.

Kapitel 1

Einleitung

Diese Bachelorarbeit behandelt den Entwicklung einer softwareimplementierten Messbrücke um reine Biegedehnung und reine Zugdehnung mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen (DMS) zu messen.

1.1 Motivation

Im Rahmen der Bachelorarbeit soll es möglich sein, mit zwei verschiedenen Arten von Messbrücken gleichzeitig zu messen, damit die einwirkenden Kräfte auf die Walzenhalterungen in ihren Komponenten dargestellt werden können. Dabei sollen die Biegedehnung und Zugdehnung dargestellt werden, da dies die Kraftkomponenten während eines Walzvorgangs sind. Zusätzlich soll eine Möglichkeit gefunden werden, die die nicht mittige Positionierung der DMS ausgleicht, da sonst keine plausiblen Ergebnisse zu erwarten sind.

1.2 Aufgabenstellung

Dieser Bachelorarbeit beschäftigt sich damit, eine Wheatstonesche Brückenschaltung zu entwickeln, die das Messen von reiner Biegedehnung und reiner Zugdehnung der Walzenhalter des Duowalzgerüsts ermöglicht. Auf Grund der manuellen Applizierung der DMS auf die Walzenhalterungen haben alle DMS eine unterschiedliche Positionierung, was dazu führt, dass die DMS unterschiedliche Dehnungen darstellen. Aus diesem Grund sollen die Messsignale mit Hilfe der National Instruments USB-6009 (kurz NI USB-6009) eingelesen und mit Matlab weiterverarbeitet werden. Anschließend werden die Spannungen in rechnerische Brückenschaltungen überführt.

Kapitel 2

Grundlagen

2.1 Wheatstonesche Brückenschaltung

Eine Wheatstonesche Brückenschaltung ist eine Parallelschaltung von zwei Spannungsteilern, die für eine Bestimmung von Widerstandsänderungen genutzt wird und somit das Messen mit DMS ermöglicht. Dabei kann die Brückenspannung U_d , positive als auch negative Spannungswerte annehmen. Als abgeglichen gilt die Brückenschaltung bei einer Spannung von $U_d=0V$.

Die Wheatstonschen Brückenschaltung lässt sich wie folgt darstellen:

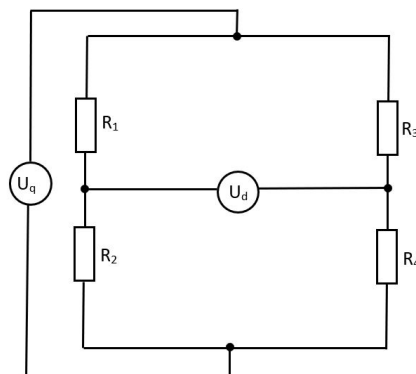


Abbildung 2.1: Darstellung einer Wheatstoneschen Messbrücke

Dabei wird die Quellspannung U_q auf die beiden Brückenhälften jeweils im Verhältnis der Brückenwiderstände aufgeteilt, die je einen Spannungsteiler

bilden. Bei ungleichen Widerstandsverhältnisse der beiden Brückenhälften spricht man von einer "Verstimmung" der Brücke.

Die Brückenspannung wird wie folgt mathematisch beschrieben:

$$U_d = U_q \cdot \left(\frac{R1}{R1 + R2} - \frac{R4}{R3 + R4} \right) \quad (2.1)$$

Für gleiche große Widerstände gilt somit:

$$\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3} \quad (2.2)$$

Dabei wird zwischen vier verschiedenen Messbrücken unterschieden (siehe Abbildung 2.1).[3]

- Viertelbrücke: R1 wird durch einen DMS ersetzt
- Zweiviertelbrücke: R1 und R4 werden von einem DMS ersetzt
- Halbbrücke: R1 und R2 werden von einem DMS ersetzt
- Vollbrücke: alle Widerstände werden durch DMS ersetzt

2.2 Relais

Als ein Relais wird ein elektromechanischer Schalter bezeichnet, diese können ein-/aus- bzw. umschalten. Ein Relais besteht dabei aus einer Spule mit Eisenkern, wird die Spule von Strom durchflossen so entsteht ein magnetisches Feld und ein Anker wird angezogen. Dabei unterscheiden sich Relais noch darin, ob sie normalerweise offen (NO) bzw. normalerweise geschlossen (NC) sind. In der Abbildung 2.2 ist dabei ein NO- Relais zu sehen, dabei drückt der Anker zwei Kontaktfedern zusammen und der Stromkreis ist geschlossen, der Strom kann nun durch die Kontaktfedern fließen [5].

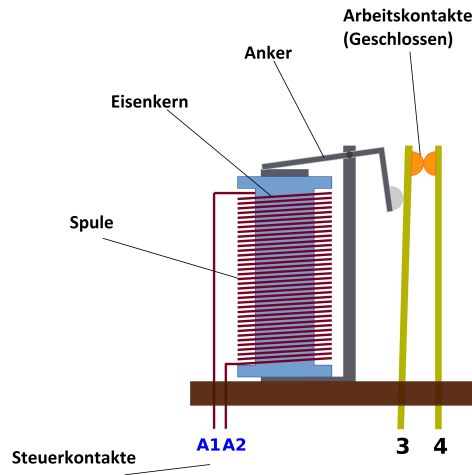


Abbildung 2.2: Aufbau eines geschlossenen Relais, Quelle:[5]

Dabei unterscheidet man zwischen verschiedenen Arten von Schaltern bei einem Relais. Der klassische Schalter ist ein Single Pole-Single Throw (kurz SPST), dieser hat ein Eingang und einen Ausgang. Dann gibt es den Single Pole-Double Throw (kurz SPDT) dieser hat einen Eingang und zwei Ausgänge, somit ist dies ein Umschalter, sprich in jedem Zustand des Schalter fließt Strom, jedoch über verschiedene Wege. Dann gibt es noch den Double Pole - Single Throw (kurz DPST), dieser hat zwei Eingänge, jedoch für jeden Eingang nur einen Ausgang, die auch nur gleichzeitig bedient werden können. Als letztes gibt es noch den Double Pole - Double Throw (kurz DPDT), dieser ist ähnlich zu dem SPDT, jedoch hat dieser zwei Eingänge und für jeden Eingang auch zwei Ausgänge, somit ist dieser ebenfalls ein Umschalter.

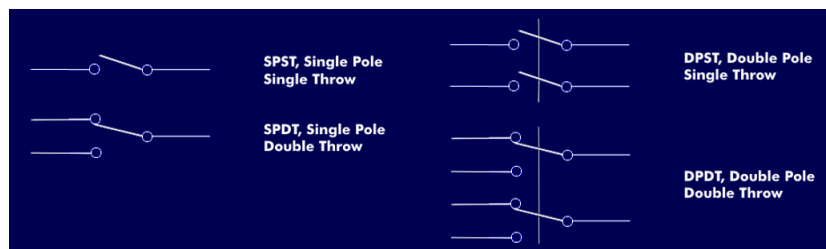


Abbildung 2.3: Schaltarten von Relais, Quelle:[7]

Für das erste Konzept der Messschaltung wurde ein SPDT-Relais ausgewählt, um die zwischen den einzelnen Messbrücken, fließenden Ströme schalten zu können.

2.3 National Instruments USB-6009

Das NI USB-6009, ist ein busversorgtes multifunktionales USB-Datenerfassungsgerät. Es verfügt über acht Analogeingänge (kurz AI), zwei Analogausgänge und zwölf Digitalanschlüsse, mit einem 32-Bit- Zähler. Der NI USB-6009 lässt sich mittels USB an einen Computer anschließen und hat dabei eine Auflösung für die AI, von 14 Bit bei differentiellen Schaltungen und 13 Bit bei Schaltungen mit Bezugspotenzial. Die maximale Sample-Rate liegt bei 48 kS/s [6]. In dieser Bachelorarbeit werden ausschließlich die AI genutzt, um die Differenzspannungen an einer Verstärkerschaltung von den einzelnen Viertelbrücken zu messen, hierbei wird die Methode mit dem Bezugspotenzial genutzt. Anschließend werden diese Daten mit Hilfe von Matlab und Libraries ausgelesen.



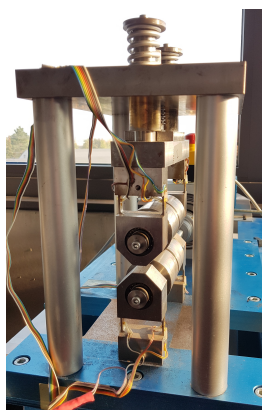
Abbildung 2.4: National Instruments USB-6009

Kapitel 3

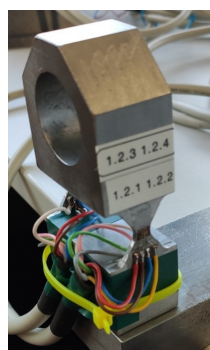
Konzeptentwicklung

3.1 Aktueller Stand des Versuchsaufbaus

Die vier Walzenhalterungen wurden im vorangegangenen Praxissemester mit DMS bestückt. Anschließend wurden die DMS vermessen, damit die Ist-Werte, der DMS festgestellt werden können. Zum Abgleich wurden zusätzlich eine Simulation der DMS in SolidWorks mit Hilfe von Finite-Elemente-Methode (FEM) erstellt. Anschließend wurden diese Daten miteinander verglichen, um herauszufinden welche DMS den Soll-Werten am nächsten kommen. Dabei wurde festgestellt, dass kein DMS den Soll-Werten entspricht. Dies hat hauptsächlich mit dem manuellen Applizieren auf der komplizierten Geometrie zu tun.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 3.1: (a):altes Duowalzgerüst, (b):Neue Walzenhalterung für das Duowalzgerüst , (c)Messaufbau

Zusätzlich konnte auf die Verstärkerschaltung von Phillip Parker zurückgegriffen werden. Diese bietet die Möglichkeit 10 DMS gleichzeitig zu verstärken und gleichzeitig mit 2,5V zu versorgen. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit jeden einzelnen DMS mit einer Verstärkung zu versehen.

3.2 Arten von Brückenschaltungen

Um die verschiedenen mechanischen Spannungszustände messen zu können braucht es zwei verschiedene Arten der Messschaltungen. Da jeweils das Messergebnis unverfälscht sein soll, also unabhängig von anderen Krafrichtungen, werden die Messungen als eine reine Biegedehnung und eine reine Zugdehnung gemessen.

3.2.1 Biegedehnung mittels Vollbrücke ermitteln

Um die reine Biegedehnung messen zu können, wird hier eine Vollbrücke verwendet, die durch ihren Aufbau die reine Biegedehnung misst. Dabei liegen die DMS, die gegenüber an der Walzenhalterung liegen in der Messschaltung in einem Zweig des Spannungsteilers, das andere Paar ist diesem parallel geschaltet. So wird dann die Differenz der Spannungen gebildet und ergibt die reine Biegedehnung.

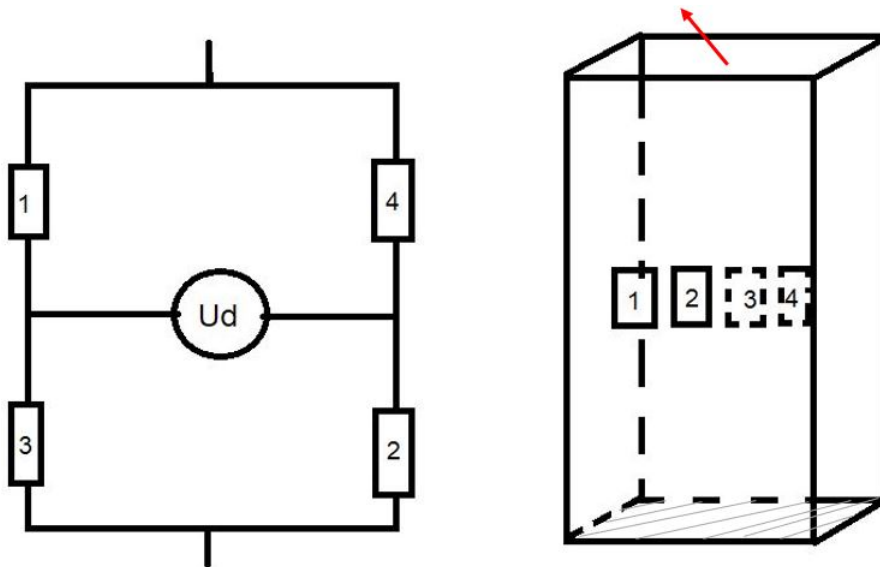


Abbildung 3.2: Vollbrücke für reine Biegedehnung mit DMS Positionierung an der Walzenhalterung

3.2.2 Zugdehnung mittels Zweiviertelbrücke ermitteln

Um eine reine Zugdehnung der Walzenhalterung messen zu können, muss aus der Vollbrücke eine Zweiviertelbrücke erstellt werden, jedoch werden in dieser Zweiviertelbrücke ebenfalls alle vier DMS verwendet. Um eine reine Zugdehnung messen zu können, werden dafür jeweils zwei DMS in Reihe geschaltet, in dem Spannungsteiler und ein zusätzlicher Festwiderstand mit dem Gesamtwiderstand dazu geschaltet (siehe Abbildung 3.3). Dabei addieren sich die Widerstände der in Reihe geschalteten DMS, da bei einer Biegebeanspruchung die Spannungen unterschiedliche Vorzeichen haben, wird somit die Biegung kompensiert. Dadurch ist es möglich die reine Zugdehnung zu messen.

