

ETP1 Lab 3 Report

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

December 14, 2022

Contents

| | | |
|------------|---|-----------|
| I | Zielsetzung | IV |
| II | Allgemeine Berechnungsgrundlagen | VI |
| | Konzepte | VII |
| | Formeln | VII |
| III | Versuche | 1 |
| 1 | Dehnungsmessstreifen | 2 |
| 1.1 | Ohmmeter | 2 |
| 1.1.1 | Durchführung | 2 |
| 1.1.2 | Messdaten | 2 |
| 1.1.3 | Auswertung | 2 |
| 2 | Wheatstonebrücke | 3 |
| 2.1 | Widerstandsmessung | 3 |
| 2.1.1 | Durchführung | 3 |
| 2.2 | Messdaten | 4 |
| 2.3 | Auswertung | 4 |
| 3 | Übertragungsfunktion | 5 |
| 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 |
| 4 | Wägeeinrichtung (Viertelbrücke) | 9 |
| 4.1 | Messung | 10 |
| 5 | Wägeeinrichtung (Vollbrücke) | 11 |
| 5.1 | Messung | 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 |
| 5.1 | Wägeeinrichtung (Viertelbrücke) | 11 |

List of Tables

| | | |
|-----|---|---|
| 1.1 | Widerstandsmessung mittels Multimeter. | 2 |
| 3.1 | Spannungsmessung der Wheatstonebrücke. | 6 |
| 3.2 | Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke. | 7 |

I

Zielsetzung

Verdeutlichung, dass Messungen nur dann zu sinnvollen Ergebnissen führen, wenn die Messgeräte und der Messaufbau zur Aufgabenstellung bzw. zum jeweiligen Ziel der Messung passen.

Zudem soll das Verständnis von Ersatzspannungsquellen vertieft werden durch einen Experimentellen Nachbau mit vorheriger Berechnung.

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 Ω |
| 200g | 700.8 Ω |

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 Dehnmessstreifen. 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.

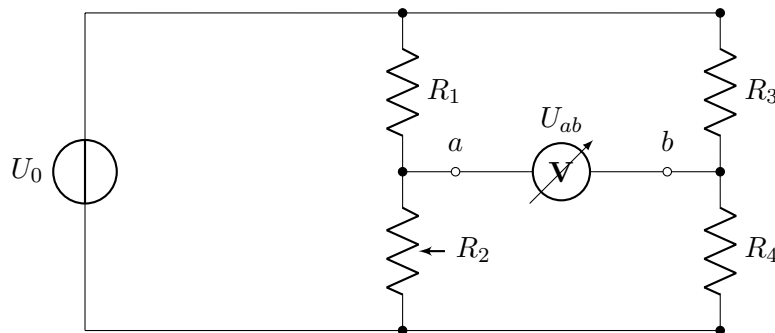


Figure 2.1: Abgegliche Wheatstonebrücke zur Bestimmung von R_1

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.

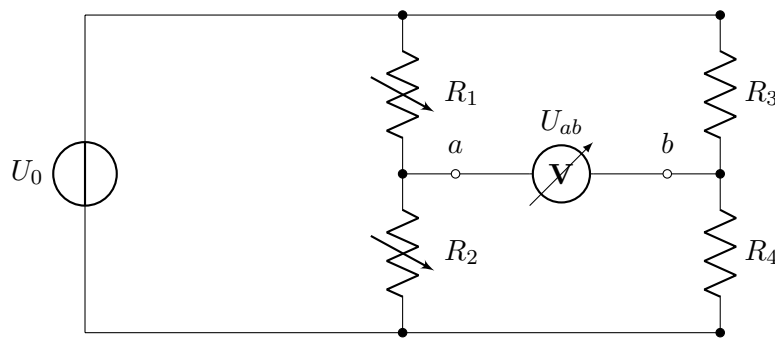


Figure 3.1: Wheatstonebrücke

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 700Ω . 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 400Ω gestellt und in 100Ω 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 700Ω . 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 400Ω gestellt und in 100Ω 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 Ω | 0.820V | 0.349V | |
| 500 Ω | 0.500V | 0.192V | |
| 600 Ω | 0.231V | 0.082V | |
| 700 Ω | 0.000V | 0.001V | |
| 800 Ω | -0.200V | -0.062V | |
| 900 Ω | -0.375V | -0.112V | |
| 1k Ω | -0.530V | -0.153V | |
| 1.1k Ω | -0.667V | -0.186V | |
| 1.2k Ω | -0.790V | -0.215V | |
| 1.3k Ω | -0.901V | -0.244V | |

Table 3.1: Spannungsmessung der Wheatstonebrücke.

