ESK – Elektrische Stromkreise
Auswertung

Yudong Sun
Gruppe F2-2

17. August 2020

Teilversuch 1: Belastungsabhängigkeit zweier Spannungsquellen

Leerlaufspannung vorher $U_0 = (1{,}365 \pm 0{,}008)\,\mathrm{V}$
Leerlaufspannung nachher $U_1 = (1{,}354 \pm 0{,}008)\,\mathrm{V}$

Fehler bei der Strommessung $\Delta I = \pm 0{,}8\%$ Messwert + 1 Digit
Fehler bei der Spannungmessung $\Delta I = \pm 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit

I/mA	10,6	13,4	16,2	19,1	21,9	24,8	27,5	30,6	33,1	35,9	38,7
U/V	1,332	1,322	1,317	1,312	1,308	1,303	1,300	1,294	1,290	1,286	1,282

Die Daten wurden mit `gnuplot` geplottet und es wurde eine Kurvenanpassung zur $U = mI + c$ durchgeführt. Die entsprechenden Fehler sind im `gnuplot` direkt berechnet. Für die genaue Rechnung, siehe Appendix A.1.

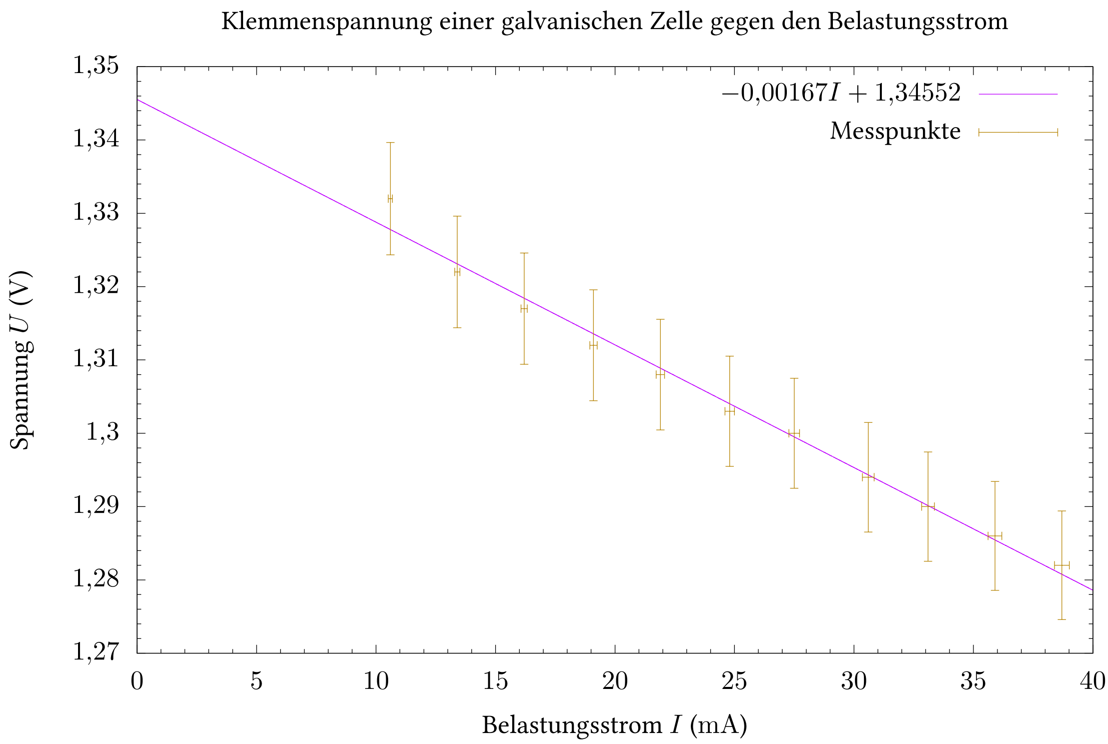


Abbildung 1.1: Belastungsabhängigkeit einer galvanischen Zelle
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}052\,502\,6 \implies$ Gute Anpassung

Als Endergebnis erhalten wir:

Variable	Wert	Gerundet
m	$(-1{,}673\,33 \pm 0{,}058\,45) \cdot 10^{-3}\,\mathrm{k\Omega}$	$(-1{,}67 \pm 0{,}06)\,\Omega$
c	$(1{,}345\,52 \pm 0{,}001\,55)\,\mathrm{V}$	$(1{,}3455 \pm 0{,}0016)\,\mathrm{V}$

Aus Gleichung (7) der Anleitung entspricht die Steigung m den Innenwiderstand R_i, also ist der Innenwiderstand $R_i = 1{,}67\,\Omega$.

