

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Wintersemester 2019/2020

Versuch 44: Spannung Strom und Widerstandsnetzwerke

Gruppe

(durchgeführt am bei)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Ziel des Versuchs	5
2 Benutzte Gleichungen	5
3 Aufbau und Durchführung	6
3.1 Aufbau	6
3.1.1 Arbeiten am Steckbrett	6
3.1.2 Widerstandswürfel	6
3.2 Durchführung	6
3.2.1 Arbeiten am Steckbrett	6
3.2.2 Widerstandswürfel	6
4 Messung	7
4.1 Multimeter	7
4.2 Arbeiten am Steckbrett	7
4.2.1 Widerstandswürfel	11
5 Auswertung	12
5.1 Multimeter	12
5.2 Arbeiten am Steckbrett	12
5.3 Widerstandswürfel	14
6 Diskussion	16
6.1 Arbeiten am Steckbrett	16
6.2 Widerstandswürfel	17
7 Anhang	19
7.1 Widerstandswürfel	19
7.2 Laborheft	21
Literaturverzeichnis	24

Abbildungsverzeichnis

1	Parallel- und Reihenschaltung von Glühlampen mit Volt- und Ampéremeter	8
2	Widerstände in Reihenschaltung	9
3	Widerstände in Parallelschaltung	9
4	Stromkreis aus verschiedenen Widerständen in Reihen und Par- allelschaltung	10
5	Stromkreis aus verschiedenen Widerständen in Reihen- und Par- allelschaltung	13
6	Widerstandswürfel	19
7	Ersatzschaltplan Widerstandswürfel	19
8	Laborheftseite 1	21
9	Laborheftseite 2	22
10	Laborheftseite 3	23
11	Laborheftseite 4	24

Tabellenverzeichnis

1	Gemessenen Spannungs- und Stromwerte für die beiden Strom- kreise Abbildung 1	8
2	Gesamtwiderstände der verschiedenen Stromkreise	10
3	Messwerte der Einzelwiderstände	11
4	Messwerte für Spannung und Stromstärke für den Widerstands- würfel	11
5	Zusammenfassung der berechneten und gemessenen Widerstands- werte für die drei Schaltkreise, mit prozentualer Abweichung . .	17

1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es zunächst das Verhalten von Glühlampen und LEDs in Stromkreisen mit Reihen- und Parallelschaltung qualitativ zu untersuchen. Anschließend sollen anhand von verschiedenen Stromkreisen die Kirchhoffschen Regeln überprüft werden. Außerdem wird der Gesamtwiderstand eines Widerstandswürfels bestimmt werden.

2 Benutzte Gleichungen

Kirchhoffsche Regeln:

1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel):

$$\sum_k I_k = 0 \quad (1)$$

2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel):

$$\sum_l U_l = 0 \quad (2)$$

Reihenschaltung von Widerständen:

$$R = \sum_k R_k \quad (3)$$

Parallelschaltung von Widerständen:

$$R = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{R_k}} \quad (4)$$

Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I \quad (5)$$

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

3.1.1 Arbeiten am Steckbrett

Für den Versuch stehen ein Steckbrett, ein Netzgerät und eine Reihe von Widerständen, Brücken und verschiedenen Glühlampe und LEDs zu Verfügung. Außerdem stehen mehrere digitale und analoge Multimeter für den Versuch zu Verfügung.

3.1.2 Widerstandswürfel

Auch für diesen Versuchsteil stehen ein Steckbrett und ein Netzgerät und verschiedene Multimeter zur Verfügung. Außerdem muss aus 12 gleichen Widerständen eine Würfel gelötet werden

3.2 Durchführung

3.2.1 Arbeiten am Steckbrett

Teil 1:

Zunächst werden die maximalen Stromstärken und Spannungswerte des Netzgeräts mit einem digitalen Multimeter gemessen. Anschließend werden unterschiedliche Stromkreise aus Glühlampen und LEDs auf dem Steckbrett aufgebaut und das Verhalten der Glühlampen und LEDs in Reihen- und Parallelschaltung beobachtet.

Teil 2:

Um die Kirchhoffschen Regeln zu überprüfen, werden zwei Lampen zunächst Parallel und anschließend in Reihe geschaltet.

Teil 3:

Außerdem werden aus verschiedenen Widerständen drei Schaltkreise aufgebaut, um [Gleichung 3](#) und [Gleichung 4](#) zu überprüfen.

3.2.2 Widerstandswürfel

Für die Messung mit dem Widerstandswürfel wird dieser zunächst an den gegenüberliegenden Ecken an ein Multimeter angeschlossen und der Widerstand bestimmt. Anschließend wird er in einen Stromkreis eingebaut, und Spannung und Strom jeweils einmal mit analogem und einmal mit digitalem Multimeter gemessen.

4 Messung

4.1 Multimeter

Die Messwerte für Spannung, Stromstärke und Widerstand wurden, wenn nicht gesondert gekennzeichnet, über verschiedene digitale Multimeter aufgenommen. Die vom Hersteller angegebenen Unsicherheiten der Messgeräte für verschiedene Einstellungen wurden aus den aushängenden Datenblättern entnommen.

