

# ETP1 Lab 3 Report

Jan-Malte Lübcke, Christopher Klix, Jannik Erdmann, Raphael Weinhart

December 17, 2022

# Contents

<b>I</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>V</b>
<b>II</b>	<b>Allgemeine Berechnungsgrundlagen</b>	<b>VII</b>
	Konzepte . . . . .	VIII
	Formeln . . . . .	VIII
<b>III</b>	<b>Versuche</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Dehnungsmessstreifen</b>	<b>2</b>
1.1	Ohmmeter . . . . .	2
1.1.1	Durchführung . . . . .	2
1.1.2	Messdaten . . . . .	2
1.1.3	Auswertung . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Wheatstonebrücke</b>	<b>3</b>
2.1	Widerstandsmessung . . . . .	3
2.1.1	Durchführung . . . . .	3
2.2	Messdaten . . . . .	4
2.3	Auswertung . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Übertragungsfunktion</b>	<b>5</b>
3.1	Messung 1 . . . . .	5
3.1.1	Durchführung . . . . .	5
3.2	Messung 2 . . . . .	6
3.2.1	Durchführung . . . . .	6
3.3	Messdaten . . . . .	6
3.4	Berechnungen . . . . .	7
3.5	Auswertung . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Wägeeinrichtung (Viertelbrücke)</b>	<b>9</b>
4.1	Vorbereitung . . . . .	9
4.2	Messung . . . . .	10
4.3	Messdaten . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Wägeeinrichtung (Vollbrücke)</b>	<b>11</b>
5.1	Messung . . . . .	11
5.2	Messdaten . . . . .	12
5.3	Auswertung . . . . .	12

**6 Auswertung****13**

# List of Figures

2.1	Abgegliche Wheatstonebrücke zur Bestimmung von $R_1$ . . . . .	3
3.1	Wheatstonebrücke . . . . .	5
3.2	Plot der Spannungsmessung der Wheatstonebrücke. . . . .	7
3.3	Plot der Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke. . . . .	8
4.1	Wägeeinrichtung (Viertelbrücke) . . . . .	9
4.2	Plot der Spannungsmessung der Viertelbrücke. . . . .	10
5.1	Wägeeinrichtung (Vollbrücke) . . . . .	11

# List of Tables

1.1	Widerstandsmessung mittels Multimeter. . . . .	2
3.1	Spannungsmessung der Wheatstonebrücke. . . . .	6
3.2	Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke. . . . .	7
4.1	Spannungsmessung der Viertelbrücke. . . . .	10
5.1	Messdaten der Vollbrücke bei Belastung des Biegebalkens . . . . .	12
5.2	Messdaten der Vollbrücke bei Anpassung von $U_0$ . . . . .	12

# I

## Zielsetzung

---

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## II

# Allgemeine Berechnungsgrundlagen



# Allgemeine Berechnungsgrundlagen

## Konzepte

- Grundlagen der Netzwerkanalyse
- Ermittlung einer linearen Ersatzspannungsquelle
  - Ermittlung des Innenwiderstandes  $R_i$
  - Spannung der idealen Ersatzspannungsquelle  $U_{ab}$  = Spannung zwischen den Messpunkten  $a$  &  $b$ .
  - Leistungsanpassung
- Kirchhoff'schen Gesetze
  - Knotenregel:  
Die Summe aller ein und ausfließenden Ströme in einem Knoten sind Null.
  - Maschenregel  
Die Summe aller Spannungen entlang eines Maschenumlaufes ist gleich Null.
- Superpositionsprinzip in Schaltkreisen

## Formeln

### Ohm'sche Gesetz

$$U = R \cdot I$$

### Widerstände in Reihe

$$\sum_{i=1}^n R_i = R_{ges}$$

### Widerstände in Parallel

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} = R_{ges}^{-1}$$
$$\left[ \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right]^{-1} = R_{ges}$$

---

## Spannungsteiler

$$U_i = U_0 \cdot \frac{R_i}{R_{ges}}$$

## Leistungsanpassung für lineare Ersatzspannungsquelle

Leistung ist maximal, wenn  $R_i$  gleich  $R_L$  ist.

$$P_{max} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

## Widerstandsmessung - Relativer Fehler bei stromrichtiger Messung

$$e_{rel} \approx \frac{R_{iA}}{R_x}$$

wobei  $R_x$  der zu messende Widerstand ist.