Die extraploierte Leerlaufspannung ist gegeben durch $U_q = (1{,}3455 \pm 0{,}0016)\,\mathrm{V}$, was kleiner als die gemessene Leerlaufspannung ist. Das ist vermütlich wegen der nicht vernachlässigbaren Widerstand des als Amperemeter benutzten Multimeters.

Für das Netzgerät ergibt sich das folgende Verhältnis:

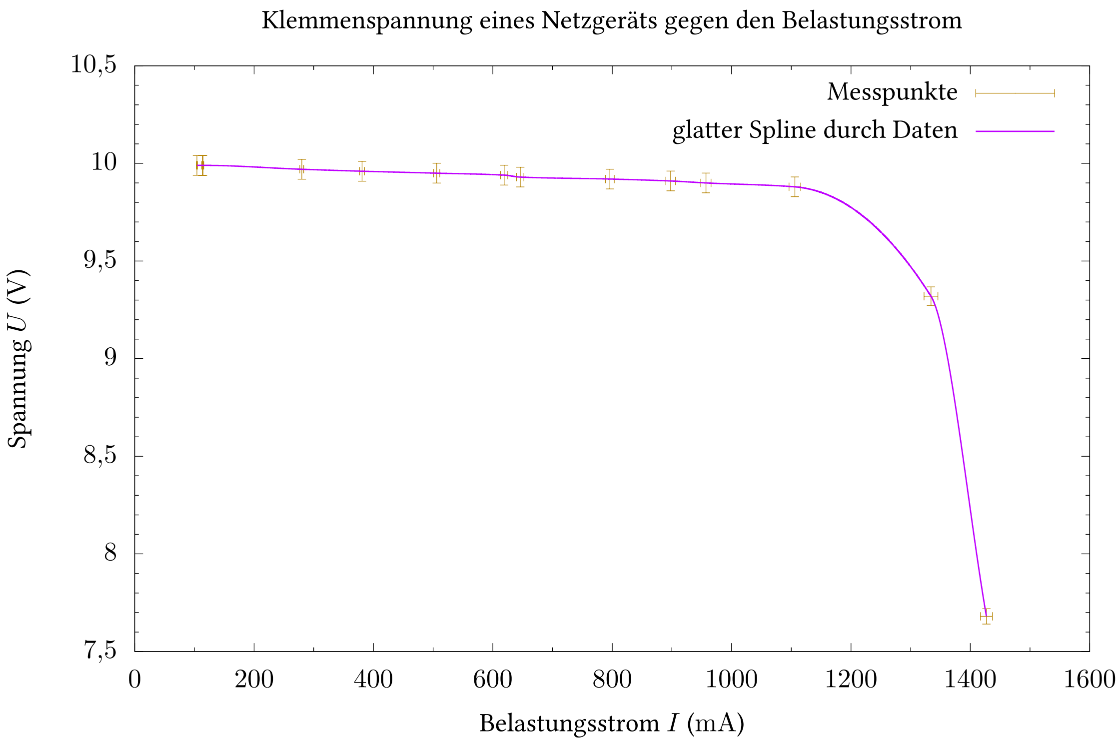


Abbildung 1.2: Belastungsabhängigkeit eines Netzgerät

Für einen Belastungsstrom unterhalb ca. $1{,}1\ \mathrm{A}$ ist die Spannung relativ stabil, was bei der galvanischen Zelle nicht der Fall ist. Danach gibt es eine deutliche Sprung bei ca. $1{,}3\ \mathrm{A}$ und die nimmt stetig Spannung stetig ab.

Mit dem Netzgerät gibt es also eine Belastungsgrenze, nachdem das Netzgerät keine stabile Spannung behalten kann. Mit der galvanische Zelle gibt es überhaupt keine stabile Spannung und wird je nach Belastungsstrom unterschiedliche Spannung liefern.

Es gibt diese Unterschied, weil das Netzgerät von elektronischen Mitteln geregelt ist und theoretisch beliebig viel Strom vom Stromnetz ziehen kann (im Praxis gibt es eine obere Schranke), um die Ausgangsspannung aufrechtszuerhalten. Das Netzgerät ist also eine stabilierte Spannungsquelle. Bei der galvanische Zelle gibt es aber nur die Spannung aus dem gespeicherten chemischen Potential, deshalb sinkt die Spannung mit steigendem Strom.

Teilversuch 2: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes

Fehler bei der Spannungsmessung $\Delta U = \pm 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit
Fehler bei der Strommessung $\Delta I = \pm 0{,}8\%$ Messwert + 1 Digit

U/V	2,07	4,08	6,01	8,02	10,06	12,15	14,14	16,09	18,02	19,99
I/mA	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,3	4,8	5,4	6,0

Die Daten wurden mit `gnuplot` geplottet und es wurde eine Kurvenanpassung zur $U = mI + c$ durchgeführt. Die entsprechenden Fehler sind im `gnuplot` direkt berechnet. Für die genaue Rechnung, siehe Appendix B.