4.2 Arbeiten am Steckbrett

Teil 1:

Es werden folgende Maximalwerte des Netzgeräts für Stromstärke und Spannung mit dem digitalen Multimeter gemessen:

$$U_{\max} = 9,97 \text{ V} \quad (6)$$

$$I_{\max} = 0,203 \text{ A} \quad (7)$$

Die Unsicherheiten ergeben sich aus der Einstellung des benutzten digitalen Multimeters:

$$s_{U_{\max}} = (0,5\% \pm 1 \text{ digit}) \quad (8)$$

$$s_{I_{\max}} = (1,5\% \pm 1 \text{ digit}) \quad (9)$$

Die mit dem digitalen Multimeter gemessenen Widerstände der beiden verwendeten Glühlampen sind:

$$R_{G1} = 12,0 \Omega \quad (10)$$

$$R_{G2} = 1,9 \Omega \quad (11)$$

Die Einstellung des Multimeters beträgt für die Messung 200Ω , wodurch sich folgende Unsicherheit ergibt:

$$s_R = (0,8\% \pm 1 \text{ digit}) \quad (12)$$

Zunächst wird eine LED alleine in den Stromkreis gesteckt, dabei fällt auf, dass die LED nur leuchtet, wenn sie in eine Richtung in den Stromkreis eingebaut ist. Polt man die Stromrichtung um, so leuchtet sie nicht mehr. Ersetzt man die LED durch eine Glühbirne, ist das Leuchten unabhängig von der Polrichtung.

Schaltet man eine LED mit einer Glühlampe in Reihenschaltung oder zwei Glühlampen in Reihenschaltung, so leuchten beide, jedoch weniger hell als alleine. Bei den zwei Glühlampen leuchtet Glühlampe 1 heller als Glühlampe 2. Schaltet man eine LED und eine Glühlampe in Reihe, so leuchtet die LED fast genauso hell wie alleine während die Glühlampe kaum leuchtet. Schaltet man die beiden Glühlampen in Parallelschaltung, so leuchtet Glühlampe 2 heller als Glühlampe 1 und beide weniger

hell, als alleine. Außerdem leuchtet bei der Parallelschaltung von LED und Glühlampe 1, beide Lampen fast so hell wie alleine, während bei der Parallelschaltung von LED und Glühlampe 2 die Glühlampe 2 leuchtet und die LED kaum. Schaltet man eine Brücke parallel zu einer Glühlampe, so leuchtet die Glühlampe nicht.

Teil 2:

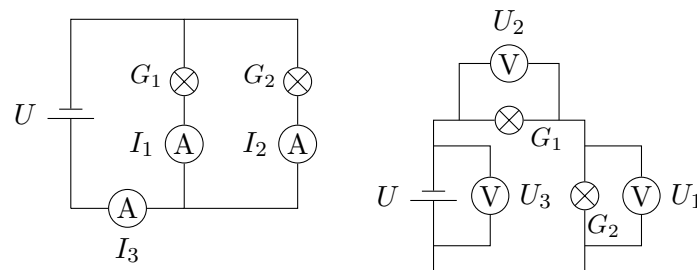


Abbildung 1: Parallel- und Reihenschaltung von Glühlampen mit Volt- und Ampèremeter

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Werte der Ampère- und Voltmeter, die verwendeten Multimeter und deren durch die gewählten Einstellungen vom Hersteller angegebenen Unsicherheiten aufgetragen:

	Multimeter	Multimetereinstellung	Unsicherheiten	Messwert
A_1	M3800	200 mA	$(1,5\% \pm 1\text{digit})$	$-38,7 \text{ mA}$
A_2	UT51	200 mA	$(1,5\% \pm 1\text{digit})$	$-166,1 \text{ mA}$
A_3	M3800	2 A	$(1,5\% \pm 1\text{digit})$	$0,204 \text{ A}$
V_1	M3800	20 V	$(0,5\% \pm 1\text{digit})$	$-9,50 \text{ V}$
V_2	M3800	20 V	$(0,5\% \pm 1\text{digit})$	$-0,53 \text{ V}$
V_3	UT51	20 V	$(0,5\% \pm 1\text{digit})$	$9,97 \text{ V}$

Tabelle 1: Gemessenen Spannungs- und Stromwerte für die beiden Stromkreise [Abbildung 1](#)

Teil 3:

Für das Überprüfen von [Gleichung 3](#) und [Gleichung 4](#) wurden folgende Widerstände verwendet:

$$R_1 = 10,1 \, \Omega \quad (13)$$

$$R_2 = 51,2 \, \Omega \quad (14)$$

$$R_3 = 51,0 \, \Omega \quad (15)$$

$$R_4 = 82,3 \, \Omega \quad (16)$$

$$R_5 = 82,2 \, \Omega \quad (17)$$

$$(18)$$

Die Werte wurden mit einem digitalen Multimeter mit der Einstellung $200 \, \Omega$, was zu einer Unsicherheit von

$$s_R = (0,8\% \pm 1\text{digit}) \quad (19)$$

führt, gemessen.