## Widerstandsmessung - Relativer Fehler bei spannungsrichtiger Messung

$$e_{rel} \approx -\frac{R_x}{R_{iV}}$$

wobei  $R_x$  der zu messende Widerstand ist.

# III

## Versuche

# Versuch 1

## Bestimmung des Widerstandes eines Dehnungsmessstreifens

In diesem Versuch wird ein auf einem Biegebalken angebrachten Dehnungsmessstreifen untersucht. Der Widerstand des Dehnungsmessstreifen wird einmal im unbelasteten und einmal im belasteten Zustand gemessen.

### 1.1 Widerstandsmessung mittels Ohmmeter

#### 1.1.1 Durchführung

Die Belastung erfolgt durch das Gewicht eines 200g schweren Körpers, welcher an die Spitze des Biegebalkens gehängt wird. Die Widerstandsmessung erfolgt mittels eines digitalen Multimeters *METRAHit 18S*.

#### 1.1.2 Messdaten

METRAHit 18S	
Weight	
0g	700.7 $\Omega$
200g	700.8 $\Omega$

Table 1.1: Widerstandsmessung mittels Multimeter.

#### 1.1.3 Auswertung

Es wurde eine Widerstandsänderung von  $\Delta R = +100\text{m}\Omega$  gemessen. Diese Erhöhung des Widerstandes lässt durch die Änderung der materialen Abmessungen innerhalb des Dehnstreifens beschreiben. Denn der auf der Oberseite des Biegebalkens befestigte Dehnmessstreifen wird durch die Biegung des Balkens gestreckt. Dies führt zu einer Verlängerung bzw. Dehnung des Drahtes im Dehnstreifen. Diese Verlängerung führt zusätzlich zu einer Querkontraktion, also einer Verkleinerung des Querschnittes. Nach der Formel  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$  ergibt sich dann ein erhöhter Widerstandswert, da die Querschnittsfläche  $A$  im Nenner verkleinert wird und die Leiter Länge  $l$  im Zähler vergrößert.

## Versuch 2

# Bestimmung des Widerstandes eines Dehnungsmessstreifens nach dem Abgleichverfahren mit einer Wheatstonebrücke

Die Brückenschaltung ist gemäß der Schaltung 2.1 aufzubauen. Für  $R_1$  ist der Dehnungsmessstreifen-Widerstand des unbelasteten Biegebalkens zu verwenden. Der Widerstand  $R_2$  ist mit einer Präzisionswiderstandsdekade *Typ 4107* aufzubauen. Für die Referenz-Widerstände  $R_3$  und  $R_4$  sind Präzisionswiderstände mit  $1k\Omega$  aus dem *hps Board* zu verwenden.

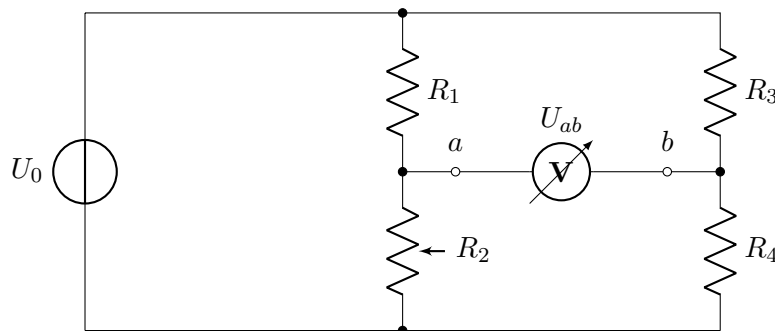


Figure 2.1: Abgegliche Wheatstonebrücke zur Bestimmung von  $R_1$

Die Versorgungsspannung  $U_0$  ist auf 6V einzustellen. Die Spannung  $U_{ab}$  wird mit einem Multimeter *METRAHit TECH* gemessen. Die Brückenspannung  $U_{ab}$  ist durch Veränderung des Widerstandes  $R_2$  über die Präzisions-Widerstandsdekade abzugleichen. Der Widerstand  $R_1$  ist unter den Abgleichbedingungen und der Kenntnis über  $R_2$  und  $R_3$  und  $R_4$  zu bestimmen.