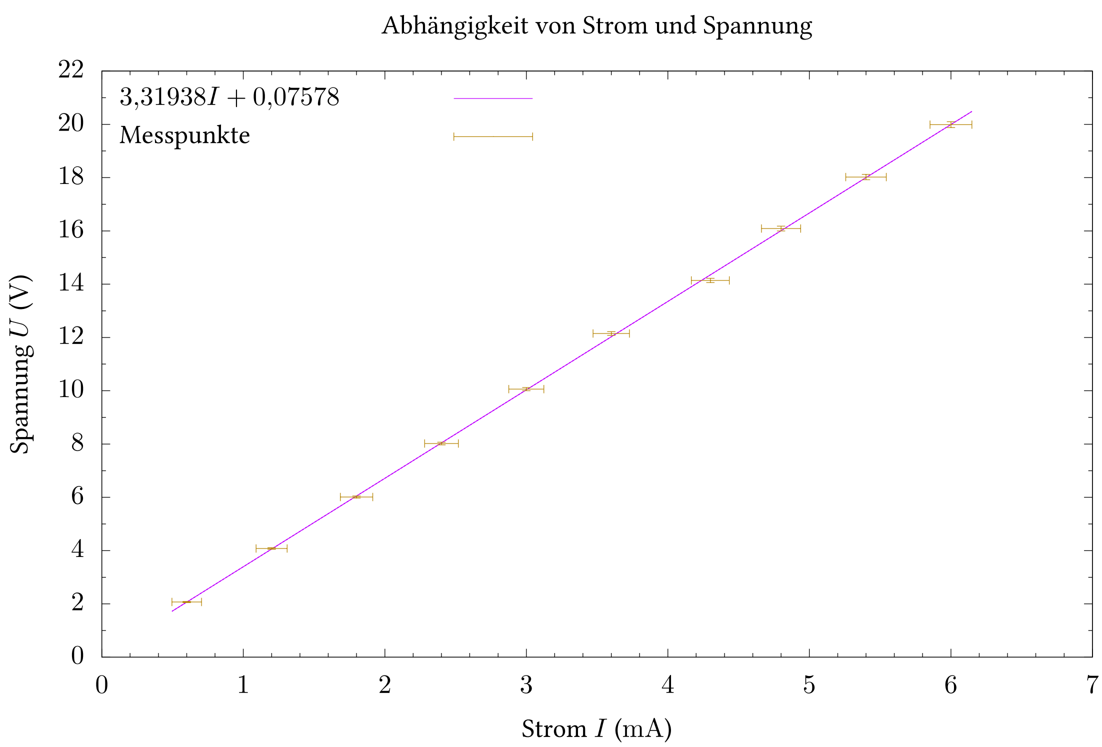


Abbildung 2.1: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}043\,585\,6 \implies$ Gute Anpassung

Als Endergebnis erhalten wir:

Variable	Wert	Gerundet
m	$(3{,}3194 \pm 0{,}0161)\,\mathrm{k\Omega}$	$(3{,}319 \pm 0{,}017)\,\mathrm{k\Omega}$
c	$(0{,}075\,78 \pm 0{,}054\,24)\,\mathrm{V}$	$(0{,}08 \pm 0{,}06)\,\mathrm{V}$

Aus der Anleitung gilt das Ohmsche Gesetz:

$$U = IR \tag{2.1}$$

Also ist die Steigung den Widerstandwert und es gilt: $R = (3{,}319 \pm 0{,}017)\,\mathrm{k\Omega}$. Den Ordinateabschnitt vernachlässigen wir in diesem Fall, weil es sehr klein ist und die Theorie 0 als Ordinateabschnitt liefert.

Zusammengefasst haben wir:

Quelle	Widerstandswert
Hersteller	$(3{,}30 \pm 0{,}04)\,\mathrm{k\Omega}$
Multimeter	$(3{,}290 \pm 0{,}027)\,\mathrm{k\Omega}$
Steigung	$(3{,}319 \pm 0{,}017)\,\mathrm{k\Omega}$

Das Fehlerintervall aller 3 Widerstandswerten überschneiden sich paarweise miteinander. Die 3 Widerstandswerten stimmen folglich miteinander überein.