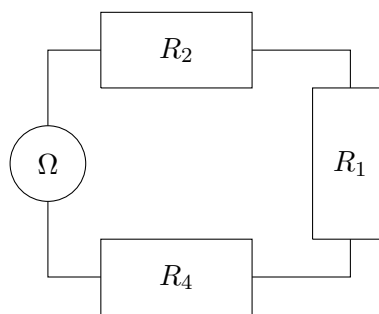


Abbildung 2: Widerstände in Reihenschaltung

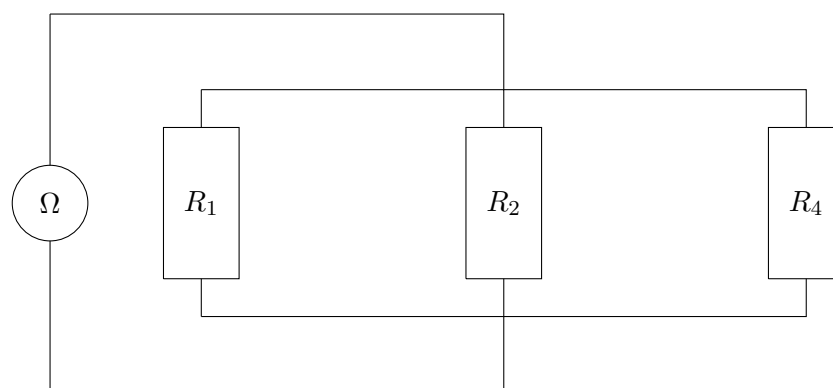


Abbildung 3: Widerstände in Parallelschaltung

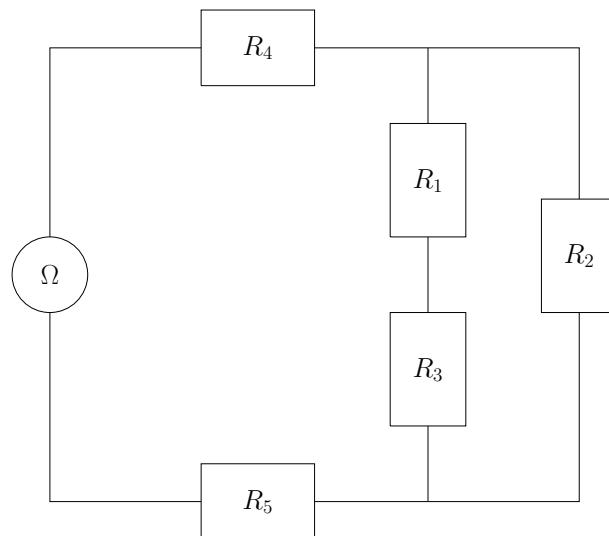


Abbildung 4: Stromkreis aus verschiedenen Widerständen in Reihen und Parallelschaltung

Das Ohmmeter hat für die drei Stromkreise folgende Werte gemessen:

Stromkreis	Widerstand
Abbildung 2	$143,0\,\Omega$
Abbildung 3	$8,0\,\Omega$
Abbildung 4	$191,9\,\Omega$

Tabelle 2: Gesamtwiderstände der verschiedenen Stromkreise

4.2.1 Widerstandswürfel

Für den Würfel werden Widerstände aus dem Fach mit der Aufschrift $47\,\Omega$ verwendet. Der auf den Widerständen sichtbare Farbcode ist gelb-violett-grün-braun-gold. Für jeden Widerstand wird der Wert zusätzlich mit einem Digitalmultimeter (UT51) gemessen. Die gemessenen Einzelwiderstände sind in folgender Tabelle aufgeführt:

	$R[\Omega]$
1	47,5
2	47,8
3	47,7
4	47,7
5	47,7
6	47,8
7	47,9
8	47,9
9	47,7
10	48,0
11	48,0
12	47,8

Tabelle 3: Messwerte der Einzelwiderstände

Der Gesamtwiderstand des Würfels wird für alle vier Diagonalen direkt über das Digitalmultimeter gemessen.

Bei angelegter Spannung an den Würfel werden Spannung und Stromstärke mit einem Digitalmultimeter (DMM) und einem Analogmultimeter (AMM) gemessen und dann die Multimeter getauscht und nochmals gemessen. Die daraus erhaltenen Messwerte sind in folgender Tabelle dargestellt:

Multimeter	$U\,[\text{V}]$	$I\,[\text{A}]$
AMM	9,3	0,216
DMM	9,27	0,201

Tabelle 4: Messwerte für Spannung und Stromstärke für den Widerstandswürfel

Es werden folgende Unsicherheiten für die Messungen mit dem AMM angenommen:

$$\begin{aligned}s_{U,\text{AMM}} &= 0,1\,\text{V} \\ s_{I,\text{AMM}} &= 0,005\,\text{A}\end{aligned}\tag{20}$$

5 Auswertung

5.1 Multimeter

Die angegebenen Unsicherheiten beziehen sich auf statistische und systematische Unsicherheiten. Im folgenden werden alle angegebenen systematischen und statistischen Unsicherheiten quadratisch addiert und es wird nur mit der gesamten Unsicherheit weitergerechnet:

$$s_{\text{ges}} = \sqrt{s_{\text{sys}}^2 + s_{\text{stat}}^2} \quad (21)$$

5.2 Arbeiten am Steckbrett

Teil 1:

In diesem Versuchsteil entfällt die Auswertung, da es sich um eine qualitative Beobachtung handelt und somit keine quantitativen Berechnungen durchgeführt werden können. Das beobachtete Verhalten der LED und Glühlampen wird in der Diskussion besprochen.

Teil 2:

Um die erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel) zu überprüfen, werden die gemessene Stromstärken aus [Tabelle 1](#) aufsummiert:

$$I_{\text{sum}} = \sum_{i=1}^3 I_i = (-1 \pm 4) \text{ mA} \quad (22)$$

Wobei sich die Unsicherheit mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung folgendermaßen berechnet:

$$s_{I_{\text{sum}}} = \sqrt{s_{I_1}^2 + s_{I_2}^2 + s_{I_3}^2} \quad (23)$$

Um die zweite Kirchhoffsche Regel (Maschenregel) zu überprüfen werden die gemessenen Spannungen aufsummiert. Die Berechnung der Unsicherheiten wird dabei analog wie für die Stromstärken durchgeführt:

$$U_{\text{sum}} = \sum_{j=1}^3 U_j = (0,06 \pm 0,07) \text{ V} \quad (24)$$

Teil 3:

Der gesamte Widerstand in [Abbildung 2](#) berechnet sich nach [Gleichung 3](#):

$$R_{\text{ges},1} = (143,6 \pm 0,8) \Omega \quad (25)$$

Die Unsicherheit wurde hierbei aus den Unsicherheiten der einzelnen Widerstände folgendermaßen durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet:

$$s_{R_{\text{ges},1}} = \sqrt{s_{R_2}^2 + s_{R_1}^2 + s_{R_4}^2} \quad (26)$$

Der Gesamt Widerstand des zweiten Schaltkreis (vgl. [Abbildung 3](#)) berechnet sich nach [Gleichung 4](#) folgendermaßen:

$$R_{\text{ges},2} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4}} = (7,65 \pm 0,07) \Omega \quad (27)$$

Hierbei ergibt sich die Unsicherheit durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$s_{R_{\text{ges},2}} = \sqrt{\left(\frac{s_{1/R_1}}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{s_{1/R_2}}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{s_{1/R_4}}{\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)^2} \right)^2}$$

Wobei s_{1/R_i} jeweils die Unsicherheit des Kehrwertes von R_i bezeichnet und folgendermaßen berechnet wird:

$$s_{1/R_i} = \frac{s_{R_i}}{R_i^2} \quad (28)$$

Im letzten Schaltkreis (vgl. [Abbildung 4](#)) sind sowohl Widerstände parallel als auch in Reihe geschaltet. Um hier den Gesamt Widerstand zu bestimmen, berechnet man zunächst die Widerstände einzelner Abschnitte im Stromkreis.

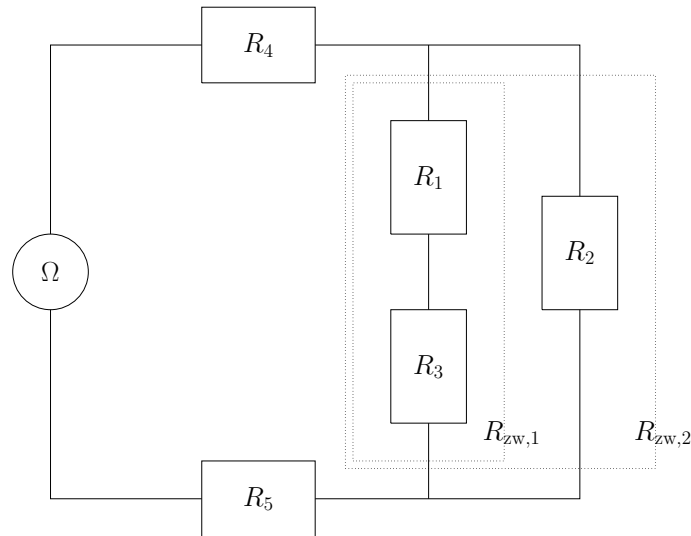


Abbildung 5: Stromkreis aus verschiedenen Widerständen in Reihen- und Parallelschaltung

Der Widerstand des ersten Abschnittes berechnet sich nach [Gleichung 3](#):

$$R_{\text{zw},1} = R_1 + R_3 \quad (29)$$

Den Widerstand des zweiten Abschnitt kann man mit dem ersten Zwischenergebnis nach [Gleichung 4](#) berechnen:

$$R_{zw,2} = \frac{1}{\frac{1}{R_{zw,1}} + \frac{1}{R_2}} \quad (30)$$

Mit den beiden Zwischenergebnissen lässt sich somit der gesamte Widerstand des Schaltkreis wieder nach [Gleichung 3](#) berechnen. Die Unsicherheiten wurden dabei analog zu den ersten beiden Schaltkreisen durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet, wobei die Rechnungen aufgrund der Übersichtlichkeit nicht nochmal explizit aufgeschrieben wurden:

$$R_{ges,3} = R_4 + R_{zw,2} + R_5 = (192,4 \pm 1,0) \Omega \quad (31)$$

5.3 Widerstandswürfel

Um einen möglichst genauen Wert für die verbauten Einzelwiderstände zu erhalten wurden alle einzeln gemessen. Da aber angenommen wird, dass identische Widerstände genutzt werden wird für die weiteren Berechnungen das arithmetische Mittel der gemessenen Widerstände bestimmt:

$$R_W = \frac{\sum_{i=1}^{12} R_i}{12} = (47,79 \pm 0,14) \Omega \quad (32)$$

Als Unsicherheit wird hierbei die Standardabweichung angegeben. Für den Gesamtwiderstand des Würfels wird folgendes erwartet (vgl. Herleitung im Anhang):

$$R_{ges} = \frac{5}{6} R_W \quad (33)$$

Berechnet man den Gesamtwiderstand aus R_W nach [Gleichung 33](#), erhält man:

$$R_{ges,1} = (39,83 \pm 0,12) \Omega \quad (34)$$

Wobei die Unsicherheit folgendermaßen berechnet wird:

$$s_{R_{ges,1}} = \frac{5}{6} s_{R_W} \quad (35)$$

Verwendet man anstelle des gemessenen Werts für R_W den über den Farbcode angegebenen Wert

$$R_{W,lit} = (47,5 \pm 1\%) \Omega \quad (36)$$

erhält man für den Gesamtwiderstand:

$$R_{ges,2} = (39,6 \pm 0,4) \Omega \quad (37)$$

Der Gesamtwiderstand wurde zusätzlich über alle vier Diagonalen gemessen. Bildet man daraus das arithmetische Mittel erhält man für den Gesamtwiderstand und dessen Unsicherheit analog zu [Gleichung 32](#):

$$R_{\text{ges},3} = (40,75 \pm 0,17) \, \Omega \quad (38)$$

Zusätzlich zur direkten Messung des Widerstands, kann dieser auch über die Messung von Stromstärke I und Spannung U ermittelt werden. Daraus lässt sich mit [Gleichung 5](#) der jeweilige Widerstand berechnen. Das Einsetzen der Werte aus [Tabelle 4](#) ergibt:

$$R_{\text{AMM/DMM}} = (43,1 \pm 1,2) \, \Omega \quad (39)$$

$$R_{\text{DMM/AMM}} = (46,1 \pm 1,0) \, \Omega \quad (40)$$

Die Unsicherheiten werden mit den jeweiligen Unsicherheiten der Multimeter dabei nach Gaußscher-Fehlerfortpflanzung wie folgt berechnet:

$$s_R = \sqrt{\left(\frac{U}{I^2} s_I\right)^2 + \left(\frac{s_U}{I}\right)^2} \quad (41)$$