## 2.1 Widerstandsmessung mittels Wheatstonebrücke

### 2.1.1 Durchführung

Die Brückenschaltung wurde gemäß der Schaltung 2.1 aufgebaut. Die Widerstandsdekade  $R_2$  wurde stufenweise verstellt, bis das Multimeter einen Abgleich von 0V anzeigt hat.

## 2.2 Messdaten

$$R_2 = 699.6\Omega \tag{2.1}$$

## 2.3 Auswertung

Aufgrund des Prinzips der Wheatstonebrücke und der Messung aus Versuch 1, dass der unbelastete Widerstand des Dehnungsmessstreifens  $700\text{m}\Omega$  beträgt, wurde vorher schon vermutet, dass sich ein Abgleich bei  $R_2 \approx 700\Omega$  einstellt. Ein Abgleich der Messbrücke, i.e.,  $U_{ab} = 0\text{V}$ , wurde bei  $R_2 = 699.6\Omega$  erreicht. Die Abweichung zu Versuch 1 ergibt sich durch die Widerstandsmessung über die Spannung (Messbrücke) und der Toleranz der Widerstände  $R_2$  und  $R_3$  und  $R_4$ .

## Versuch 3

# Ermittlung der Übertragungsfunktion der Wheatstonebrücke

In diesem Versuch wird eine Wheatstonebrücke auf ihre Empfindlichkeit und einen Linearitätsfehler bei unterschiedlichen Brückenverhältnissen untersucht. Dies geschieht rechnerisch als auch messtechnisch mittels unterschiedlichen Präzisionswiderständen und variabel einstellbaren Widerstandsdekaden.

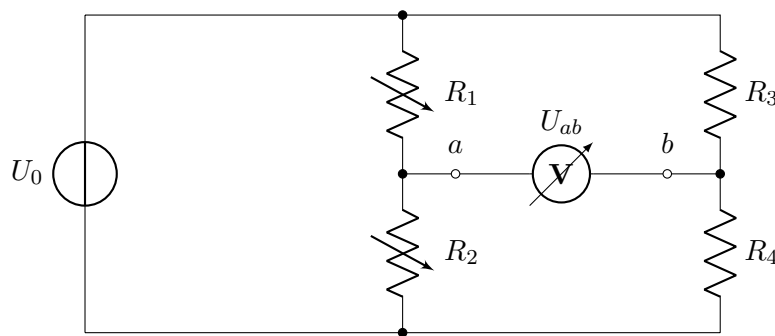


Figure 3.1: Wheatstonebrücke

Die Brückenschaltung wird nach Schaltskizze 3.1 aufgebaut. Die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  werden mit 2 Präzisionswiderstandsdekaden *Typ 4107* aufgebaut. Die Widerstände  $R_3$  und  $R_4$  werden mit Fixwiderständen mit 0.02% Toleranz aufgebaut. Die Versorgungsspannung beträgt  $U_0 = 6\text{V}$ . Die Spannung  $U_{ab}$  wird mit einem Multimeter *METRAHit Tech* gemessen.

### 3.1 Messung 1

#### 3.1.1 Durchführung

Im ersten Messdurchlauf werden für die Widerstandsverhältnis

$$a_1 = \frac{R_4}{R_3} = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} \quad (3.1)$$

gewählt. Der Widerstand  $R_1$  wird an der Widerstandsdekade auf  $700\Omega$ . Der Widerstand  $R_2$  wird so eingestellt, dass die Brücke abgeglichen ist, also die Spannung  $U_{ab}$  möglichst  $0\text{V}$  anzeigt. Nun wird  $R_1$  auf  $400\Omega$  gestellt und in  $100\Omega$  Schritten bis  $1.3\text{k}\Omega$  gesteigert. Es wird die jeweilige Spannung  $U_{ab}$  erfasst.

## 3.2 Messung 2

### 3.2.1 Durchführung

Im zweiten Messdurchlauf werden für die Widerstandsverhältnis

$$a_2 = \frac{R_4}{R_3} = \frac{100\Omega}{1k\Omega} \quad (3.2)$$

gewählt. Der Widerstand  $R_1$  wird an der Widerstandsdekade auf  $700\Omega$ . Der Widerstand  $R_2$  wird so eingestellt, dass die Brücke abgeglichen ist, also die Spannung  $U_{ab}$  möglichst 0V anzeigt. Nun wird  $R_1$  auf  $400\Omega$  gestellt und in  $100\Omega$  Schritten bis  $1.3k\Omega$  gesteigert. Es wird die jeweilige Spannung  $U_{ab}$  erfasst.