Teilversuch 3: Spannungsabfall und Potentiometer

Fehler bei dem Skalawert $\Delta x = 0{,}5$ Schritt
Fehler bei der Spannungmessung $\Delta U = 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit

Skalawert x/Schritt	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	0
Helipot U/V	10,03	9,02	8,01	7,02	6,01	5,01	4,01	3,01	2,01	1,01	0,01
Netzgerät U_0/V	10,03	10,03	10,03	10,03	10,02	10,02	10,02	10,02	10,02	10,02	10,02

Die Daten wurden mit `gnuplot` geplottet und es wurde eine Kurvenanpassung zur $U = mx + c$ durchgeführt. Die entsprechenden Fehler sind im `gnuplot` direkt berechnet. Für die genaue Rechnung, siehe Appendix C.

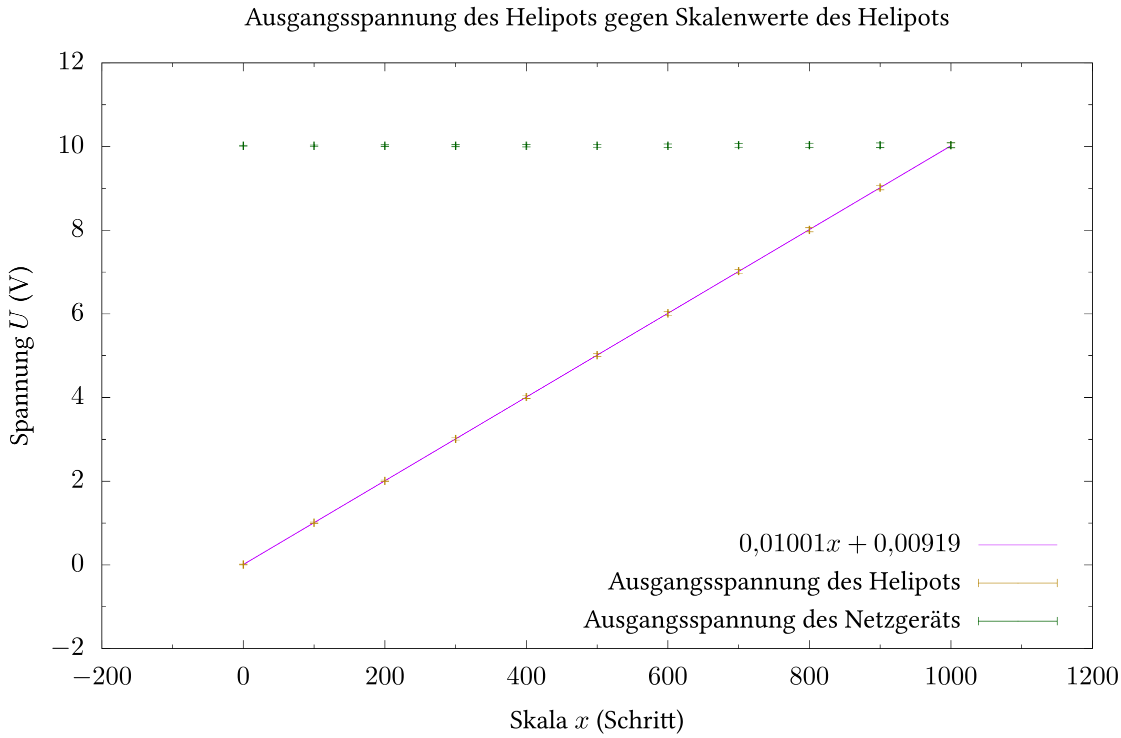


Abbildung 3.1: Spannungsabfall im Abhängigkeit from Skalenwert des Helipots
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}012\,133\,8 \implies$ Gute Anpassung

Als Endergebnis erhalten wir:

Variable	Wert	Gerundet
m	$(0{,}010\,007\,9 \pm 0{,}000\,003\,3)$ V Schritt^{-1}	$(0{,}010\,008 \pm 0{,}000\,004)$ V Schritt^{-1}
c	$(0{,}009\,189 \pm 0{,}001\,003)$ V	$(0{,}0092 \pm 0{,}0011)$ V

Aus der Anleitung gilt aus

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{3.1}$$

dass

$$U = \frac{x}{x_0} U_0 = \frac{U_0}{x_0} x \tag{3.2}$$

Also ist die Spannung linear bezüglich x. Das ist tatsächlich was wir im Teilversuch 3(b) beobachtet haben. In Abbildung 3.1 ist diese lineare verhältnis klar veranschaulicht.