6 Diskussion

6.1 Arbeiten am Steckbrett

Teil 1:

Schaltet man eine LED in den Stromkreis, so leuchtet sie nur, wenn die Spannung richtig gepolt ist. Bei Umpolung der Spannung leuchtet die LED nicht mehr. Das liegt daran, dass sie aus einem n- und einem p-Dotierten Teil besteht, und somit die Bewegungsrichtung der Elektronen schon vorausgesetzt ist. Dies führt dazu, dass der Widerstand der LED für eine Richtung gegen Null und für die andere Richtung gegen unendlich geht. Schaltet man eine LED und eine Glühlampe in Reihe, so fließt der gleiche Strom durch LED und Glühlampe (Knotenregel). Nach [Gleichung 2](#) (Maschenregel) teilt sich die an dem Netzgerät angelegte Spannung zwischen LED und Glühlampe auf. Die Leistung die dann an der Glühbirne wirkt, ist hier zu klein, um die Glühlampe zum leuchten zu bringen und nur die LED leuchtet.

Da die theoretische Betrachtung einer LED mit einem Widerstand von Null Ohm in der Experimentalphysik nie realisiert werden kann, fällt der Widerstand bei der verwendeten LED Exponentiell mit steigender Spannung ab. In unserem Fall war die angelegte Spannung gerade so groß, dass der Strom sich bei einer Parallelschaltung von Glühlampe 1 und LED aufteilt und sowohl Glühlampe als auch LED leuchten. Bei der Parallelschaltung von Glühlampe 2 und LED ist der Widerstand von Glühlampe 2 sehr klein im Vergleich zu dem der LED und somit fließt der Strom hauptsächlich durch die Glühlampe. Diese leuchtet somit sehr hell, während die LED nur sehr schwach leuchtet.

Es fällt auf, dass bei der Reihenschaltung die Glühlampe mit dem größeren Widerstand heller leuchtet, da die Stromstärke nach den Kirchhoffschen Regeln bei beiden Lampen die gleiche ist, ergibt sich mit $U = RI$, dass die Spannung, die an der Glühlampe mit dem größeren Widerstand abfällt größer ist. Damit ist auch die Leistung $P = UI$ für diese Lampe größer und sie leuchtet heller.

Betrachtet man die beiden Glühlampen in Parallelschaltung, so ist die Spannung die an den beiden Lampen abfällt nach der Maschenregel die gleiche. Somit ist nach $I = U/R$ die Stromstärke der Glühlampe mit dem kleineren Widerstand größer und nach $P = UI$ auch ihre Leistung. Diese leuchtet also heller.

Schaltet man eine Glühlampe parallel zu einer Brücke ($R \rightarrow 0$), so geht der Strom der durch die Lampe fließt gegen Null und die Lampe leuchtet nicht.

Teil 2:

Für die Summe der Stromstärken wird nach [Gleichung 1](#) erwartet, dass gilt:

$$\sum I = 0 \text{ A} \quad (42)$$

Es wurde folgender Wert für die Summe der Stromstärken aus den gemessenen Werten berechnet:

$$I_{\text{sum}} = (-1 \pm 4) \text{ mA} \quad (43)$$

Vergleicht man das gemessene Ergebnis in Einheiten der Standardunsicherheit, so ergibt sich:

$$t_1 = \frac{|\sum I - I_{\text{sum}}|}{s_{I_{\text{sum}}}} = 0,2 \quad (44)$$

Das Ergebnis ist also mit dem berechneten Wert verträglich.

Auch für die Summe der gemessenen Spannungen wird nach der Maschenregel (vgl. [Gleichung 2](#)) erwartet:

$$\sum U = 0 \text{ V} \quad (45)$$

Aus den gemessenen Spannungswerten wurde folgender Wert berechnet:

$$U_{\text{sum}} = (0,06 \pm 0,07) \text{ V} \quad (46)$$

Vergleicht man den berechneten und den erwarteten Wert in Einheiten der Standardunsicherheit, so ergibt sich:

$$t_2 = \frac{|\sum U - U_{\text{sum}}|}{s_{U_{\text{sum}}}} = 0,9 \quad (47)$$

Auch dieser Wert ist demnach mit dem erwarteten Ergebnis verträglich. Die Kirchhoffschen Regeln können somit durch den Versuch bestätigt werden.

Teil 3:

Für die drei Schaltkreise wurden folgende Werte gemessen und folgende aus den Einzelwiderständen berechnet:

Stromkreis	gemessener Widerstand	berechneter Widerstand	Prozentuale Abweichung
1	143,0 Ω	(143,6 $\pm$ 0,8) Ω	0,4%
2	8,0 Ω	(7,65 $\pm$ 0,07) Ω	4,6%
3	191,9 Ω	(192,4 $\pm$ 1,0) Ω	2,6%

Tabelle 5: Zusammenfassung der berechneten und gemessenen Widerstandswerte für die drei Schaltkreise, mit prozentualer Abweichung

In der obigen Tabelle sind außerdem die prozentualen Abweichungen eingetragen. Diese sind alle sehr klein, was die Berechnung der Gesamtwiderstände nach [Gleichung 3](#) und [Gleichung 4](#) gerechtfertigt.