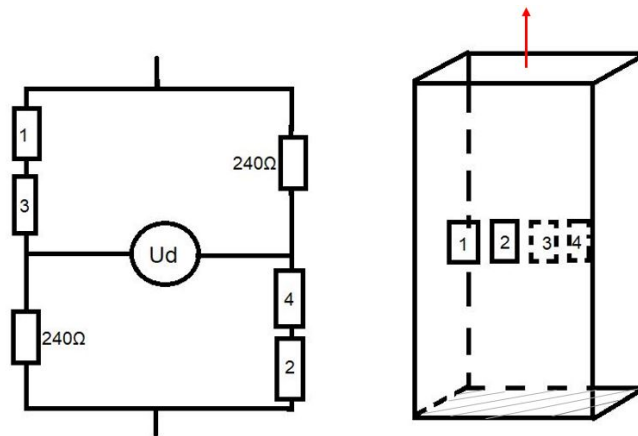


Abbildung 3.3: Zweiviertelbrücke für reine Zug-/Druckkraft mit DMS Positionierung an der Walzenhalterung

3.3 Konzepte vorstellen

3.3.1 Erstes Konzept

Das erstes Konzept besteht aus den beiden zuvor gezeigten Messschaltungen, dabei sollen Relais zwischen den einzelnen Arten der Verschaltung umschalten. Um das Umschalten zu realisieren, werden SPDT-Relais verwendet. Da die verschiedenen Brückenschaltungen verschiedene Messpunkte haben, wurden diese ebenfalls mit SPDT-Relais geschaltet. Diese Messbrücke soll dann für jeden Steg ein Messergebnis liefern, somit sollen 8 von diesen Messschaltung eingesetzt werden und diese mit einer Verstärkerschaltung verstärkt werden. Anschließend sollen die Daten mittels NI USB-6009 eingelesen und ausgewertet werden. Das Konzept sieht wie folgt aus:

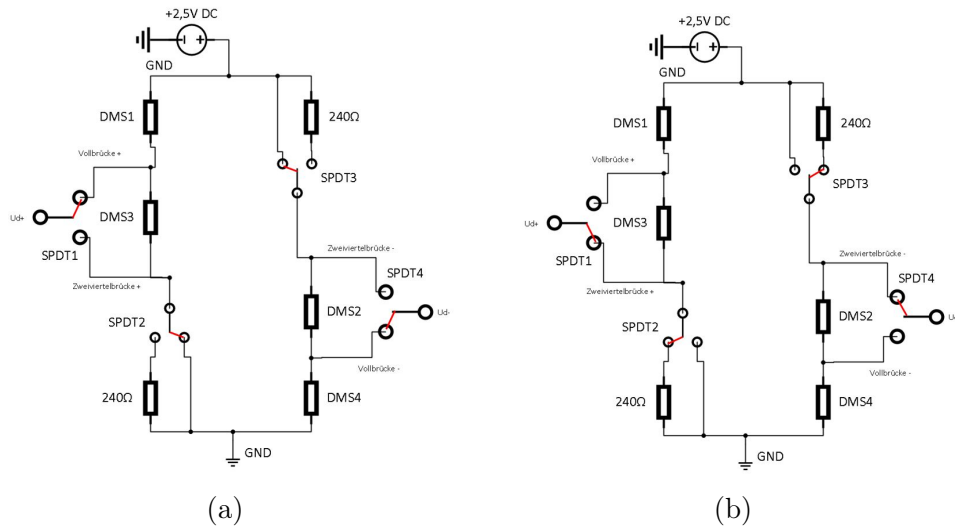


Abbildung 3.4: (a):Erstes Konzept als Vollbrücke, (b):Erstes Konzept als Zweiviertelbrücke

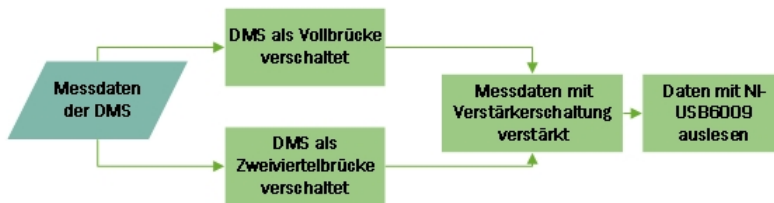


Abbildung 3.5: Ablaufplan des ersten Konzepts

3.3.2 Zweites Konzept

Ein zweiter Ansatz ist, jeden DMS in einer Viertelbrücke zu verschalten und dessen Differenzspannung zu messen und zu verstärken. Die verstärkte Differenzspannung wird anschließend mit Hilfe des NI USB-6009 in MatLab eingelesen und weiterverarbeitet. Dabei wird ein neuer Steigungsfaktor auf die einzelnen Messwerte gegeben, um die nicht mittigen DMS mit simulierten Werten zu kalibrieren. Zum Schluss werden die Messwerte als eine Vollbrücke und Zweiviertelbrücke verrechnet.

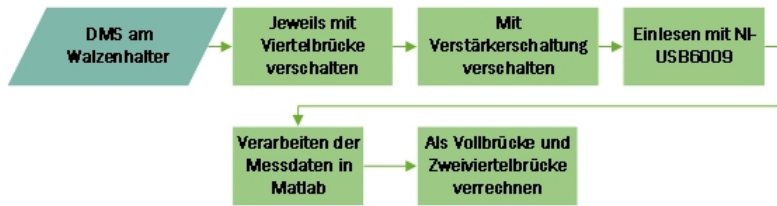


Abbildung 3.6: Ablaufplan des zweiten Konzepts

3.4 Bewertung der Konzepte

Bei der Gegenüberstellung werden kurz die Vor- und Nachteile der Konzepte erläutert, dabei sind in grün die Vorteile und in rot die Nachteile dargestellt.

1. KONZEPT	2. KONZEPT
<ul style="list-style-type: none"> • Messgenauigkeit • Leichte Implementierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Biegung & Stauchung gleichzeitig messbar • Faktorisierung der einzelnen DMS möglich • Günstige Hardware • Kleinere Hardware • Neu applizieren der DMS nicht nötig • Daten von jedem einzelnen DMS
<ul style="list-style-type: none"> • Ungenauigkeit nicht veränderbar • Teurere Hardware • Hardwareverschleiss (Relais) • Faktorisierung nicht möglich • Simultanes messen der Spannungen • DMS müssen genau appliziert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Rundungsfehler • Offsetabzug in diesem Aufbau schwierig • Durch Rechnung verursachte Fehler • Simulation muss ideal sein

Abbildung 3.7: Gegenüberstellung vom ersten und zweiten Konzept

Das erste Konzept würde bei optimaler Applizierung der DMS eine bessere Messgenauigkeit haben, da es bei dem zweiten Konzept zu Rundungsfehlern sowie andere Abweichungen kommen kann. Außerdem ist die Implementierung einfacher, da beim ersten Konzept nicht die einzelnen DMS kalibriert werden müssen bei genauer Applizierung der DMS und somit keine Software geschrieben werden muss. Jedoch weist das erste Konzept einige Schwächen auf, die auf Grund der ungenauen Applizierung kritisch sind. Die Kalibrierung der einzelnen DMS ist in dem ersten Konzept nicht möglich, was zum neuen applizieren der DMS führen würde. Außerdem können die auftretenden Differenzspannungen nur simultan gemessen werden. Hinzu kommt das die notwendige Hardware für das erste Konzept teurer ist und die verbauten Relais mit der Zeit verschleifen.

Viele der negativen Punkte aus dem ersten Konzept, sind beim zweiten Konzept positive Aspekte. So können die einzelnen DMS beim zweiten Konzept

mit Hilfe eines Faktors kalibriert werden und somit ist das neue applizieren der DMS nicht notwendig. Zusätzlich kann die Biegedehnung und die Zugdehnung gleichzeitig gemessen werden und somit das aufteilen der einzelnen Kraftkomponenten je Messung ermöglicht, außerdem können Messwerte von jedem einzelnen DMS verwendet werden um z.B. andere Brückenschaltungen zu berechnen. Zusätzlich ist die Hardware günstiger und kleiner als die aus dem ersten Konzept. Jedoch weist dieses Konzept auch Nachteile auf, so gibt es Rundungsfehler oder es können Fehler durch eine falsche Rechnung auftreten. Außerdem ist es mit der genutzten Verstärkerkarte nicht möglich das Offset manuell zu kompensieren, was dazu führt das ein kleines Restoffset der DMS vorhanden sein kann. Zusätzlich muss die Simulation die zur Hilfe der Kalibrierung der DMS dient ideal sein und darf keine Fehler aufweisen, da sonst die Kalibrierung fehl schlägt.

3.5 Umgesetztes Konzept

Bei dem umgesetzten Konzept handelt es sich um das zweite Konzept.

3.5.1 Viertelbrücke

Die Viertelbrücken für die acht DMS besteht aus einen parallel geschalteten Referenzweig für alle Viertelbrücken. Dieser Referenzweig besteht aus zwei Nennwiderständen mit je 120Ω , die in Reihe geschaltet sind. Die acht Zweige der Viertelbrücken besitzen jeweils einen Anschluss für einen DMS und einen in Reihe geschalteten Nennwiderstand mit 120Ω . Dies hat den Vorteil, dass weniger Widerstände benötigt werden und weniger Platz benötigt wird. Zusätzlich haben so alle Brückenschaltungen gleiche Referenzspannung, die an $V+$ anliegt, zum bilden der Differenzspannung. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Leiterbahnen der Viertelbrücken die gleiche Länge haben, um den Widerstand der Leiterbahnen möglichst gleich zu halten.

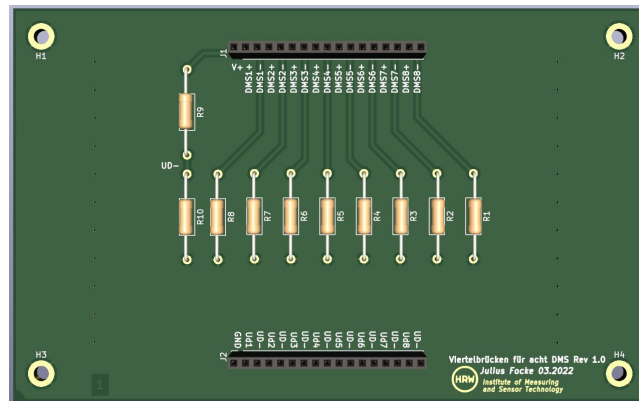


Abbildung 3.8: PCB für acht Viertelbrücken

Bei den Nennwiderständen ist darauf zu achten, dass diese eine geringe Toleranz besitzen und zusätzlich muss der Temperaturdrift der Nennwiderstände gering sein, um ungenaue Messungen zu vermeiden.

3.5.2 Verstärkerschaltung

Zum Messen der einzelnen Viertelbrücken kommt eine von Philipp Parker konstruierte Verstärkerschaltung zum Einsatz. Diese bietet die Möglichkeit 10 DMS gleichzeitig zu verstärken und zusätzlich eine Versorgungsspannung für die Brückenschaltung von 2,5V. Dabei werden die Differenzspannungen mit Hilfe der Instrumentenverstärkerschaltung INA 126 verstärkt, dies ist bis zum Faktor 1000 möglich. Der Faktor 1000 ist bei den Messungen notwendig, da die Kraftbeanspruchungen auf die Walzenhalterung im Vergleich zum Walzbetrieb zu gering ist. Die Verstärkung kann dabei mit Hilfe von Potentiometern angepasst werden.