Im Teilversuch 3(a) haben wir als Messungen:

10 cm Messung	
Messung 1	$(0{,}615 \pm 0{,}005)$ V
Messung 2	$(0{,}607 \pm 0{,}005)$ V
Messung 3	$(0{,}613 \pm 0{,}005)$ V

Messungen 1 und 2 stimmt miteinander überein, und Messung 2 ist paarweise verträglich mit der anderen zwei Messungen, also ist die Spannungsabfall wie erwartet unabhängig davon, welchen Teil des Drahtes wir messen, sondern nur auf die Länge des gemessenes Teil.

Weiterhin haben wir für verschiedene Länge die Spannungsabfall gemessen. Das Ergebnis ist auch wie erwartet: Der Spannungsabfall steigt linear mit zunehmende Länge, und zwar etwa $0{,}6$ V je 10 cm:

Länge	Spannung
$(20{,}0 \pm 0{,}4)$ cm	$(1{,}167 \pm 0{,}007)$ V
$(40{,}0 \pm 0{,}4)$ cm	$(2{,}370 \pm 0{,}022)$ V
$(60{,}0 \pm 0{,}4)$ cm	$(3{,}630 \pm 0{,}029)$ V
$(80{,}0 \pm 0{,}4)$ cm	$(4{,}86 \pm 0{,}04)$ V
$(90{,}0 \pm 0{,}4)$ cm	$(5{,}50 \pm 0{,}04)$ V

Es ist auch im Versuch 3(a) beobachtet, dass der Draht warm wird, wenn Strom durch ihn fließt. Das ist ein gutes Kennzeichen dafür, dass es einen Spannungsabfall im Draht gibt. Spannung ist Arbeit pro Ladung. In diesem Fall ist die Energie einer Ladung ins Wärme umgewandelt und somit entsteht einen Potentialdifferenz im Draht. Fühlt man keine wärme (bspw. in Bananenkabeln), dann gibt es oft auch keinen oder nur wenig Spannungsabfall im Draht.

Teilversuch 4: Spannungsmessung durch Kompensation

Kalibrieren der Konpensationsanordnung

Seien die Spannung des Netzgeräts U_0 und die Spannung des Spannungsneutral U_N. Seien ferner, dass R_0 die Widerstand des ganzen Helipots ($x = x_0 = 1000$ Schritte) ist und R_N die Widerstand des Teil des Helipots (x_N Schritte) ist, wobei die Nullinstrument auf Null zeigt.

Aus Kapital 1.5 der Anleitung gilt dann das folgende Verhältnis:

$$U_0 = \frac{R_0}{R_N} U_N \tag{4.1}$$

Da R proportional zur Anzahl der Schritten auf dem Helipot ist, gilt auch:

$$U_0 = \frac{x_0}{x_N} U_N \tag{4.2}$$

mit dem entsprechen Fehler:

$$\Delta U_0 = U_0 \sqrt{\left(\frac{\Delta x_0}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_N}{x_N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_N}{U_N}\right)^2} \tag{4.3}$$

Als Messwerten haben wir:

Variable	Wert	Bedeutung
x_0	$(1000{,}0 \pm 0{,}5)$ Schritt	Helipot Max Schritte
x_N	$(537{,}0 \pm 0{,}5)$ Schritt	Helipotwert bei ausgeglichene Spannung
U_N	$(1{,}0000 \pm 0{,}0001)$ V	Normalspannung

Es gibt außerdem einen Ablesungsfehler bei der Nullinstrument von $\pm 0{,}025\,\mathrm{mA}$. Es ist aber schwer diesen Fehler in unserer Berechnung zu berücksichtigen, da es nicht explizit vorkommt. Wir machen hier deshalb eine grobe Abschätzung nach Erfahrungen und den Fehler bei dem Helipotwert erhöhen:

Variable	Wert	Bedeutung
x_0	$(1000{,}0 \pm 0{,}5)$ Schritt	Helipot Max Schritte
x_N	(537 ± 2) Schritt	Helipotwert bei ausgeglichene Spannung
U_N	$(1{,}0000 \pm 0{,}0001)$ V	Normalspannung

Somit ergibt sich

$$U_0 = \frac{1000}{537} \times 1{,}0000\,\mathrm{V} = 1{,}862\,20\,\mathrm{V} \quad \text{(6 sig. Zif.)} \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}\Delta U_0 &= \frac{1000}{537} \times 1{,}0000\,\mathrm{V} \times \sqrt{\left(\frac{0.5}{1000{,}0}\right)^2 + \left(\frac{2}{537}\right)^2 + \left(\frac{0.0001}{1{,}0000}\right)^2} \\ &= 7{,}000\,26 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{V} \quad \text{(6 sig. Zif.)}\end{aligned} \tag{4.5}$$

eine Spannung von $U_0 = (1{,}862 \pm 0{,}008)$ V.