6.2 Widerstandswürfel

Für den Mittelwert der Einzelwiderstände wurde folgender Wert berechnet:

$$R_W = (47,79 \pm 0,14) \Omega \quad (48)$$

Der durch den Farbcode angegebene Wert des verwendeten Widerstands ist:

$$R_{W,\text{lit}} = (47,5 \pm 1\%) \Omega = (47,5 \pm 0,5) \Omega \quad (49)$$

Vergleicht man die beiden Werte in Einheiten der Unsicherheiten, erhält man:

$$t_W = 0,6 \quad (50)$$

Die beiden Werte sind demnach miteinander verträglich. Es fällt allerdings auf, dass alle Einzelwiderstände mindestens so groß wie der angegebene Wert sind, was für eine systematische Abweichung spricht.

Für den Gesamtwiderstand des Würfels wurden folgende fünf Werte auf verschiedene Weisen bestimmt:

$$\begin{aligned} R_{\text{ges},1} &= (39,83 \pm 0,12) \Omega \\ R_{\text{ges},2} &= (39,6 \pm 0,4) \Omega \\ R_{\text{ges},3} &= (40,75 \pm 0,17) \Omega \\ R_{\text{AMM}/\text{DMM}} &= (43,1 \pm 1,2) \Omega \\ R_{\text{DMM}/\text{AMM}} &= (46,1 \pm 1,0) \Omega \end{aligned} \quad (51)$$

Berechnet man daraus für die ersten drei Werte die Abweichungen in Einheiten der Standardunsicherheiten erhält man folgende Werte:

$$\begin{aligned} t_{12} &= 0,6 \\ t_{13} &= 4 \\ t_{23} &= 3 \end{aligned} \quad (52)$$

Die beiden theoretisch berechneten Werte für den Gesamtwiderstand sind demnach miteinander verträglich. Allerdings sind sie beide nicht mit dem Mittelwert der gemessenen Gesamtwiderstände $R_{\text{ges},3}$ verträglich. Die absolute Abweichung ist allerdings relativ klein, weshalb eine Wahl etwas größerer Unsicherheiten zu verträglichen Ergebnissen führen würde.

Die beiden aus den Strom- und Spannungsmessungen erhaltenen Werte für den Gesamtwiderstand des Würfels weichen sowohl zu den theoretisch berechneten Werten, als auch gegenüber dem gemessenen Widerstand deutlich nach oben ab. Diese systematische Abweichung wird möglicherweise durch die Messmethode bedingt, da die beiden Messgrößen bei gleichzeitiger Strom- und Spannungsmessung aufgrund der nicht erfüllten Idealbedingungen (Widerstand des Ampèremeters verschwindet, Widerstand des Voltmeters ist unendlich groß) wahrscheinlicher korreliert sind.

Der Wert, der durch die direkte Messung des Gesamtwiderstands erhalten wurde scheint am sinnvollsten als Gesamtwiderstand anzugeben zu sein. Zum einen könnten beim Löten des Würfels Fehler aufgetreten sein, weshalb der Widerstand sich vom theoretischen Wert unterscheidet und zum anderen liegt der Wert etwa in der Mitte der fünf erhaltenen Gesamtwiderstände.

7 Anhang

7.1 Widerstandswürfel

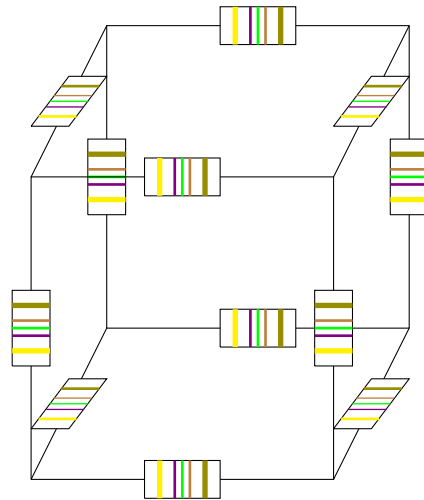


Abbildung 6: Widerstandswürfel

Um den Gesamtwiderstand des Würfels über eine Würfel diagonale zu berechnen wird folgenderder Ersatzschaltplan verwendet:

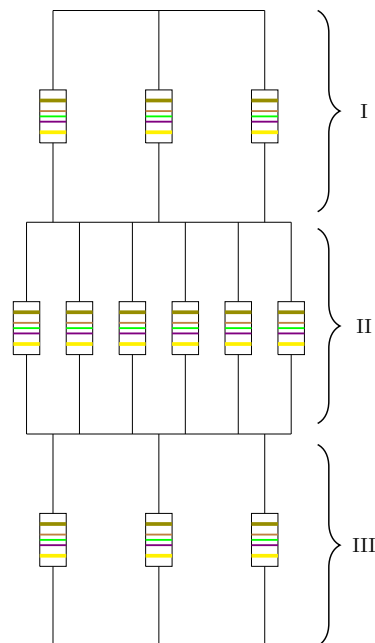


Abbildung 7: Ersatzschaltplan Widerstandswürfel

In den Bereichen I-III sind die dargestellten Widerstände jeweils parallel geschaltet. Für den Gesamtwiderstand der einzelnen Abschnitte ergibt sich nach [Gleichung 4](#):

$$\begin{aligned}R_{\text{I}} &= \frac{1}{3}R \\R_{\text{II}} &= \frac{1}{6}R \\R_{\text{III}} &= \frac{1}{3}R\end{aligned}\tag{53}$$