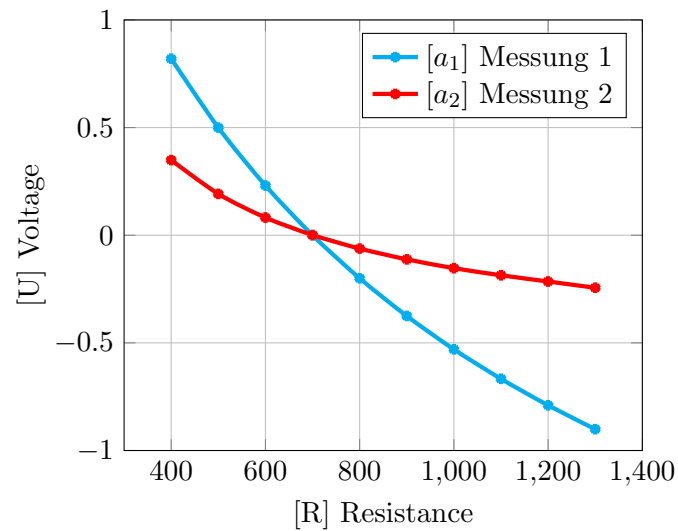


Figure 3.2: Plot der Spannungsmessung der Wheatstonebrücke.

3.4 Berechnungen

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

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

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

| ΔR | 300 Ω | 600 Ω |
|------------|--------------|--------------|
| U_{ab} | 0.643V | 1.286V |

(a) Spannungsberechnung für a_1 .

| ΔR | 330 Ω | 1230 Ω |
|------------|--------------|---------------|
| U_{ab} | 2.34V | 8.71V |

(b) Spannungsberechnung für a_2 .

Table 3.2: Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke.

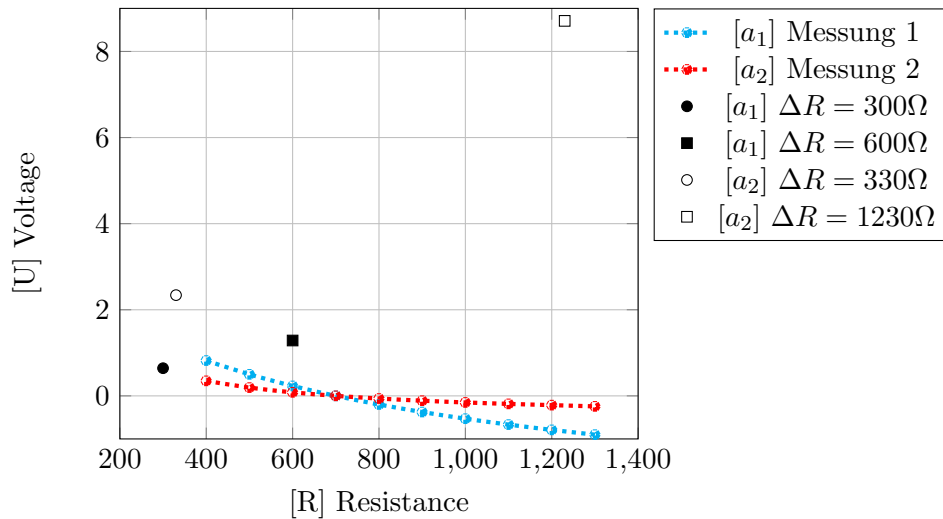


Figure 3.3: Plot der Spannungsberechnung der Wheatstonebrücke.

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)

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.

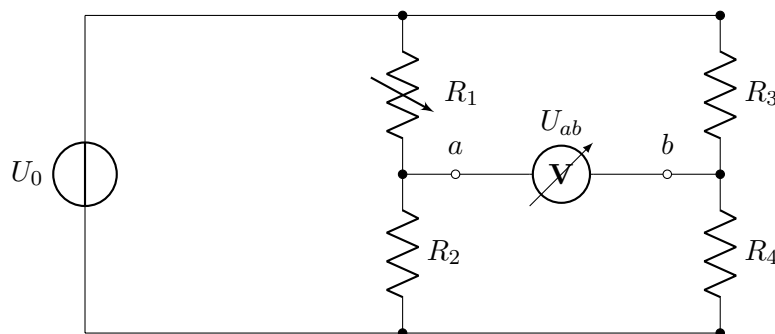


Figure 4.1: Wägeeinrichtung (Viertelbrücke)

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.

4.1 Messung

Versuch 5

Aufbau einer Wägeeinrichtung mit dem Biegestab (Vollbrücke)

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.

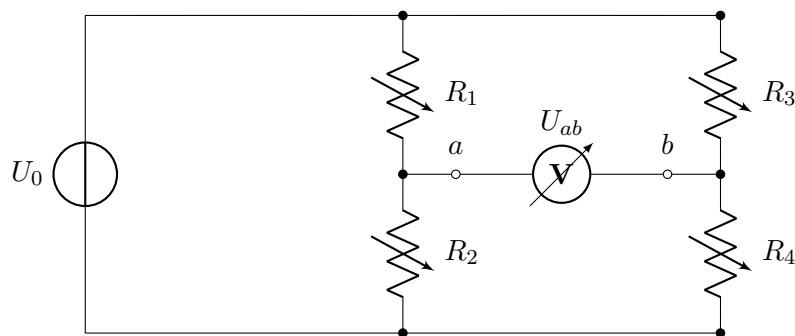


Figure 5.1: Wägeeinrichtung (Viertelbrücke)

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.

5.1 Messung

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.