Wenn man den Fehler bei der Spannungsnormal vernachlässigen, dann haben wir:

$$\begin{aligned}\Delta U_0 &= \frac{1000}{537} \times 1{,}0000\,\mathrm{V} \times \sqrt{\left(\frac{0.5}{1000{,}0}\right)^2 + \left(\frac{2}{537}\right)^2} \\ &= 6{,}997\,78 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{V} \quad \text{(6 sig. Zif.)}\end{aligned} \tag{4.6}$$

Aufgerundet haben wir einen Fehler von $7 \cdot 10^{-3}$ V, was kleiner als den ursprunglich berechneten Fehler. Diese Unsicherheit ist aber in der 3. Nachkommastelle, was den Wert nicht viel ändert. Somit kann man den Fehler in der Spannungsnormal vernächlassigen, wenn man sowieso nicht mehr als 2 Nachkommastellen braucht.

Klemmungspannung einer galvanische Zelle

: Sei U_G die Klammungspannung der galvanische Zelle, dann gilt aus (4.2):

$$U_0 = \frac{x_0}{x_G} U_G \quad \Leftrightarrow \quad U_G = \frac{x_G}{x_0} U_0 \tag{4.7}$$

mit dem entsprechenden Fehler:

$$\Delta U_G = U_G \sqrt{\left(\frac{\Delta x_0}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_G}{x_G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_0}{U_0}\right)^2} \tag{4.8}$$

Wir machen wieder die grobe Abschätzung:

Variable	Wert	Bedeutung
U_0	$(1{,}862 \pm 0{,}008)$ V	Spannung des Netzgeräts
x_0	(1000,0 $\pm$ 0,5) Schritt	Helipot Max Schritte
x_G	(728 $\pm$ 2) Schritt	Helipotwert bei ausgeglichene Spannung

und erhalten:

$$U_G = \frac{728}{1000} \times 1{,}826\,\mathrm{V} = 1{,}329\,33\,\mathrm{V} \qquad \text{(6 sig. Zif.)} \tag{4.9}$$

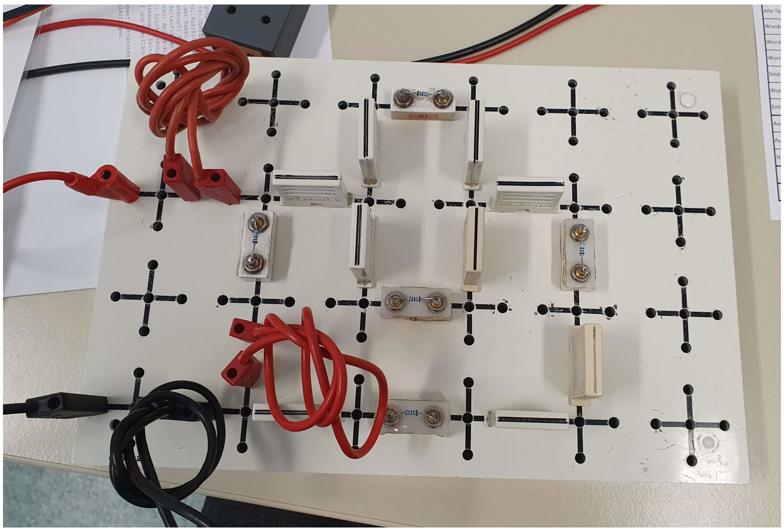
$$\begin{aligned}\Delta U_0 &= \frac{728}{1000} \times 1{,}826\,\mathrm{V} \times \sqrt{\left(\frac{0.5}{1000{,}0}\right)^2 + \left(\frac{2}{728}\right)^2 + \left(\frac{0.008}{1{,}862}\right)^2} \\ &= 6{,}811\,68 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{V} \qquad \text{(6 sig. Zif.)}\end{aligned} \tag{4.10}$$

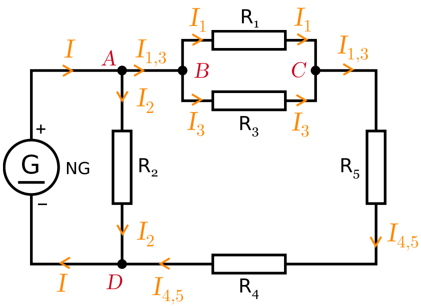
eine Spannung von $U_G = (1{,}329 \pm 0{,}007)\,\mathrm{V}$.

Im Vergleich zu dem Ergebnis aus Teilversuch 1 ist das erhaltene U_G kleiner geworden. Es könnte sein, dass die galvanische Zelle durch das Kompensationsprozess mit Strombelastet geworden ist, sodass die Klemmungspannung somit kleiner geworden ist. Diese bestimmte Spannung kann als Leerlaufspannung bezeichnet werden, da kein Strom durch die Zelle fließt.