Die dazu verwendete Formel lautet [1]:

$$G = \frac{80k\Omega}{R_G} + 5 \quad (3.1)$$

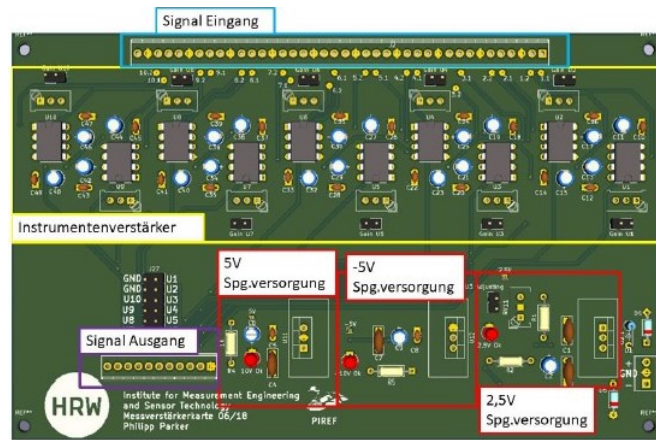


Abbildung 3.9: Verstärkerschaltung, Quelle: [1]

3.5.3 Software

Die einzelnen Messwerte erhält das in Matlab geschriebene Programm mit Hilfe des NI USB-6009 (siehe Abschnitt 2.3). Auf Grund der unterschiedlichen Spannungsverläufe, durch die außermittige Position der DMS, müssen die Messwerte mit Hilfe einer FEM-Simulation kalibriert werden, damit aussagekräftige Ergebnisse berechnet werden. Dazu wird die Walzenhalterung eingespannt und an ihr unterschiedliche Massen, zum kalibrieren der DMS, an die Walzenhalterungen angehängen. Zuerst wird die Messkarte initialisiert um die Messdaten von der Karte zu empfangen. Im nächsten Schritt werden die Input-Channels eingestellt und als SingleEnded eingestellt, damit das interne Spannungsoffset der Messkarte abgezogen wird. Daraufhin werden die Daten in einzelne Variablen gespeichert, damit jeder Input einzeln weiterverarbeitet werden kann. Zusätzlich wird der Datentyp von Timetable zu einem Array umgewandelt. Als nächstes werden dann die einzelnen Spannungssprünge, die durch das Hinzufügen von Gewichten verursacht werden, in ihre jeweiligen Segmente aufgeteilt. Dies geschieht mit Hilfe der Funktion *findchangepts* aus einer Matlab Library. Anschließend werden die einzelnen Segmente in 5 Teilstücke unterteilt und daraus die Daten des 4. Segments verwendet, dort ist die Schwingungen der Massen am geringsten, die die Messung beeinflusst. Die Schwingung wird dabei durch das hinzufügen der Massen verursacht. Aus diesem Datenstück wird jeweils für die Massen ein Mittelwert gebildet. Dabei werden die jeweiligen Mittelwerte mit Hilfe der Funktion *mean* aus der Matlab Library gebildet. Daraus entstehen somit vier Werte pro DMS bei jeder Messung. Anschließend wird das Offset der Differenzspannung ($U_{dMittelwert}$) abgezogen, damit bei 0g Gewicht auch eine Spannung von 0V erreicht wird.

Die dazugehörige Formel lautet:

$$U_{d_{Offset}} = U_{d_{Mittelwerte}} - U_{d(1)_{Mittelwert}} \quad (3.2)$$

- $U_{d_{Mittelwert}}$ - alle gemittelten Differenzspannungen von dem Teilstücken
- $U(1)_{d_{Mittelwert}}$ - der erste Wert der gemittelten Differenzspannungen der Teilstücke

Als nächstes wird die Steigung der gemessenen Werte ermittelt, dies dient der Berechnung der jeweiligen Steigungsfaktoren.

$$\begin{aligned} Steigung_{Ms0} &= \frac{U_{d_2} - U_{d_1}}{m_2 - m_1} \\ Steigung_{Ms1} &= \frac{U_{d_3} - U_{d_2}}{m_3 - m_2} \\ Steigung_{Ms2} &= \frac{U_{d_4} - U_{d_3}}{m_4 - m_3} \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$Steigung_{MS_{Avg}} = \frac{(Steigung_{Ms0} + Steigung_{Ms1} + Steigung_{Ms2})}{3} \quad (3.4)$$

- U_d - gemittelte Differenzspannungen ohne Offset
- m - Massen die zur Messung genutzt werden
- $Steigung_{MS}$ - Steigung zum jeweiligen Punkt
- $Steigung_{MS_{Avg}}$ - Durchschnittliche Steigung

Darauf folgend wurde die berechnete Steigung aus der Simulation genommen und mit der gemessenen Differenzspannung verrechnet, mit folgender Formel:

$$U_{d_{neu}} = \frac{Steigung_{Simulation}}{Steigung_{Ms0}} \cdot U_{d_{offset}}$$

$$U_{d_{neu}} = \frac{Steigung_{Simulation}}{Steigung_{Ms1}} \cdot U_{d_{offset}} \quad (3.5)$$

$$U_{d_{neu}} = \frac{Steigung_{Simulation}}{Steigung_{Ms2}} \cdot U_{d_{offset}}$$

$$U_{d_{neuAvg}} = \frac{Steigung_{Simulation}}{Steigung_{MsAvg}} \cdot U_{d_{offset}} \quad (3.6)$$

Somit entstehen zwei Steigungsfaktoren, einmal ein Steigungsfaktor für jede Masse und einmal ein Steigungsfaktor für den Mittelwert der Steigungen.

Die Darstellung des Matlab-Programms als Flussdiagramm:

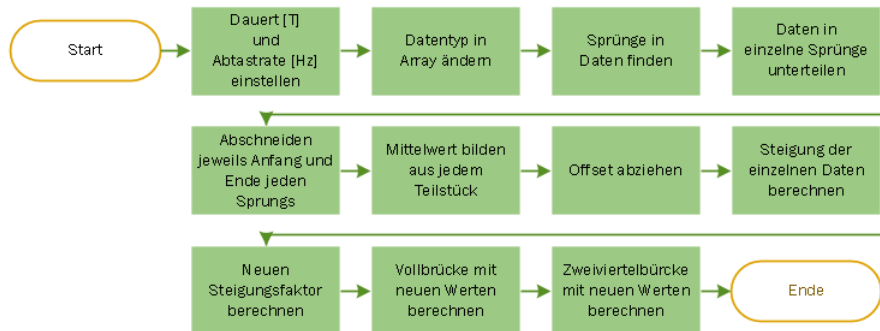


Abbildung 3.10: Flussdiagramm vom Matlab Programm

3.5.4 MatLab - Darstellung der einzelnen Teilschritte

In diesem Kapitel werden die einzelnen Teilschritte des MatLab-Programms an Hand des DMS 2.1.1 graphisch dargestellt, bis zum Schritt der Faktorisierung der einzelnen DMS.

Als erstes werden die Rohdaten mit Hilfe des NI-6009 USB eingelesen, dabei sind die einzelnen Spannungssprünge durch die Gewichte deutlich zu erkennen.

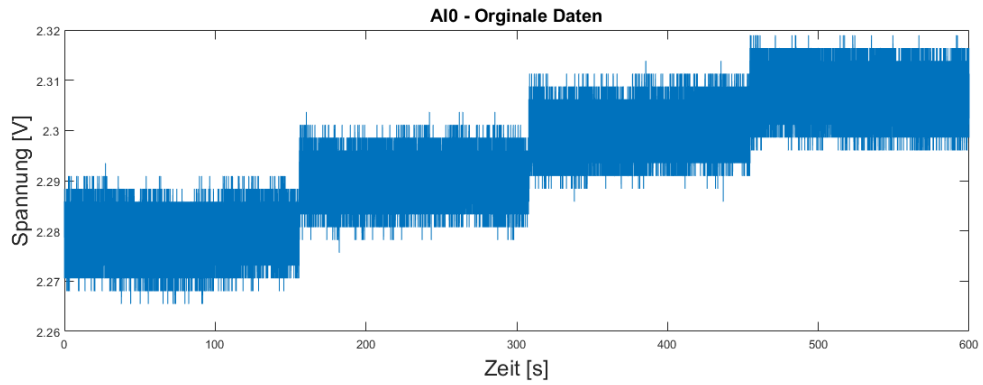


Abbildung 3.11: Bsp. Eingangsdaten vom DMS 2.1.1

Im nächsten Schritt werden die Sprünge aufgeteilt.

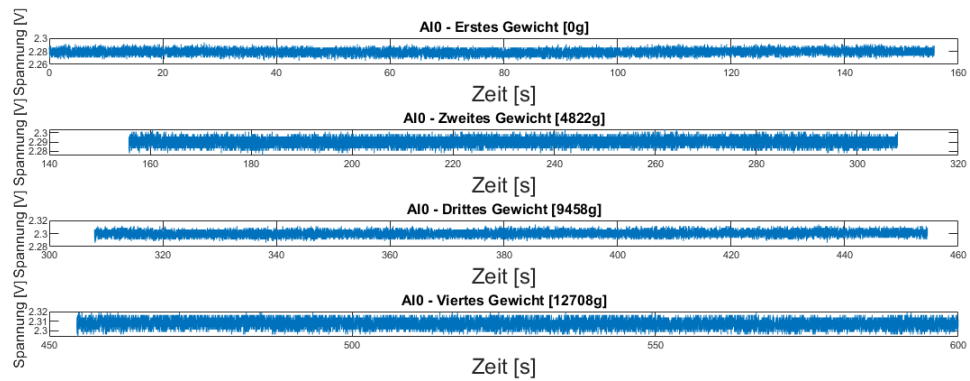


Abbildung 3.12: Bsp. aufgeteilte Sprünge vom DMS 2.1.1

Auf Grund der Spannungsspitzen am Anfang und Ende, sowie dem Schwingen des Eimers durch das Hinzufügen des Gewichts, wird nur ein Teilstück verwendet.

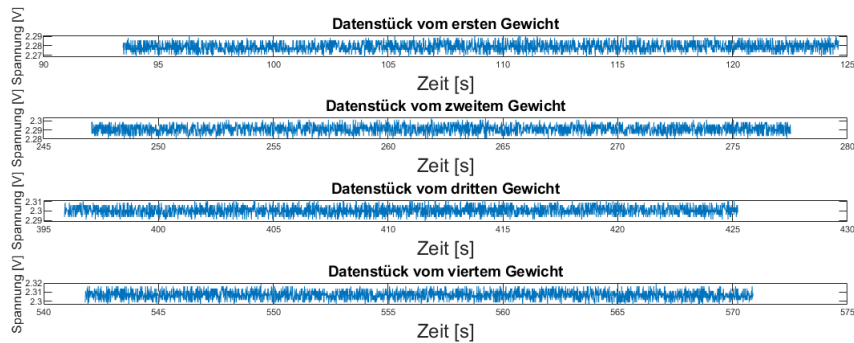


Abbildung 3.13: Bsp. Datenstücke vom DMS 2.1.1

Diese Datenstücke werden dann gemittelt, das Offset abgezogen und ein Faktor drauf gerechnet.