## 3.3 Messdaten

$$a_1 = 1 \quad \text{und} \quad a_2 = 0.1$$

METRAHit TECH			
(U) Voltage			
	$[a_1]$ Messung 1	$[a_2]$ Messung 2	
400 $\Omega$	0.820V	0.349V	
500 $\Omega$	0.500V	0.192V	
600 $\Omega$	0.231V	0.082V	
700 $\Omega$	0.000V	0.001V	
800 $\Omega$	-0.200V	-0.062V	
900 $\Omega$	-0.375V	-0.112V	
1k $\Omega$	-0.530V	-0.153V	
1.1k $\Omega$	-0.667V	-0.186V	
1.2k $\Omega$	-0.790V	-0.215V	
1.3k $\Omega$	-0.901V	-0.244V	

Table 3.1: Spannungsmessung der Wheatstonebrücke.



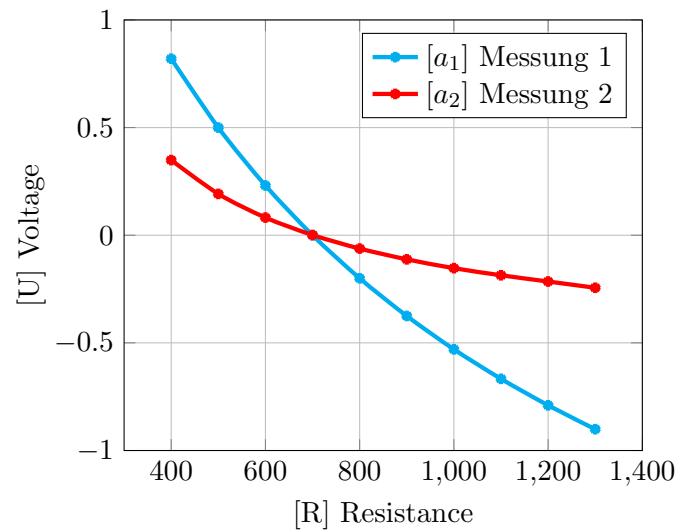


Figure 3.2: Plot der Spannungsmessung der Wheatstonebrücke.

### 3.4 Berechnungen

$$U_{ab} = U_0 \cdot \frac{a}{(1+a)^2} \cdot \frac{\Delta R_1}{R_1} \quad (3.3)$$

$$a_1 = \frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} \Rightarrow R_1 = 700\Omega \quad (3.4)$$

$$a_2 = \frac{100\Omega}{1\text{k}\Omega} \Rightarrow R_1 = 70\Omega \quad (3.5)$$

$\Delta R$	300 $\Omega$	600 $\Omega$
$U_{ab}$	0.643V	1.286V

(a) Spannungsberechnung für  $a_1$ .

$\Delta R$	330 $\Omega$	1230 $\Omega$
$U_{ab}$	2.34V	8.71V

(b) Spannungsberechnung für  $a_2$ .

Table 3.2: Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke.

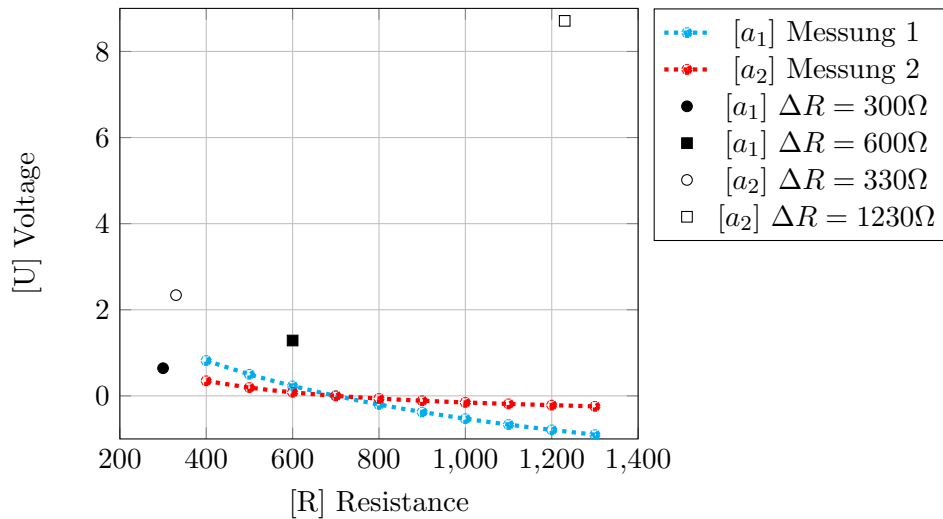


Figure 3.3: Plot der Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke.