Teilversuch 5: Bestätigung der Kirchhoffschen Sätze

Versuchsaufbau:





I	$(2{,}70 \pm 0{,}13)\,\mathrm{mA}$
I_1	$(0{,}60 \pm 0{,}11)\,\mathrm{mA}$
I_2	$(1{,}40 \pm 0{,}12)\,\mathrm{mA}$
I_3	$(0{,}70 \pm 0{,}11)\,\mathrm{mA}$
$I_{4,5}$	$(1{,}30 \pm 0{,}12)\,\mathrm{mA}$
$I_{1,3}$	$(1{,}30 \pm 0{,}12)\,\mathrm{mA}$

Knoten A

Es gilt aus der Knotenregel:

$$S = I - I_{1,3} - I_2 = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{(\Delta I)^2 + \left(\Delta I_{1,3}\right)^2 + (\Delta I_2)^2} \tag{5.1}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 2{,}70\,\mathrm{mA} - 1{,}30\,\mathrm{mA} - 1{,}40\,\mathrm{mA} = 0\,\mathrm{mA} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}13\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2} = 0{,}22\,\mathrm{mA} \\ \Rightarrow S &= (0{,}00 \pm 0{,}22)\,\mathrm{mA} \end{aligned}$$

Also gilt die Knotenregel.

Knoten B

Es gilt aus der Knotenregel:

$$S = I_{1,3} - I_1 - I_3 = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{\left(\Delta I_{1,3}\right)^2 + \left(\Delta I_1\right)^2 + \left(\Delta I_3\right)^2} \tag{5.2}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 1{,}30\,\mathrm{mA} - 0{,}60\,\mathrm{mA} - 0{,}70\,\mathrm{mA} = 0\,\mathrm{mA} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}11\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}11\,\mathrm{mA})^2} = 0{,}20\,\mathrm{mA} \\ \Rightarrow S &= (0{,}00 \pm 0{,}20)\,\mathrm{mA} \end{aligned}$$

Also gilt die Knotenregel.

Knoten C

Es gilt aus der Knotenregel:

$$S = I_1 + I_3 - I_{1,3} = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{\left(\Delta I_1\right)^2 + \left(\Delta I_3\right)^2 + \left(\Delta I_{1,3}\right)^2} \tag{5.3}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 0{,}60\,\mathrm{mA} + 0{,}70\,\mathrm{mA} - 1{,}30\,\mathrm{mA} = 0\,\mathrm{mA} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}11\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}11\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2} = 0{,}20\,\mathrm{mA} \\ \Rightarrow S &= (0{,}00 \pm 0{,}20)\,\mathrm{mA} \end{aligned}$$

Also gilt die Knotenregel.

Knoten D

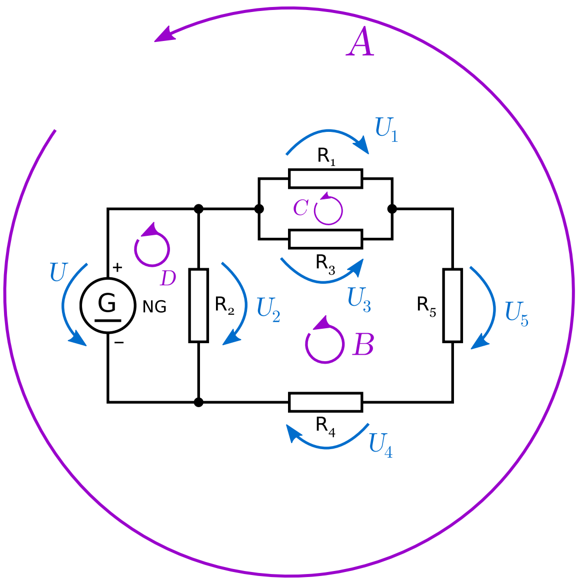
Es gilt aus der Knotenregel:

$$S = I_2 + I_{4,5} - I = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{\left(\Delta I_2\right)^2 + \left(\Delta I_{4,5}\right)^2 + \left(\Delta I\right)^2} \tag{5.4}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 1{,}40\,\mathrm{mA} + 1{,}30\,\mathrm{mA} - 2{,}70\,\mathrm{mA} = 0\,\mathrm{mA} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}12\,\mathrm{mA})^2 + (\Delta 0{,}13\,\mathrm{mA})^2} = 0{,}22\,\mathrm{mA} \\ \Rightarrow S &= (0{,}00 \pm 0{,}22)\,\mathrm{mA} \end{aligned}$$

Also gilt die Knotenregel.