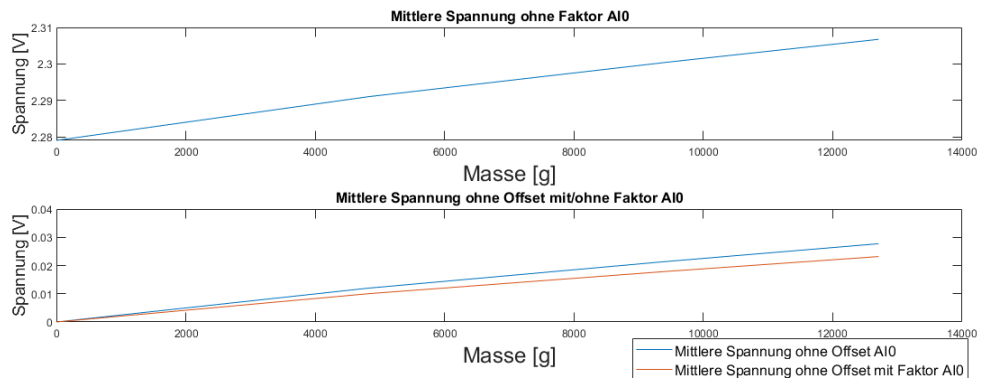


Abbildung 3.14: Bsp. Faktorisierte Daten vom DMS 2.1.1

3.5.5 MatLab - Vollbrücke

Für das Berechnen der Vollbrücke werden nun die jeweiligen Variablen in die Formel für die Vollbrücken eingesetzt und berechnet. Die Formel für die Vollbrücke lautet:

$$U_{dB} = (U_{d1} - U_{d3} + U_{d2} - U_{d4}) \quad (3.7)$$

- U_{dB} : Differenzspannung der Vollbrücke
- U_{dx} : jeweilige gemittelte Spannung ohne Offset und mit jeweiligem Faktor

3.5.6 MatLab - Zweiviertelbrücke

Um die Zweiviertelbrücke zu berechnen wurde zunächst $\Delta R/R$ ermittelt. Dazu wurde die Spannung (U_d) ohne Offset und mit ihrem jeweiligen beaufschlagten Steigungsfaktor verwendet. Es wurde die Formel für eine Viertelbrücke verwendet, da die Eingangsspannung mit einer Viertelbrücke erzeugt wird. Die Formel für eine Viertelbrücke lautet: [4]

$$\frac{U_d}{U_q} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (3.8)$$

umgestellt nach ΔR lautet die Formel:

$$\Delta R = \frac{U_d}{U_q} \cdot 4 \cdot R \quad (3.9)$$

Dies wird getan, um die Differenzspannung (U_d) für die in Kapitel 2.6 vorgestellte Zweiviertelbrücke zu berechnen. Die Formel lautet dabei wie folgt:[2]

$$U_1 = \frac{R_{\text{DMS}} + \Delta R_{\text{DMS}}}{R_{\text{DMS}} + \Delta R_{\text{DMS}} + R} \cdot U_q \quad (3.10)$$

$$U_2 = \frac{R}{R_{\text{DMS}} + \Delta R_{\text{DMS}} + R} \cdot U_q \quad (3.11)$$

$$U_d = U_1 - U_2 \quad (3.12)$$

- U_1 : Spannung der linken Brückenschaltung
- U_2 : Spannung der rechten Brückenschaltung
- U_q : Quellspannung der Brückenschaltung
- U_d : Differenzspannung zwischen beiden Seiten der Brückenschaltung
- R_{DMS} : Grundwiderstand des DMS
- ΔR_{DMS} : Widerstandsänderung des DMS
- R : Festwiderstand (240Ω)

Kapitel 4

Versuchsaufbau

In diesem Kapitel werden einzelne Komponenten für den Versuchsaufbau, sowie der allgemeine Versuchsaufbau erläutert.

4.1 Aufhängung zur Krafteinleitung

Damit eine Messung aussagekräftige Ergebnisse liefert muss das Gewicht in der Mitte der Walzenhalterung angehängt werden, da sonst ein Moment an der Walzenhalterung entsteht, welches sich in der Messung widerspiegelt. Dafür wurde eine Zentrierung angefertigt. Diese besteht aus einem Kugellager, auf das ein 1 mm breiter Messingring mittig draufgepresst wurde. Um das Kugellager mittig in die Walzenaufnahme zu stecken wurde eine Schraube mit einer Platte an das Kugellager befestigt. Somit kann das Kugellager nur bis in die Mitte der Walzenaufnahme eingeführt werden. An dem anderen Ende der Platte ist eine Schlaufe befestigt, die mittig unter dem Kugellager hängt, damit das Gewicht, welches mit Hilfe eines Eimers an der Schlaufe hängt, mittig ist. Dies ist wichtig, da sonst unerwünschte mechanische Momente in der Messung sichtbar werden, dies wurde durch vorbereitende Messungen festgestellt.



Abbildung 4.1: Aufhängung zur Krafteinleitung

4.2 Gewinkelte Auflage

Die gewinkelte Auflage dient dazu, mit Hilfe von Gewichten eine Kraft auf den Steg in eine bestimmte Richtung einzuleiten, somit erhält die Kraft eine X- und Y-Komponente, was das aufteilen der Kräfte während einer Messung ermöglicht. Es wurde sich für einen Winkel von 5° entschieden, da dies die typische Krafteinwirkung während des Walzbetriebs darstellt. Die gewinkelte Auflage wurde mit Hilfe des 3D-Druckers gefertigt. Da die Walzenhalterung mit Hilfe einer Schraubzwinde befestigt wird, wird auf der Oberseite der selbe Winkel verwendet um diese auszugleichen.

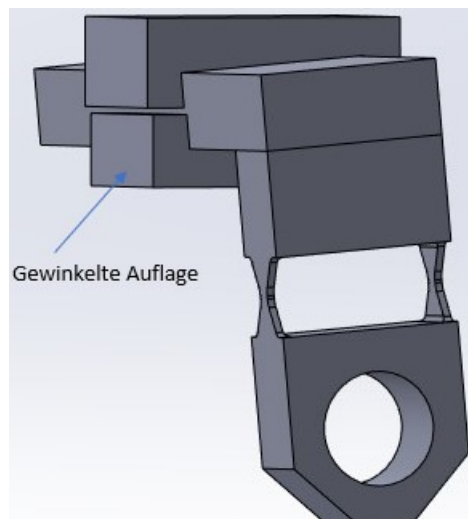


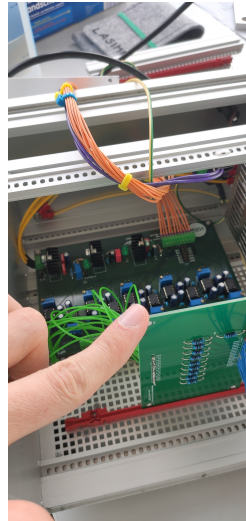
Abbildung 4.2: Auflage um einen 5° Winkel zu ermöglichen

4.3 Verschaltung der Viertelbrücken

Für den Versuchsaufbau werden die einzelnen DMS mit dem PCB der acht Viertelbrücken verbunden. Dabei werden die Enden des DMS in die Position DMS+ und DMS- der Viertelbrücke angeschlossen. Der V+ Pol der Viertelbrückenschaltung (siehe Abbildung 3.8) wird an einen 2,5V Spannungsausgang der Verstärkerschaltung (siehe Abbildung 3.9) angeschlossen, der GND Pol der Viertelbrückenschaltung wird ebenfalls mit dem GND der Verstärkerschaltung verbunden. Anschließend werden die jeweiligen Differenzspannungsabgriffe mit den Inputs der Verstärkerschaltung verschaltet und jeweils der Verstärkungsfaktor eingestellt. Die Outputs der Verstärkerschaltung werden dann mit der NI USB-6009 Messkarte verbunden.

4.4 Aufbau Messung

Um die DMS zu vermessen wird jeweils eine Walzenhalterung an die Halterung aus dem Duowalzgerüst geschraubt. Diese Halterung wird dann mit Hilfe der gewinkelten Auflage (siehe Abbildung 4.2), an einen Tisch befestigt, dass die Walzenhalterung in einem 5° Winkel zum Boden ausgerichtet ist. Dabei wird darauf geachtet, dass die Kraft jeweils in Richtung der DMS-Position X.1.X zeigt, da die Berechnung für das Matlab-Programm für diese Richtung vorgesehen ist. Dies hat den Vorteil, dass Biegung und Dehnung gleichzeitig gemessen werden kann. Darüber hinaus ist dies der typische Krafteinfluss auf die Walzenhalterungen während des Walzbetriebs. Um das Gewicht mittig auf die Walzenhalterung anzubringen, wurde die Aufhängung zur Krafteinleitung (siehe Abschnitt 4.1) in das Loch für die Walze gesteckt, damit daran mit Hilfe eines Hakens ein Eimer angehängt werden kann. In diesen Eimer werden anschließend Gewichte gelegt, um einen Spannungsverlauf zu erkennen, damit der Spannungsverlauf an die Simulation angepasst werden kann. Die einzelnen DMS wurden dann jeweils mit einer Viertelbrücke verbunden und deren Differenzspannung (U_d) wurde mit Hilfe der INA-Verstärkerschaltung um den Faktor 1000 verstärkt. Die daraus resultierende Differenzspannung (U_d) wurden dann mit Hilfe der National Instruments USB-6009 Messkarte in Matlab ausgelesen und in Voll- bzw. Zweiviertelbrücken verrechnet.



(a)



(b)

Abbildung 4.3: (a):Viertelbrücken und Verstärkerkarte, (b):Messaufbau mit Walzenhalter

Kapitel 5

Versuchsdurchführung

In diesem Kapitel werden die kalibrierten Walzenhalter mit einer zweikomponentiger Kraft belastet und die Berechnungen überprüft.

5.1 Ablauf der Messungen

Bevor die Messung startet wird vorher die Messdauer (T) in Sekunden, sowie die Abtastrate (Hz) für die Messung eingestellt. Dabei wurde sich für eine Messdauer von 10 Minuten entschieden und somit eine Messzeit von 2,5 Minuten pro Gewicht. Die Messdauer von 10 Minuten wurde ausgewählt, da so die Schwingung des Eimers je Masse gering ist und eine längere Zeit kein deutlich besseres Ergebnis liefert. Die Abtastrate wurde auf 100 Hz eingestellt, da eine höhere Abtastrate ähnliche Messergebnisse geliefert hat, jedoch die Berechnungszeit der Daten um ein vielfaches erhöht hat. Eine zu kleine Abtastrate wiederum liefert zu wenig Werte. Als Gewichte wurde zur Messung jeweils 0g, 4822g, 9458g und 12708g gewählt und anschließend die Steigung berechnet. Während der Messung wurden dann die Gewichte in der oben stehenden Reihenfolge in den Eimer gelegt, zwischen jedem Gewicht wurde dann ca. 2,5 Minuten Zeit gelassen, damit die Messkarte Werte für das jeweilige Gewicht aufzeichnen kann.

Kapitel 6

Messung

In diesem Kapitel wird erläutert, wie sich die Messung an die Simulation anpassen ließ und wie sich die Vollbrücken und Zweiviertelbrücken verhalten. Dabei wird nur auf die zweite Walzenhalterung eingegangen, da dies sonst zu unfänglich wird. Im Anhang sind die Daten der anderen Walzenhaltern zu finden.

6.1 Anpassung an die Simulation

Auf Grund der manuellen Applikation der DMS gibt es Unterschiede bei den Spannungsverläufen der einzelnen DMS, aus diesem Grund werden diese DMS mit Hilfe eines Faktors an die Simulation angepasst (siehe Unterabschnitt 3.5.4). Da in einem 5° Winkel gemessen wird, hat jede Stegseite der Walzenhalterung unterschiedliche Spannungswerte, somit lassen sich nur die DMS auf einer Stegseite miteinander vergleichen. Dabei sollten die DMS auf der selben Stegseite idealerweise die gleichen Werte liefern.

Bei diesen DMS ist der Unterschied zwischen der mittleren Spannung ohne Offset und der mittleren Spannung mit Faktor deutlich zu sehen, insbesondere bei dem zweiten DMS wird es deutlich. Die faktorisierten Spannung der beiden DMS unterscheidet sich dabei zueinander um ca. 2%. Und haben einen Faktor von 0,8359 für DMS 2.1.1 und einen von 0,687 für DMS 2.1.2 .

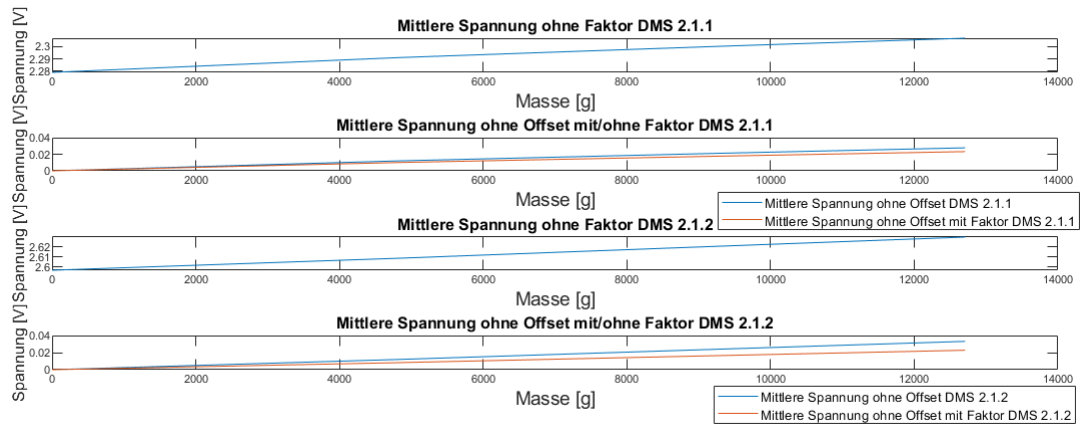


Abbildung 6.1: Faktorisierung der DMS 2.1.1 und 2.1.2

Bei dem DMS-Paar 2.1.3 und 2.1.4 ist zu erkennen, dass ebenfalls die Werte unterschiedlich ansteigen, jedoch durch die Faktorisierung sind die unterschiede der Spannung sehr gering, da die Dehnung der DMS schon sehr ähnlich ist. Bei dem DMS 2.1.3 liegt der Faktor bei 1,0619 und beim DMS 2.1.4 bei 0,9046 .