### 3.5 Auswertung

Betrachtet man die Graphen, ist zu erkennen, dass der Graph für das Brückenverhältnis  $a = 1$  deutlich steiler verläuft, als der Graph zum Brückenverhältnis  $a = 0.1$ . Daraus ist zu schließen, dass ein Brückenverhältnis von  $a = 1$ , empfindlicher gegenüber einer Veränderung von  $R_1$  ist als ein Brückenverhältnis von  $a = 0.1$ . Also ist hier eine größere Spannungsänderung an  $U_{ab}$  zu messen, pro Ohm Widerstandsänderung von  $R_1$ . Die Berechnung mittels der Näherungs-Formel mag für kleine Verstimmungen

$$\frac{\Delta R}{R_1}$$

ausreichend genau sein, doch weist zu große Fehler bei derart großen Verstimmungen auf. Dies liegt daran, dass die Formel eine Linearität annimmt und lediglich die Werte entlang einer Tangente, angelegt an den Abgleichpunkt berechnet. Wählt man also große Verstimmungen für die Berechnung, wird man auch einen großen Linearitätsfehler erhalten.

## Versuch 4

# Aufbau einer Wägeeinrichtung mit dem Biegestab (Viertelbrücke)

Eine Wägeeinrichtung mit Brückenschaltung ist nach Schaltskizze 4.1 aufzubauen und zu untersuchen. Für  $R_1$  ist der Widerstand  $R_1$  der 4 Dehnungsmessstreifen-Widerstände des Biegebalkens zu verwenden.  $R_3$  und  $R_4$  sind Präzisionswiderstände mit

$$R_3 = R_4 = 1\text{k}\Omega \quad (0.02\% \quad \text{Toleranz}) \quad (4.1)$$

aus dem *hps Board*. Die Versorgungsspannung beträgt  $U_0 = 6\text{V}$ . Die Brückenspannung  $U_{ab}$  wird mit einem Digitalmultimeter *METRAHit TECH* gemessen.

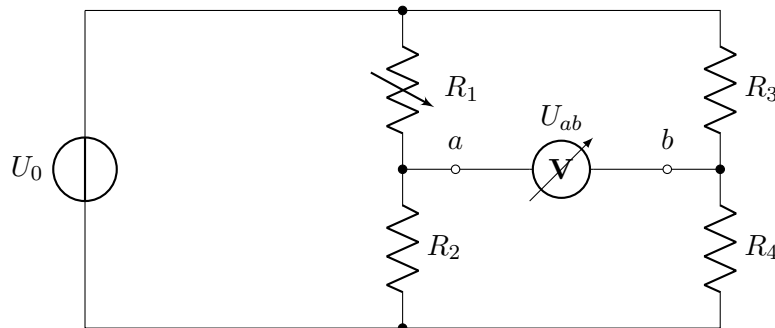


Figure 4.1: Wägeeinrichtung (Viertelbrücke)

Die Brückenspannung ist ohne Belastung des Biegebalkens durch Variation von  $R_2$  so gut wie möglich auf  $U_{ab} = 0\text{V}$  abzugleichen. Es ist die Brückenspannung  $U_{ab}$  bei Belastung des Biegebalkens mit:

$$m = 0\text{g}, 100\text{g}, 200\text{g}, 300\text{g}, 400\text{g}, 500\text{g} \quad (4.2)$$

zu messen. Die Empfindlichkeit der Anordnung für  $m = 500\text{g}$  ist zu bestimmen.

### 4.1 Vorbereitung

Siehe Berechnungsgrundlagen für Brückenempfindlichkeit.

## 4.2 Messung

Die Schaltung wurde gemäß der Versuchsbeschreibung aufgebaut. Der Biegebalken ist unbelastet. Die Widerstandsdekade  $R_2$  wurde stufenweise verstellt, bis das Multimeter einen Abgleich von 0V anzeigt hat.