Die drei Bereiche sind wiederum in Reihe geschaltet. Der Gesamtwiderstand berechnet sich mit [Gleichung 3](#) und den Einzelwiderständen aus [Gleichung 53](#):

$$R_{\text{ges}} = R_{\text{I}} + R_{\text{II}} + R_{\text{III}} = \frac{1}{6}R + \frac{1}{3}R + \frac{1}{6}R = \frac{5}{6}R\tag{54}$$

7.2 Laborheft

Versuch 44: Spannung, Strom und Widerstandsnetzwerke

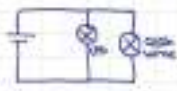
Teil 1: Arbeiten am Steckbrett

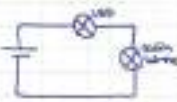
a) Digitales Multimeter

Einstellung: 20 V $U_{\max} = 9,97 \text{ V}$
 2 A $I_{\max} = 0,203 \text{ A}$

b) Digitales Multimeter

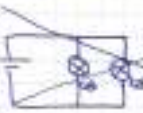
 → Die Lampe leuchtet, bei Umpolung leuchtet sie nicht mehr (LED)

 → Beide Lampen leuchten, jedoch eine heller
 → ~~Beide Lampen leuchten, genauso~~ als andere und hell wie vorher beide Schwoicher als alleine

 → LED leuchtet hell andere gar nicht!
 zieht man die LED durch andere Glühlampe:
 eine leuchtet schwächer als andere.
 → Beide leuchten weniger hell als alleine.

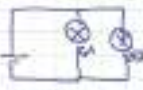
Widerstandsmessungen:

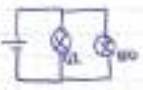
	Multimeter	Widerstand R
LED		
"helle" Glühlampe 1	200Ω	$12,0 \Omega$
"dunkle" Glühlampe 2	200Ω	$1,9 \Omega$

 → keine LED

In Parallelschaltung: Glühlampe 2 heller als Glühlampe 1
 In Reihenschaltung: Glühlampe 1 heller als Glühlampe 2

Parallelschaltung:

 → beide leuchtet sehr hell, fast wie alleine

 → G1 leuchtet, LED leuchtet kaum

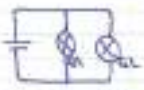
 → G1 leuchtet (dunkler als alleine), G1 leuchtet kaum