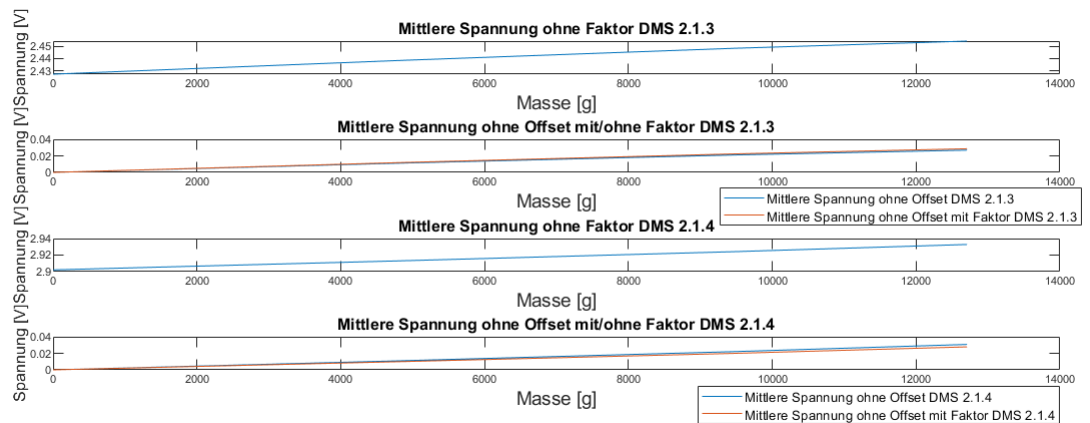


Abbildung 6.2: Faktorisierung der DMS 2.1.3 und 2.1.4

Bei der Betrachtung von DMS-Paar 2.2.1 und 2.2.2, wird deutlich dass die Faktorisierung dieses Mal ebenfalls zu einem gewissen Grad funktioniert. Jedoch verhält sich die Dehnung der DMS ähnlich zu der, der Simulation und somit ist die Dehnung geringer. Hier liegt der Faktor bei 1,0792 (DMS 2.2.1) und 1,1267 (DMS 2.2.2).

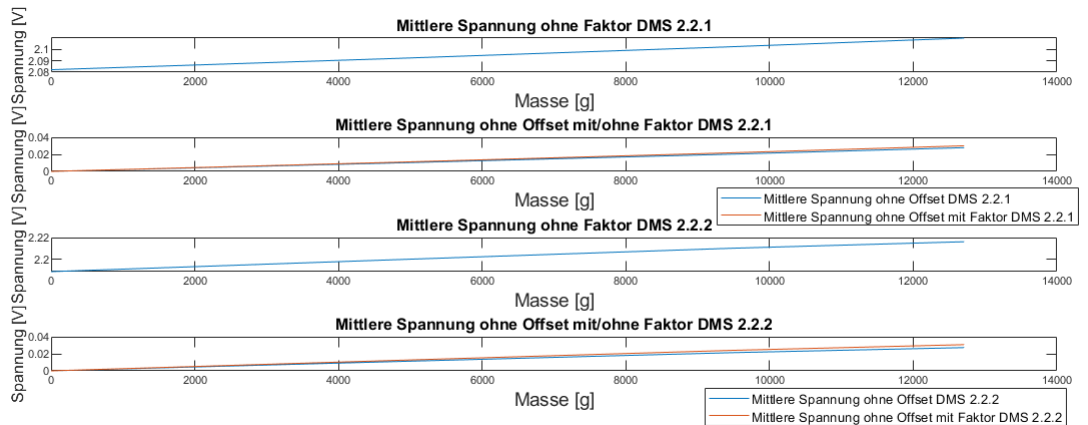


Abbildung 6.3: Faktorisierung der DMS 2.2.1 und 2.2.2

Bei dem DMS-Paar 2.2.3 und 2.2.4 ist ebenfalls zu sehen, dass die Faktorisierung funktioniert. Außerdem wird deutlich, dass die Spannung auf der Seite gegenüber der Kraftrichtung stark angestiegen ist, dies wird ebenfalls in Abbildung 6.3 deutlich. Die Faktoren hier sind 0,8639 (DMS 2.2.3) und 0,8645 (DMS 2.2.4).

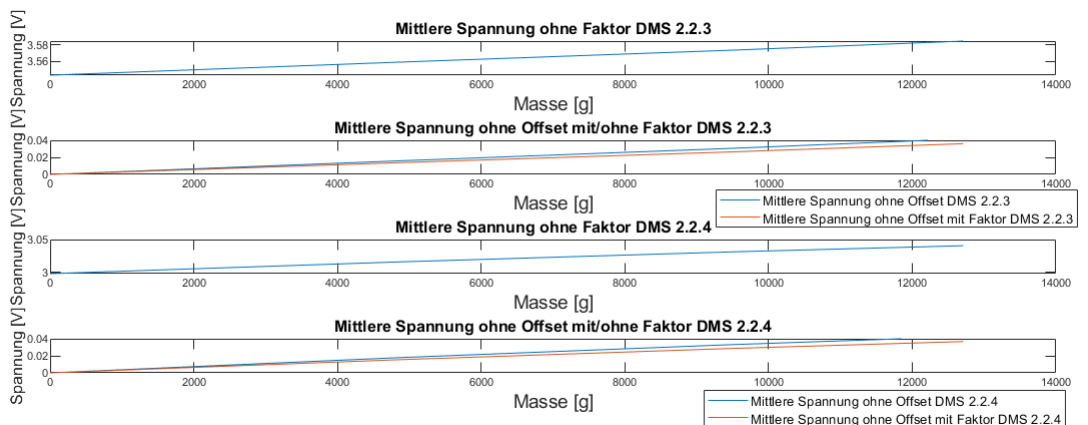


Abbildung 6.4: Faktorisierung der DMS 2.2.3 und 2.2.4

Durch das Multiplizieren des Faktor ist zu sehen, welche DMS mittiger positioniert sind und welche DMS einen größeren Abstand haben, durch den Grad der Veränderung durch den Faktor. Außerdem wird deutlich, dass durch das Subtrahieren des Offsets (siehe Gleichung 3.2) nicht nur das eigene Offset vom DMS abgezogen wurde, sondern auch zum großen Teil das Offset, welches durch die Verstärkerschaltung und der Brückenschaltung entsteht. Da ansonsten die DMS-Paare die gleichen Werte liefern müssten. Somit ist ein gewisser Anteil des Offsets noch vorhanden.

6.2 Vollbrücke

Als nächstes wird die Vollbrücke des 1.Stegs des 2. Walzenhalters betrachtet, diese besteht aus den DMS 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 und 2.1.4 und ist ebenfalls der Steg in Richtung der Kraft (siehe Abbildung 4.2). Hierbei fällt auf, dass die Spannung einen negativ ansteigenden Spannungsverlauf hat, dies hat nur etwas mit der Messrichtung, bzw. Anschlussrichtung der DMS zu tun. Die Steigung der Vollbrücke ist dabei nahe zu linear, wie es von den DMS erwünscht ist.

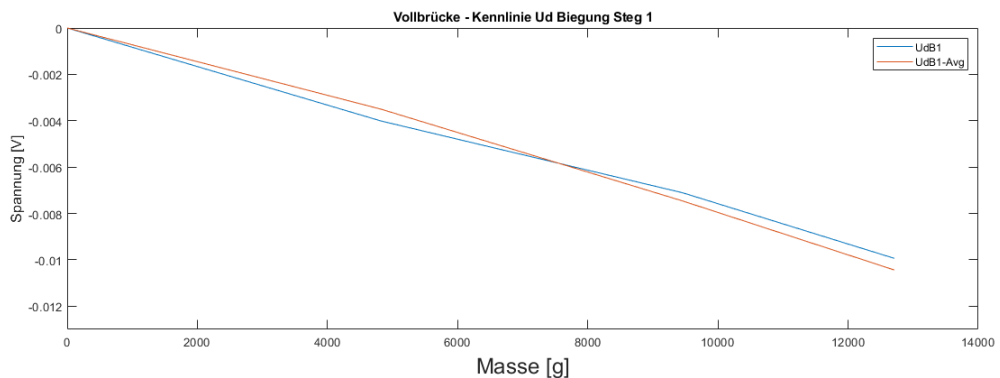


Abbildung 6.5: Vollbrücke des Stegs 1 Walzenhalter 2

Bei dem Steg 2, der aus DMS 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 und 2.2.4 besteht ist die Linearität nicht so stark zu erkennen, wie bei Steg 1. Dies kann mit Messungenauigkeiten und dem manuellen Applizieren zu tun haben. Beim Betrachten der von $U_{d_{Avg}}$ der Vollbrücke ist ein ähnlicher Verlauf wie bei Steg 1 zu erkennen. Da jedoch der Kräfteinfluss in einem Winkel auftritt, sind die Dehnungen die Auftreten ebenfalls unterschiedlich, dies ist jedoch nur geringfügig zu erkennen auf Grund der geringen Massen.

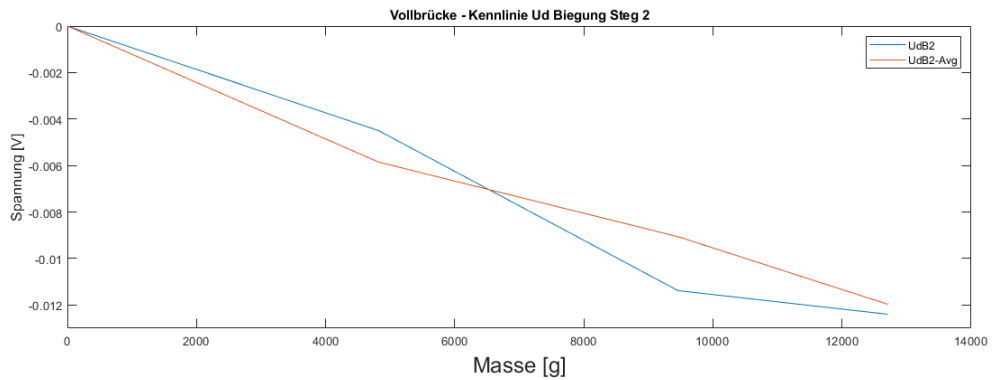


Abbildung 6.6: Vollbrücke des Stegs 2 Walzenhalter 2

6.3 Zweiviertelbrücke

Bei den Zweiviertelbrücken des zweiten Walzenhalters ist zu erkennen, dass beide Brücken keinen idealen linearen Verlauf haben, jedoch U_{dAvg} stellt einen nahezu linearen Verlauf da. Zusätzlich ist zu erkennen, dass beide Stege eine unterschiedliche Steigung aufweisen, dies hat mit dem ungleichmäßigen Kraftverlauf zu tun, weil die Stege ungleichmäßig belastet werden.

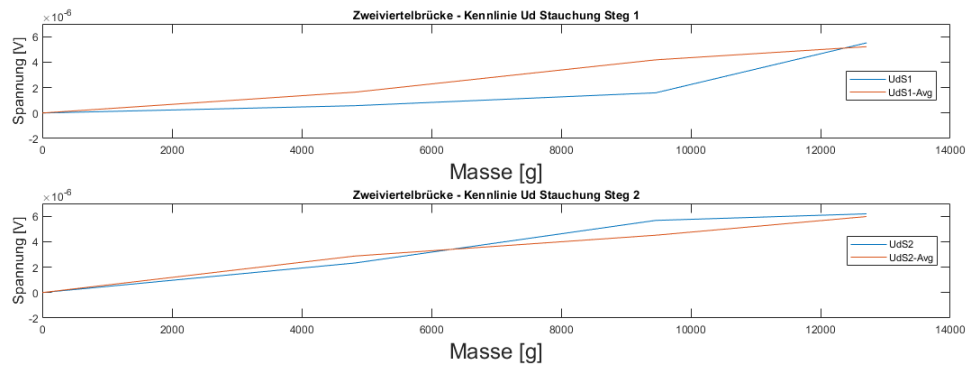


Abbildung 6.7: Zweiviertelbrücken des Stegs 2 Walzenhalter 2

Kapitel 7

Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Messdaten mit den simulierten Daten aus der FEM verglichen. Hierbei wird ausschließlich auf die Vollbrücken und Zweiviertelbrücken eingegangen, da dadurch die Messergebnisse dargestellt werden. Zum besseren Vergleich werden diese in Tabellen dargestellt.