Der Biegebalken wurde nacheinander mit den Gewichten  $m = 0\text{g}, 100\text{g}, 200\text{g}, 300\text{g}, 400\text{g}, 500\text{g}$  belastet und die Brückenspannung  $U_{ab}$  wurde vom Multimeter abgetragen. Die Empfindlichkeit der Brücke wurde für  $m = 500\text{g}$  errechnet.

## 4.3 Messdaten

$$R_1 \quad \text{at} \quad 0\Omega = 700.7\Omega$$

$$R_2 = 700.3\Omega$$

METRAHit TECH (U) Voltage	
0g	0.0000V
100g	-0.0004V
200g	-0.0006V
300g	-0.0008V
400g	-0.0011V
500g	-0.0013V

Table 4.1: Spannungsmessung der Viertelbrücke.

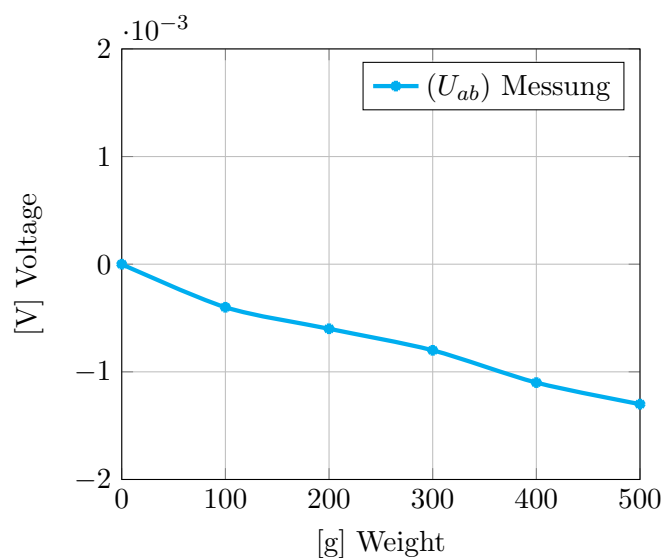


Figure 4.2: Plot der Spannungsmessung der Viertelbrücke.

## Versuch 5

# Aufbau einer Wägeeinrichtung mit dem Biegestab (Vollbrücke)

Im folgenden Versuch wird durch einen parallel geschalteten Widerstand  $R_a$  bei einer Wheatstone-Brückenschaltung der Nullpunktfehler kompensiert und so ein exakter Nullabgleich ermöglicht. Dieser Fehler tritt meist bei Vollbrücken auf, die im Ausschlagverfahren betrieben werden, bedingt durch die Toleranten der Widerstände. Die Versorgungsspannung  $U_0$  wird wieder auf 6V eingestellt und die Brückenspannung  $U_{ab}$  wird mit dem Digitalmultimeter *METRAHit TECH* gemessen.

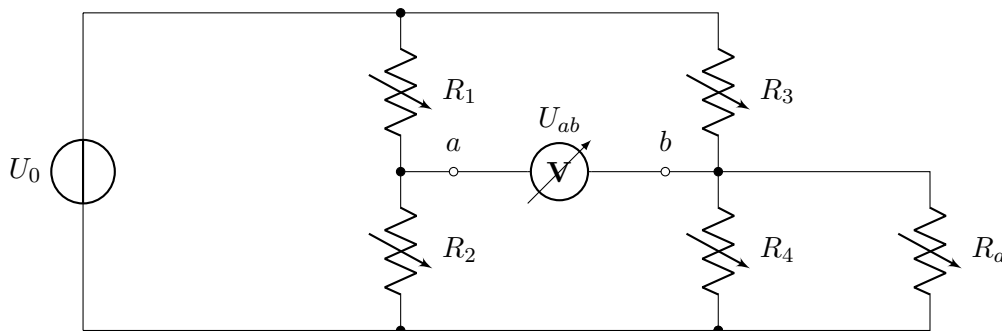


Figure 5.1: Wägeeinrichtung (Vollbrücke)

### 5.1 Messung

Mit Hilfe einer Präzisions-Widerstandsdekade ist der Widerstand  $R_a$  so einzustellen das die Ausgleichsbedingung  $U_{ab} = 0V$  erfüllt ist. Um den richtigen Widerstand zu finden zu dem  $R_a$  parallel geschaltet werden muss, wird geschaut bei welchem Widerstand die Anzeige einen kleinen Ausschlag oder einen Polaritätswechsel durch den Nulldurchgang anzeigt. Im nächsten Schritt wird am freischwingenden Ende des Biegebalkens die Last erhöht und parallel dazu die Brückenspannung  $U_{ab}$  mit dem Digitalmultimeter erfasst.