Abbildung 8: Laborheftseite 1

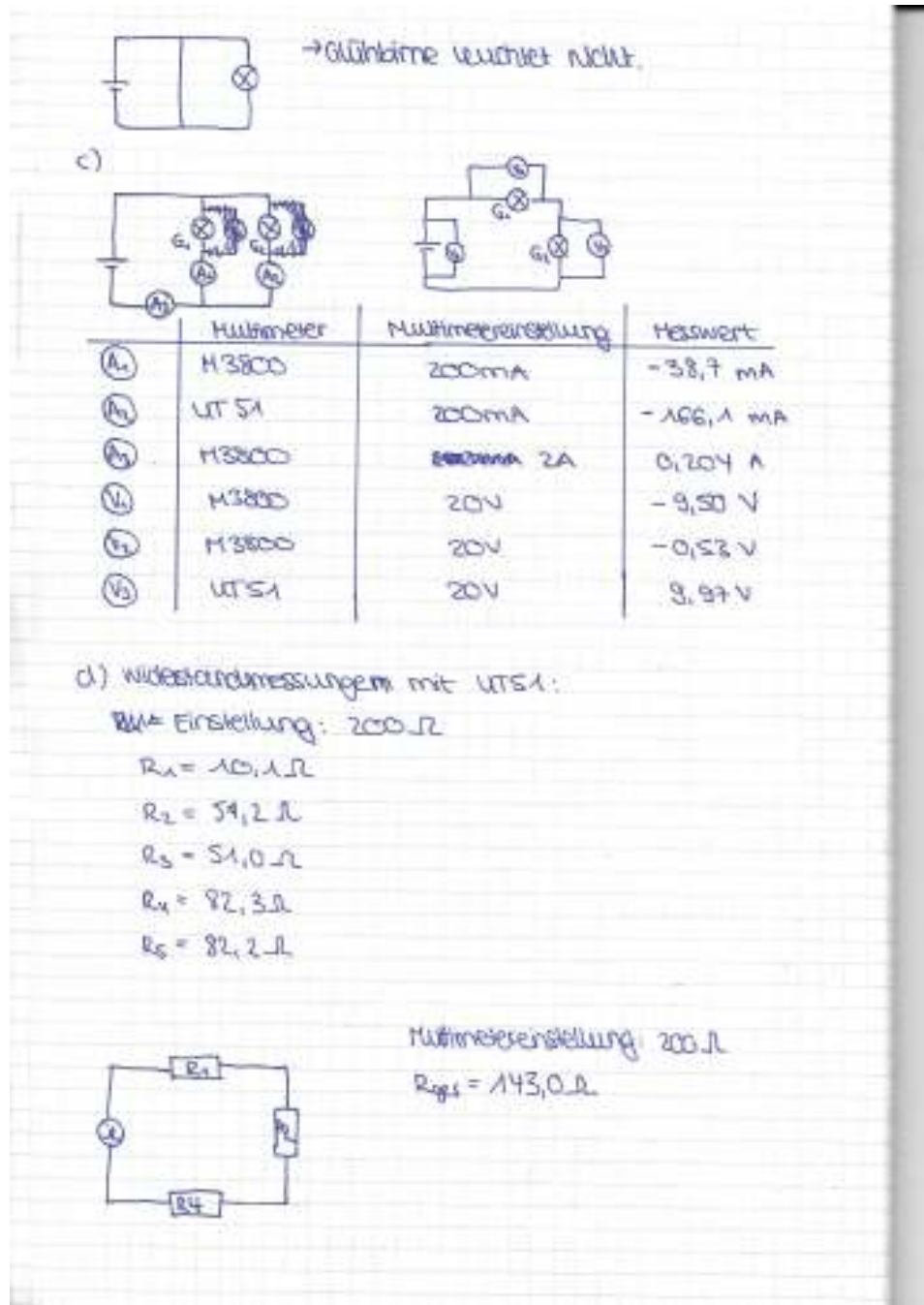


Abbildung 9: Laborheftseite 2

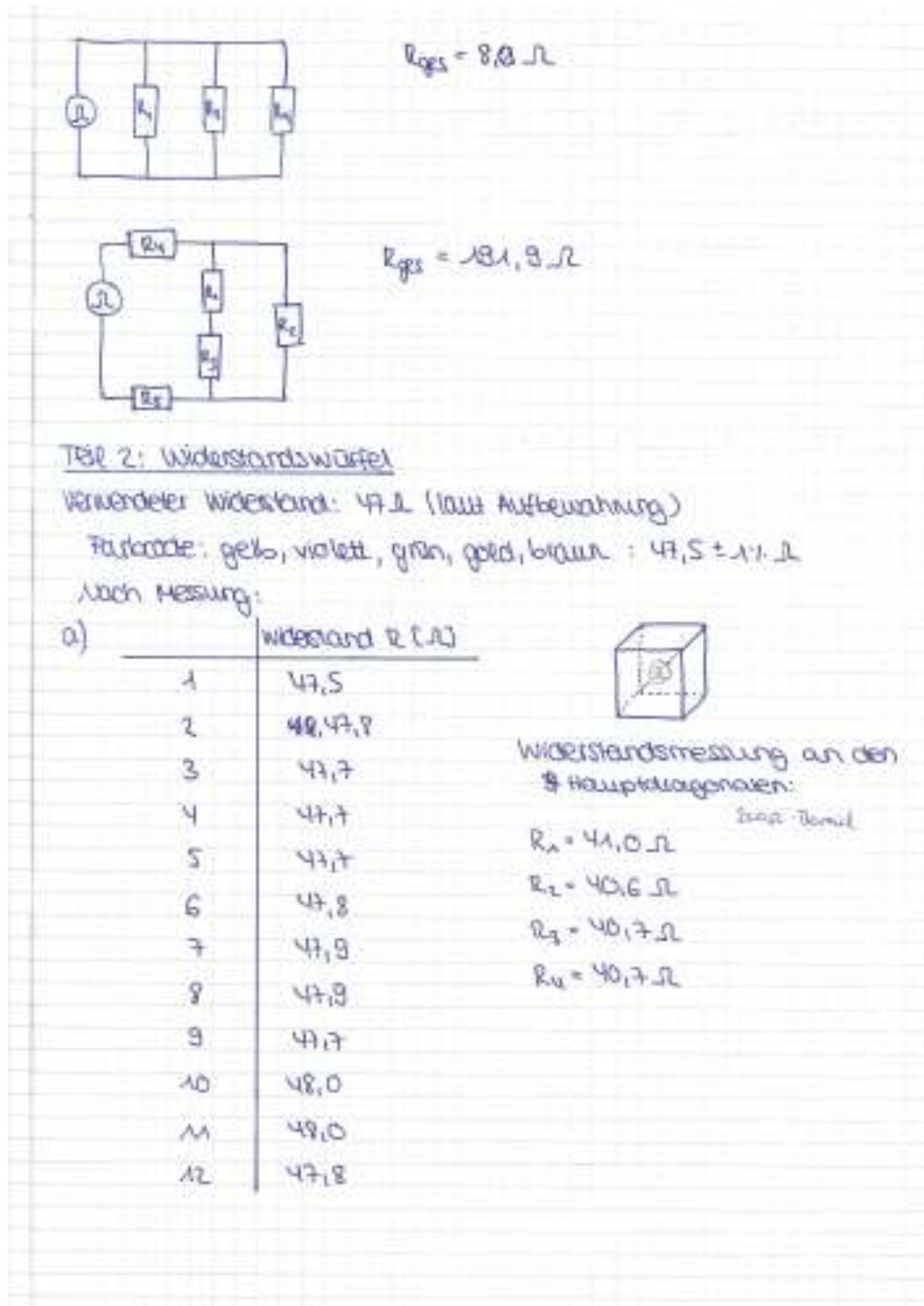


Abbildung 10: Laborheftseite 3

b) AMM fließender Strom Einstellung 0,3A
DMH Spannung 20V
 $I = 13,8 \text{ mA} / 21,38 \text{ A} / 0,216$
 $U = 9,27 \text{ V}$

c) AMM Spannung Einstellung: 30V
DMH Strom 2A
 $I = 0,201 \text{ A}$
 $U = 9,3 \text{ V}$

Unsicherheiten Analoges Multimeter:

$$S_U = 0,1 \text{ V}$$

$$S_I = 0,005 \text{ A}$$

13.03.2020
M. S. R.

Abbildung 11: Laborheftseite 4

Literaturverzeichnis

[1] Versuchsanleitungen, Physik Labor für Anfänger Teil 2, Universität Freiburg