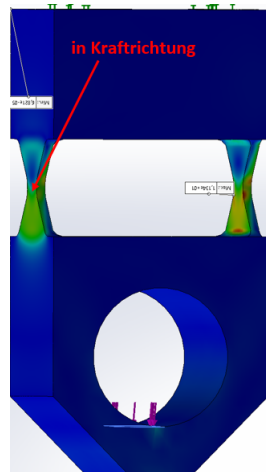


Abbildung 7.1: Simulation des Walzenhalters in FEM

7.1 Vergleich - Vollbrücken

Bei den Werten der Simulation ist zu erkennen, dass sich wie auch schon bei den Messungen die Stege zueinander unterscheiden auf Grund des 5° Winkels.

Vollbrücke Masse [g]	Steg1 Ud [V]	Steg2 Ud [V]
4822	-0,004012438	-0,004496457
9458	-0,007871904	-0,008814413
12708	-0,010572188	-0,011858536

Abbildung 7.2: Simulierte Vollbrücken

7.1.1 Vollbrücken Walzenhalter 1

Zunächst wird der erste Walzenhalter mit der Simulation verglichen. Dabei fällt auf, dass die Werte für das Gewicht 9458g stark von der Simulation abweichen. Dies hat hauptsächlich mit Messungenauigkeit zu tun, dies erkennt man daran, dass die Werte für 4822g und 12708g wieder näher an der Simulation liegen. Dadurch wird deutlich, dass beim Messen auf die Schwingung zu achten ist.

Vollbrücken Masse [g]	Steg 1 UdB1 [V]	UdB1 Differenz [%]	Steg 1 UdB1_Avg [V]	UdB1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdB2 [V]	UdB2 Differenz [%]	Steg2 UdB2_Avg [V]	UdB2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	-0,004011036	0,034938117	-0,004090739	-1,95145975	-0,004501337	-0,10853381	-0,004679384	-4,068260845
9458	-0,008675613	-10,20984877	-0,006852718	12,9471373	-0,011430802	-29,68308329	-0,006280848	28,74343713
12708	-0,006119347	42,11844413	-0,010269584	2,862267296	-0,002747226	76,83334799	-0,011105912	6,346679356

Abbildung 7.3: Vollbrücke vom Walzenhalter 1 Messung 2

7.1.2 Vollbrücken Walzenhalter 2

Nun wird die 2. Walzenhalterung mit der Simulation verglichen, dabei fällt auf dass die Werte der Messung nahe zu identisch sind im Vergleich zur Simulation. Es fällt auch auf, dass die Abweichung der Messwerte, mit Zunahme der Masse, sinkt.

Vollbrücken Masse [g]	Steg 1 UdB1 [V]	UdB1 Differenz [%]	Steg 1 UdB1_Avg [V]	UdB1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdB2 [V]	UdB2 Differenz [%]	Steg2 UdB2_Avg [V]	UdB2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	-0,004011036	0,034938117	-0,003501915	12,72352127	-0,004501337	-0,10853381	-0,005854585	-30,20440102
9458	-0,007108748	9,694684866	-0,007462137	5,205436792	-0,011381765	-29,12674935	-0,009061428	-2,802401664
12708	-0,009934992	6,027097911	-0,010435856	1,289534363	-0,012397982	-4,549014647	-0,011968986	-0,931403069

Abbildung 7.4: Vollbrücke vom Walzenhalter 2 Messung 2

7.1.3 Vollbrücken Walzenhalter 3

Bei der dritten Walzenhalterung zeichnet sich das Muster von der 2. Walzenhalterung wieder ab. Bei Zunahme des Gewichts ist die Abweichung zu der Simulation geringer. Jedoch fällt auf, wenn man Messung 3 und Messung 6 vergleicht, dass es zu starken Schwankungen der Messwerte kommen kann. Dies hat hauptsächlich mit Messungenauigkeit zu tun, da am Aufbau nichts verändert wurde. Dabei hat das Schwingen der Masse und die dadurch resultierende Mittelwertbildung den größten Einfluss.

Vollbrücken Masse [g]	Steg 1 UdB1 [V]	UdB1 Differenz [%]	Steg 1 UdB1_Avg [V]	UdB1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdB2 [V]	UdB2 Differenz [%]	Steg2 UdB2_Avg [V]	UdB2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	-0,004011036	0,034938117	-0,002548538	36,48404055	-0,004501337	-0,10853381	-0,004405638	2,019790264
9458	-0,005173515	34,27873469	-0,007550283	4,085676748	-0,007719484	12,42203022	-0,009701981	-10,06951529
12708	-0,009339281	11,66179646	-0,010436428	1,284121579	-0,014948382	-26,05588168	-0,012121308	-2,215891934

Abbildung 7.5: Vollbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 3

Vollbrücken Masse [g]	Steg 1 UdB1 [V]	UdB1 Differenz [%]	Steg 1 UdB1_Avg [V]	UdB1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdB2 [V]	UdB2 Differenz [%]	Steg2 UdB2_Avg [V]	UdB2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	-0,004011036	0,034938117	-0,004343337	-8,246822286	-0,004501337	-0,10853381	-0,004950908	-10,1068828
9458	-0,008377748	-6,425941475	-0,008051873	-2,286220699	-0,008881447	-0,760510179	-0,009656805	-9,556983984
12708	-0,010642112	-0,661393577	-0,010634919	-0,593361351	-0,014648242	-23,52488317	-0,012122546	-2,226336303

Abbildung 7.6: Vollbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 6

7.1.4 Vollbrücken Walzenhalter 4

Bei Walzenhalter 4 ist gut zu erkennen, wie gut die Faktorisierung funktionieren kann. Es ist zu erkennen, dass die gemessene Walzenhalterung sich sehr deutlich an die simulierten Werte annähert.

Vollbrücken Masse [g]	Steg 1 UdB1 [V]	UdB1 Differenz [%]	Steg 1 UdB1_Avg [V]	UdB1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdB2 [V]	UdB2 Differenz [%]	Steg2 UdB2_Avg [V]	UdB2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	-0,004011036	0,034938117	-0,005031974	-25,40938827	-0,004501337	-0,10853381	-0,004554014	-1,280046937
9458	-0,009593191	-21,86620696	-0,008121356	-3,168892304	-0,008888807	-0,844002428	-0,008866377	-0,589536817
12708	-0,011176345	-5,714590142	-0,010674314	-0,965985678	-0,011691915	1,405070788	-0,011875504	-0,143090375

Abbildung 7.7: Vollbrücke vom Walzenhalter 4 Messung 1

7.2 Vergleich - Zweiviertelbrücken

In diesem Kapitel werden die gemessenen Zweiviertelbrücken mit den simulierten Zweiviertelbrücken verglichen. Als erstes ist zu erkennen, dass sich die Stege wieder unterschiedlich verhalten, dies hat wiederum mit der Krafrichtung im 5° Winkel zu tun. Da sich so beide Stege unterschiedlich Längen.

Zweiviertelbrücke	Steg1	Steg2
Masse [g]	Ud [V]	Ud [V]
4822	2,00625E-06	2,24828E-06
9458	3,93607E-06	4,40739E-06
12708	5,2863E-06	5,9296E-06

Abbildung 7.8: Simulierte Zweiviertelbrücke

7.2.1 Zweiviertelbrücke Walzenhalter 1

Es wird deutlich, dass die Werte bei UdS1 und UdS2 (Werte der Zweiviertelbrücken) deutlich neben der Simulation liegen, auf Grund der totalen Werte. Bei UdS1_{Avg} und UdS2_{Avg} wurden gemittelte Werte genommen, dadurch liegen diese Werte näher an der Simulation. Wie bei den Vollbrücken ist zu erkennen, dass die Genauigkeit zu der Simulation zunimmt bei höheren Gewicht, da die Walzenhalter für viel größere Kräfte ausgelegt sind.

Zweiviertelbrücken	Steg 1	UdS1	Steg 1	UdS1_Avg	Steg 2	UdS2	Steg2	UdS2_Avg
Masse [g]	UdS1 [V]	Differenz [%]	UdS1_Avg [V]	Differenz [%]	UdS2 [V]	Differenz [%]	UdS2_Avg [V]	Differenz [%]
0	-1,36412E-06	0	-2,19141E-07	0	1,38058E-06	0	-1,29178E-07	0
4822	6,36831E-07	68,25763171	2,92249E-06	-45,66924854	3,62736E-06	-61,339498	1,68123E-06	25,22128868
9458	4,32955E-06	-9,99684361	3,83478E-06	2,573177703	5,7016E-06	-29,36459244	3,48454E-06	20,93868151
12708	4,17687E-06	20,98678524	5,12425E-06	3,065483578	3,29266E-06	44,4708157	5,54064E-06	6,559546848

Abbildung 7.9: Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 1 Messung 2

7.2.2 Zweiviertelbrücke Walzenhalter 2

Bei dem Walzenhalter 2 ist ein ähnliches Verhalten, wie bei dem Walzenhalter 1 zu sehen, jedoch ist die Abweichung zur Simulation bei höherem Gewicht geringer als bei Walzenhalter 1.

Zweiviertelbrücken	Steg 1	UdS1	Steg 1	UdS1_Avg	Steg 2	UdS2	Steg2	UdS2_Avg
Masse [g]	UdS1 [V]	Differenz [%]	UdS1_Avg [V]	Differenz [%]	UdS2 [V]	Differenz [%]	UdS2_Avg [V]	Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	5,74603E-07	71,3593535	1,63834E-06	18,33822369	2,32374E-06	-15,825179	2,87132E-06	-27,71226102
9458	1,58565E-06	59,71478468	4,17562E-06	-6,086212013	5,66901E-06	-44,02730583	4,50432E-06	-2,19920306
12708	5,50804E-06	-4,194710496	5,20704E-06	1,499230489	6,18366E-06	-16,97515308	5,9702E-06	-0,684772893

Abbildung 7.10: Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 2 Messung 2

7.2.3 Zweiviertelbrücke Walzenhalter 3

Das Verhalten des dritten Walzenhalters ist ähnlich zum ersten Walzenhalter. Der Ausreißer bei 9458g ist auf Messungenauigkeit zurückzuführen, da der restliche Verlauf der Spannungen gleichmäßig ist im Vergleich zu der Simulation.

Zweiviertelbrücken Masse [g]	Steg 1 UdS1 [V]	UdS1 Differenz [%]	Steg 1 UdS1_Avg [V]	UdS1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdS2 [V]	UdS2 Differenz [%]	Steg2 UdS2_Avg [V]	UdS2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	3,13195E-06	-56,1099245	2,10457E-06	-4,900542676	2,33254E-06	-3,748135074	2,50184E-06	-11,27801761
9458	5,34511E-06	-35,79833628	3,75743E-06	4,538313481	4,58491E-06	-4,027798115	4,8186E-06	-9,330079047
12708	5,27319E-06	0,247984932	5,30617E-06	-0,375868934	7,30272E-06	-23,15715634	6,04661E-06	-1,973418078

Abbildung 7.11: Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 3 Messung 6

7.2.4 Zweiviertelbrücke Walzenhalter 4

Der vierte Walzenhalter hat ein ähnliches Verhalten, wie der erste Walzenhalter. Je höher die Masse, desto genauer ist die Messung im Vergleich zu der Simulation. Die anfänglichen Ausreißer des Steg1 sind ebenfalls eine Messungenauigkeit, durch Schwingen der Masse.

Zweiviertelbrücken Masse [g]	Steg 1 UdS1 [V]	UdS1 Differenz [%]	Steg 1 UdS1_Avg [V]	UdS1_Avg Differenz [%]	Steg 2 UdS2 [V]	UdS2 Differenz [%]	Steg2 UdS2_Avg [V]	UdS2_Avg Differenz [%]
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4822	9,9375E-07	50,46723913	2,69268E-06	-34,21445704	1,72329E-06	23,35064377	2,52635E-06	-12,36847835
9458	4,09725E-06	-4,095149583	4,2709E-06	-8,506826703	4,34882E-06	1,328934187	4,5218E-06	-2,595848551
12708	5,5753E-06	-5,467055734	5,32578E-06	-0,746918399	5,83221E-06	1,642393691	5,92368E-06	0,099769426

Abbildung 7.12: Zweiviertelbrücke vom Walzenhalter 4 Messung 1

7.3 Auswertung

Es ist möglich die Brückenschaltungen mit Hilfe einer Faktorisierung an die Simulation anzupassen. Jedoch gilt es die Störeinflüsse gering zu halten, wie Schwingung und nicht mittige Positionierung der Masse, da dadurch die Messergebnisse deutlich verfälscht werden auf Grund des großen Verstärkungsfaktors von 1000. Es ist zu sagen, dass der Faktor wie bei $U_{d,Avg}$ gewählt werden sollte, da dieser deutlich bessere Werte liefert. Zusätzlich liefern gut applizierte DMS einen genaueren Verlauf. Außerdem konnte nicht das genaue Spannungsoffset der DMS abgezogen werden, sondern nur das angenommene Offset durch abziehen des ersten Messwertes, dadurch hat der Spannungsverlauf nicht die Sollwerte der Simulation erreicht. Dies führt ebenfalls zu Ungenauigkeiten.