Bei der zweiten Messung wird die Versorgungsspannung so gewählt, dass die Brückenspannung  $U_{ab}$  proportional zu der angehängten Last steigt. Diese Spannung wurde durch ausprobieren iterativ bestimmt.

## 5.2 Messdaten

METRAHit TECH ( $U_{ab}$ ) Voltage	
0g	-0.0005V
100g	-0.0015V
200g	-0.0024V
300g	-0.0033V
400g	-0.0043V
500g	-0.0052V

Table 5.1: Messdaten der Vollbrücke bei Belastung des Biegebalkens

	METRAHit TECH ( $U_{ab}$ ) Voltage	Source ( $U_0$ ) Voltage
100 g	0.0014 V	5.820 V
200 g	0.0023 V	5.820 V
300 g	0.0032 V	5.820 V
400 g	0.0041 V	5.820 V
500 g	0.0050 V	5.820 V

Table 5.2: Messdaten der Vollbrücke bei Anpassung von  $U_0$ 

## 5.3 Auswertung

Die systematische Erhöhung der Belastung führt zu einem steigenden Widerstand  $R_1$ , weshalb sich auch die Brückenspannung  $U_{ab}$  erhöht. Die Brückenempfindlichkeit ist mit

$$E_0 = 0.00214 \text{ V } \Omega^{-1} \quad (5.1)$$

eher gering, da der Widerstand  $R_1$  relativ hoch ist und die Eingangsspannung  $U = 6\text{V}$  gering ist. Die Brückenempfindlichkeit ist somit unabhängig von dem eingesetzten Gewicht und der dadurch resultierenden Widerstandeserhöhung.

In einer zusätzlichen Simulation mit falstad.com Abb XYZ - unter Optimal Bedingungen ohne Messfehler und Widerstandstoleranzen - wurden die Messergebnisse näherungsweise überprüft. Der Widerstandwert für  $R_1$  liegt bei  $701\Omega$  (500g). Die Brückenspannung  $U_{ab}$  beträgt  $-1.249\text{mV}$ .

## Versuch 6

# Auswertung

Die Zielsetzung konnte anhand der Experimente gut erfüllt werden. Es sind Erkenntnisse über die sinnvolle Anwendung der Messmethoden gewonnen worden und das Verständnis von Ersatzquellen konnte durch Abgleichen der Messung mit den Berechnungen gefestigt werden.

Die Auswertung aus den Versuchen führen zu folgenden Erkenntnissen:

- Eine Messung von kleinen Widerständen mittels Multimeter ist sehr ungenau.
- Leiterwiderstände haben einen großen Einfluss bei kleinen Widerständen.
- Analoge Multimeter sind deutlich fehleranfälliger als Digitale Multimeter.
- Stromrichtiges Messen ist besser geeignet für das Messen von großen Widerständen.
- Spannungsrichtiges Messen ist besser geeignet für das Messen von kleinen Widerständen.
- Zwei-Punkt-Methode sorgt bei kleinen Widerständen für sehr große Abweichung, die Vier-Punkt-Methode ist besser geeignet.
- Zwei- und Vier-Punkt-Methode verhalten sich beim Messen des 1kOHM Widerstandes nahezu identisch.
- Nichtlineare Widerstände stimmen nur bei sehr kleinen Strömen mit den Messungen eines Ohmmeters überein.
- Temperatur hat hier einen Einfluss auf den nichtlinearen Widerstand.
- Eine Schaltung kann durch die Berechnung des Innenwiderstands in eine Ersatzschaltung umgebaut werden.
- Die Messwerte in der Ersatzschaltung sind identisch zur Originalschaltung.

Für die nächsten Praktika empfiehlt es sich, parallel zur Versuchsdurchführung, ein Gruppenmitglied zur direkten Diagramm Erstellung zu beauftragen, um mögliche Messfehler oder anderweitige Abweichungen schnell erkennen zu können. Zudem können sofort erste Erkenntnisse gewonnen werden, was die Erstellung des Berichtes vereinfacht.