Kapitel 8

Fazit und Ausblick

Es ist möglich mit Hilfe von Faktorisierung der einzelnen DMS die Spannungen an die Simulation anzupassen, jedoch ist mit gewissen Abweichungen zu rechnen. Jedoch sollte als Faktor bei den Walzversuchen jeweils der Faktor für die gemittelten Werte ($U_{d_{Avg}}$) genommen werden, da dieser in den Messungen bessere Ergebnisse liefert. Es gilt jedoch, dass besser applizierte DMS eine bessere Genauigkeit liefern. Zusätzlich sollte die Verstärkung im Walzbetrieb verringert werden, da so die Störeinflüsse verringert werden. Ohne ein manuelles kompensieren des Spannungsoffsets an der Verstärkerschaltung ist es schwierig das richtige Offset jeden einzelnen DMS zu finden, da dies nur vom gemittelten Daten abgezogen wird, wodurch ebenfalls Messungenauigkeiten auftreten.

Für erneute Messungen ist es ratsam, dass Spannungsoffset manuell an der Verstärkerschaltung zu kompensieren, damit die Genauigkeit der Messung erhöht wird. Zusätzlich sollten größere Massen verwendet werden, damit die Verstärkung verringert werden kann, da so auch Störeinflüsse weniger stark ins Gewicht fallen. Bei Messungen am Walzgerüst ist zusätzlich darauf zu achten eine neue Messkarte zu verwenden die 32 Analoge Inputs bietet, da so alle Walzenhalterungen gleichzeitig gemessen werden können.

Literatur

- [1] Philipp Parker. „Modifizierung einer 3-Walzen-Biegemaschine zu einem Duogerüst mit dem Ziel der Untersuchung des Walzspaltverhaltens beim Drahtwalzen sowie Teilsimulation des Versuchsaufbaus“. Diss. HRW, 9.2018.
- [2] Martin Vömel und Dieter Zastrow. *Aufgabensammlung Elektrotechnik 1: Gleichstrom und elektrisches Feld. 2.*, verbesserte Auflage. Viewegs Fachbücher der Technik. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2001. ISBN: 978-3-322-91535-1. DOI: 10.1007/978-3-322-91535-1.
- [3] HBM. *Die Wheatstonesche Brückenschaltung - kurz erklärt.* 2020. URL: <https://www.hbm.com/de/7163/die-wheatstonesche-brueckenschaltung-kurz-erklaert/>.
- [4] *Brückenschaltung mit DMS.* 8.02.2022. URL: <https://www.me-systeme.de/de/technik-zuerst/dehnungsmessstreifen/dms-brueckenschaltung>.
- [5] *Relais.* 10.01.2022. URL: <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0207211.htm>.
- [6] *USB-6009 Specifications - NI.* 9.06.2022. URL: <https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/usb-6009-specs/page/specs.html>.
- [7] *Wechselschalter :: single pole double throw (SPDT) :: ITWissen.info.* 13.01.2022. URL: <https://www.itwissen.info/Wechselschalter-single-pole-double-throw-SPDT.html>.

Anhang

Im Anhang sind die einzelnen DMS dargestellt mit ihrerer Faktorisierung, zusätzlich wird der jeweilige Faktor für den DMS angegeben. Weitere Dateien sind die Matlab-Dateien, Excel-Tabellen.

DMS 1.1.1 hat dabei einen Faktor von 1,2518 und DMS 1.1.2 einen Faktor von 1,0539 .

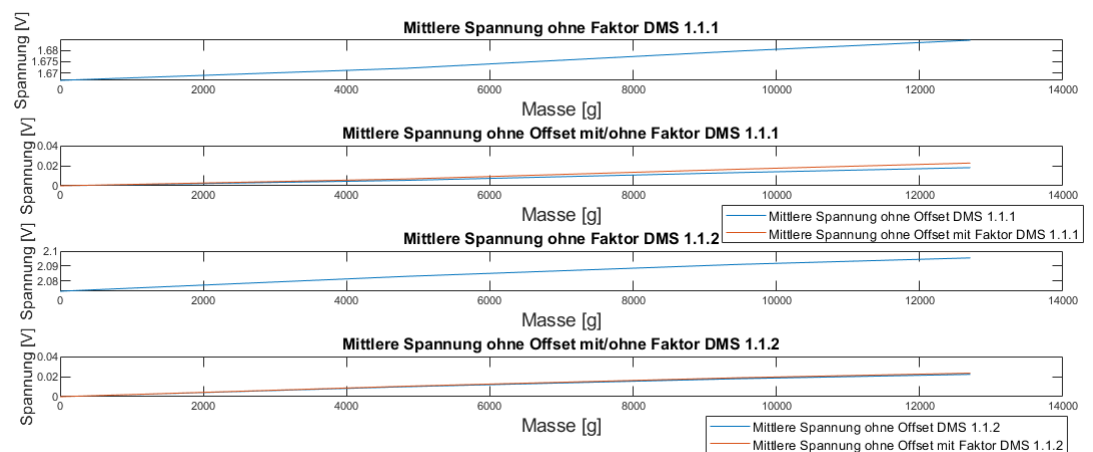


Abbildung 8.1: DMS 1.1.1 und DMS 1.1.2

DMS 1.1.3 hat dabei einen Faktor von 0,8065 und DMS 1.1.4 einen Faktor von 0,7713 .

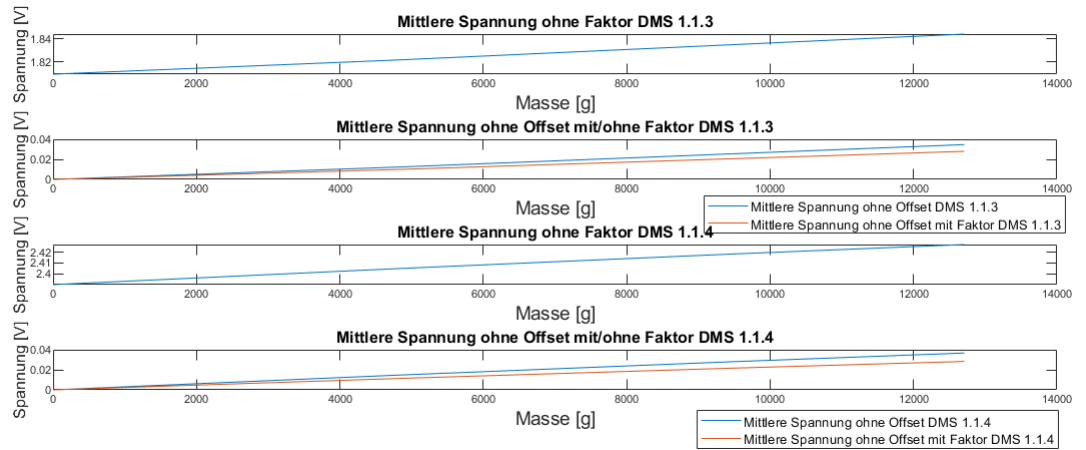


Abbildung 8.2: DMS 1.1.1 und DMS 1.1.4

DMS 1.2.1 hat dabei einen Faktor von 1,1435 und DMS 1.2.2 einen Faktor von 1,2316 .

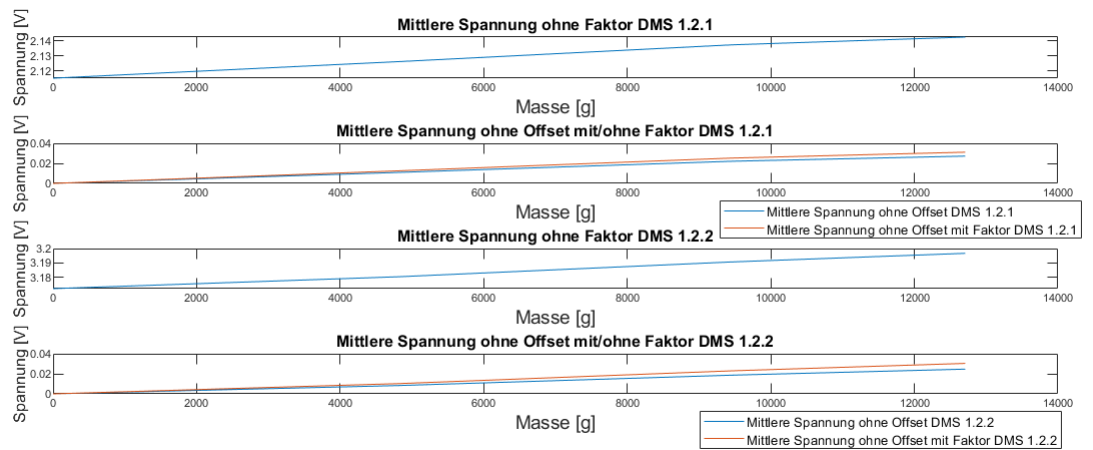


Abbildung 8.3: DMS 1.2.1 und DMS 1.2.2

DMS 1.2.3 hat dabei einen Faktor von 0,8933 und DMS 1.2.4 einen Faktor von 0,7650 .

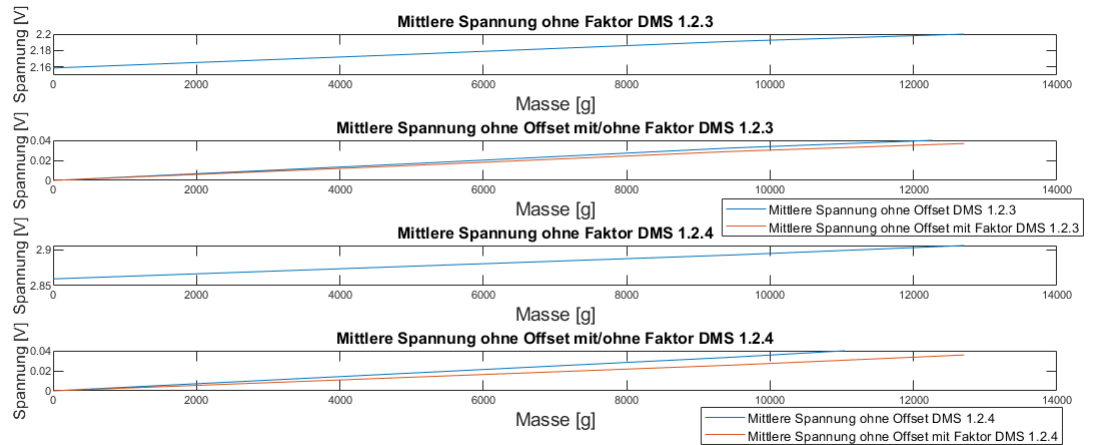


Abbildung 8.4: DMS 1.2.3 und DMS 1.2.4

DMS 3.1.1 hat dabei einen Faktor von 1,7129 und DMS 3.1.2 einen Faktor von 1,1587 .

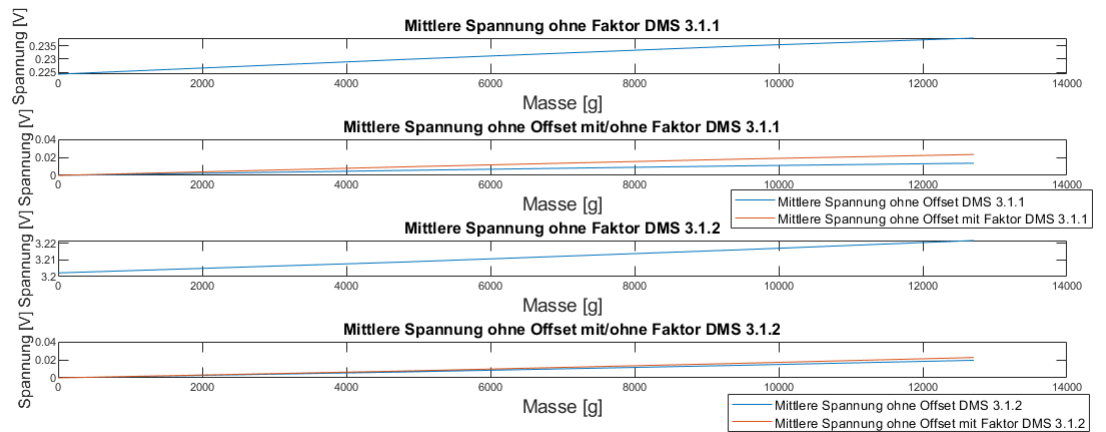


Abbildung 8.5: DMS 3.1.1 und DMS 3.1.2

DMS 3.1.3 hat dabei einen Faktor von 0,9082 und DMS 3.1.4 einen Faktor von 0,8089 .

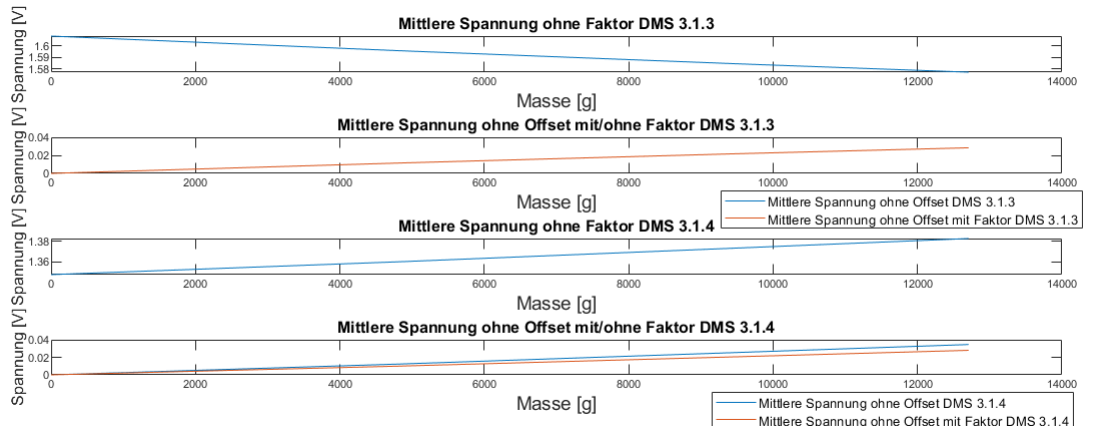


Abbildung 8.6: DMS 3.1.1 und DMS 3.1.4

DMS 3.2.1 hat dabei einen Faktor von 0,9147 und DMS 3.2.2 einen Faktor von 1,0667 .

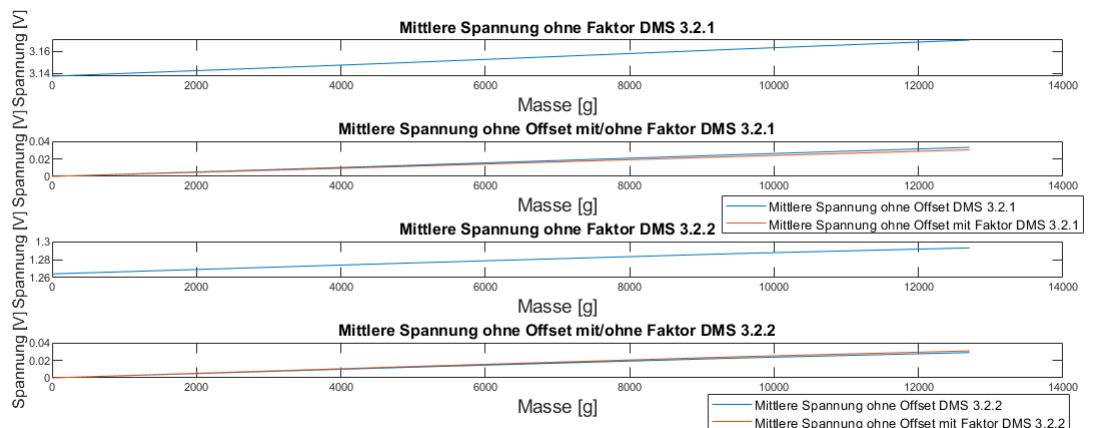


Abbildung 8.7: DMS 3.2.1 und DMS 3.2.2

DMS 3.2.3 hat dabei einen Faktor von 0,7458 und DMS 3.2.4 einen Faktor von 0,8360 .

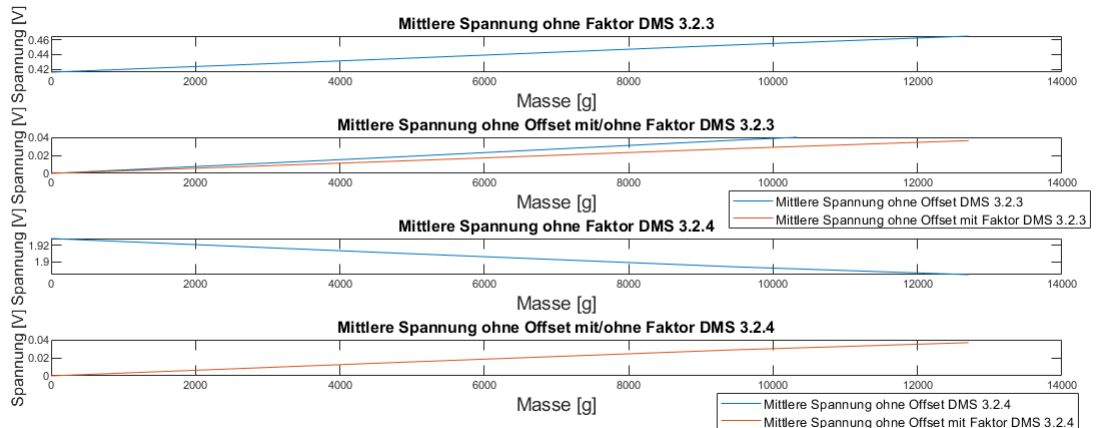


Abbildung 8.8: DMS 3.2.3 und DMS 3.2.4

DMS 4.1.1 hat dabei einen Faktor von 1,3545 und DMS 4.1.2 einen Faktor von 0,8001 .

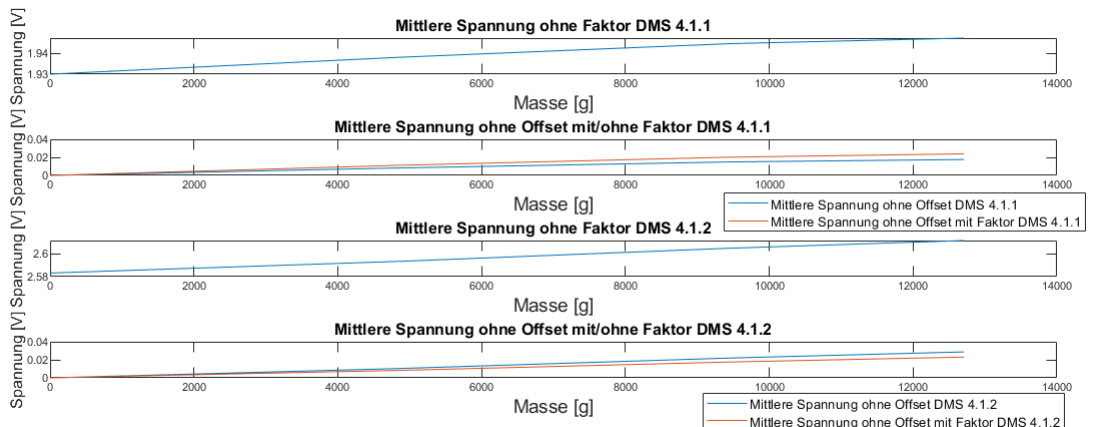


Abbildung 8.9: DMS 4.1.1 und DMS 4.1.2

DMS 4.1.3 hat dabei einen Faktor von 1,9202 und DMS 4.1.4 einen Faktor von 1,0482 .

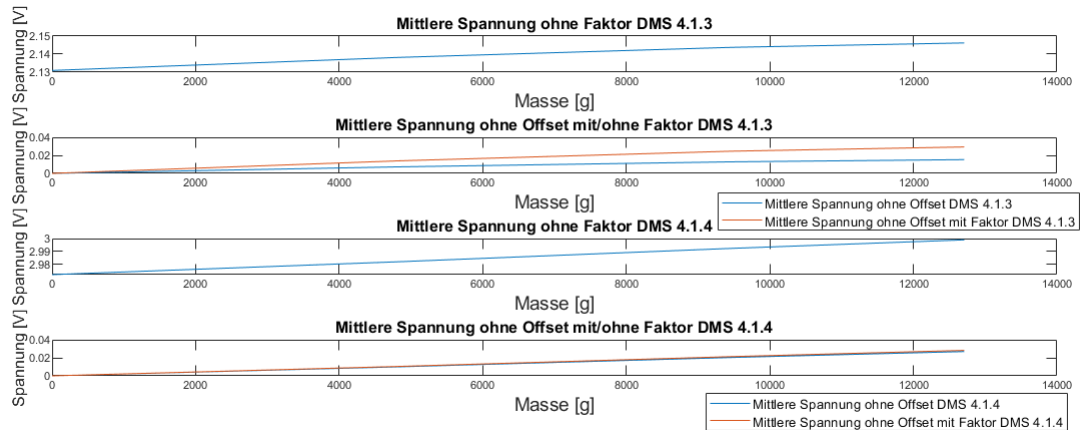


Abbildung 8.10: DMS 4.1.1 und DMS 4.1.4

DMS 4.2.1 hat dabei einen Faktor von 0,7313 und DMS 4.2.2 einen Faktor von 1,1011 .

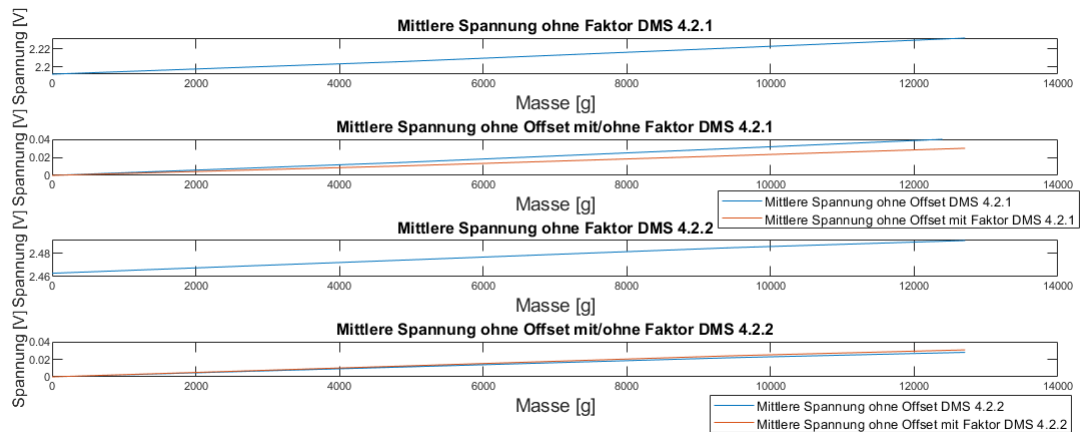


Abbildung 8.11: DMS 4.2.1 und DMS 4.2.2

DMS 4.2.3 hat dabei einen Faktor von 0,6135 und DMS 4.2.4 einen Faktor von 0,7812 .

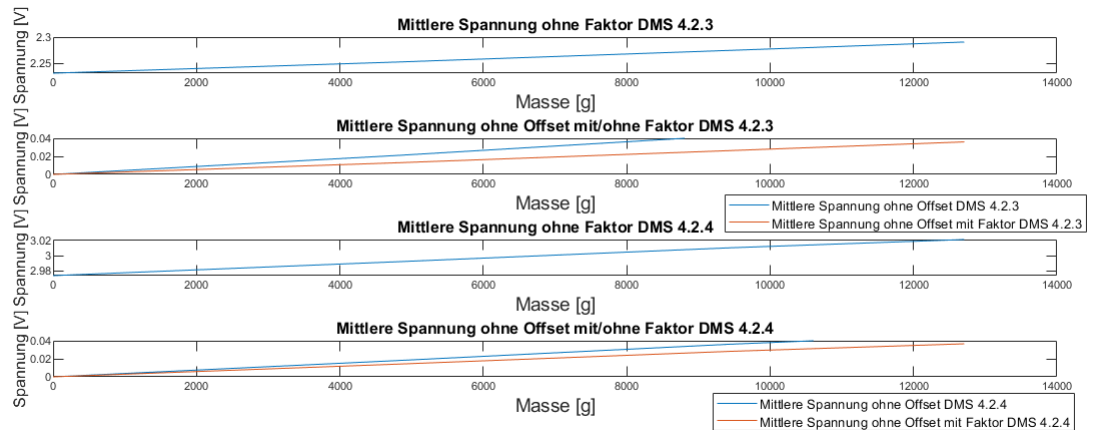


Abbildung 8.12: DMS 4.2.3 und DMS 4.2.4