U	$(10{,}04 \pm 0{,}07)\,\mathrm{V}$
U_1	$(1{,}974 \pm 0{,}011)\,\mathrm{V}$
U_2	$(10{,}04 \pm 0{,}07)\,\mathrm{V}$
U_3	$(1{,}974 \pm 0{,}011)\,\mathrm{V}$
U_4	$(2{,}910 \pm 0{,}025)\,\mathrm{V}$
U_5	$(5{,}16 \pm 0{,}04)\,\mathrm{V}$

Masche A

Es gilt aus der Maschenregel:

$$S = U - U_4 - U_5 - U_{1/3} = U - U_4 - U_5 - U_1 = 0 \tag{5.5}$$

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_4)^2 + (\Delta U_5)^2 + (\Delta U_1)^2} \tag{5.6}$$

Nach Substitution:

$$S = 10{,}04\,\mathrm{V} - 2{,}910\,\mathrm{V} - 5{,}16\,\mathrm{V} - 1{,}974\,\mathrm{V} = -0{,}004\,\mathrm{V}$$

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta 0{,}07\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}025\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}04\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}011\,\mathrm{V})^2} = 0{,}09\,\mathrm{V}$$

$$\Rightarrow S = (0{,}00 \pm 0{,}09)\,\mathrm{V}$$

Also gilt die Maschenregel.

Masche B

Es gilt aus der Maschenregel:

$$S = U_2 - U_4 - U_5 - U_{1/3} = U_2 - U_4 - U_5 - U_1 = 0 \tag{5.7}$$

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta U_2)^2 + (\Delta U_4)^2 + (\Delta U_5)^2 + (\Delta U_1)^2} \tag{5.8}$$

Nach Substitution:

$$S = 10{,}04\,\mathrm{V} - 2{,}910\,\mathrm{V} - 5{,}16\,\mathrm{V} - 1{,}974\,\mathrm{V} = -0{,}004\,\mathrm{V}$$

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta 0{,}07\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}025\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}04\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}011\,\mathrm{V})^2} = 0{,}09\,\mathrm{V}$$

$$\Rightarrow S = (0{,}00 \pm 0{,}09)\,\mathrm{V}$$

Also gilt die Maschenregel.

Masche C

Es gilt aus der Maschenregel:

$$S = U_3 - U_1 = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{(\Delta U_3)^2 + (\Delta U_1)^2} \tag{5.9}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 1{,}974\,\mathrm{V} - 1{,}974\,\mathrm{V} = 0{,}000\,\mathrm{V} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}011\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}011\,\mathrm{V})^2} = 0{,}016\,\mathrm{V} \\ \Rightarrow S &= (0{,}000 \pm 0{,}016)\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

Also gilt die Maschenregel.

Masche D

Es gilt aus der Maschenregel:

$$S = U - U_2 = 0 \qquad \Delta S = \sqrt{(\Delta U)^2 + (\Delta U_2)^2} \tag{5.10}$$

Nach Substitution:

$$\begin{aligned} S &= 10{,}04\,\mathrm{V} - 10{,}04\,\mathrm{V} = 0{,}00\,\mathrm{V} \\ \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0{,}07\,\mathrm{V})^2 + (\Delta 0{,}07\,\mathrm{V})^2} = 0{,}10\,\mathrm{V} \\ \Rightarrow S &= (0{,}00 \pm 0{,}10)\,\mathrm{V} \end{aligned}$$

Also gilt die Maschenregel.

A gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 1

A.1 Galvanische Zelle

```
#!/usr/bin/env gnuplot

set term epslatex color size 6in, 4in
set output "tv1-plot.tex"
set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'

set title "Klemmenspannung einer galvanischen Zelle gegen den Belastungsstrom"
set ylabel "Spannung $U$ ($\\si{\\volt}$)"
set xlabel "Belastungsstrom $I$ ($\\si{\\milli\\ampere}$)"

set mxtics
set mytics
set samples 10000

f(x) = m*x + c

# (x, y, xdelta, ydelta)
fit f(x) "tv1.dat" u 1:2:(0.008*$1 + 0.001):(0.005*$2 + 0.001) xyerrors via m,c

set xrange [0:40]

# Linien
set key top right spacing 1.3

titel = "$".gprintf("%.5f", m)."I + ".gprintf("%.5f", c)."$"
plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
    "tv1.dat" u 1:2:(0.008*$1 + 0.001):(0.005*$2 + 0.001) with xyerrorbars title "Messpunkte" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod'
```

mit tv1.dat:

```
# I/mA  U/V
10,6    1,332
13,4    1,322
16,2    1,317
19,1    1,312
21,9    1,308
24,8    1,303
27,5    1,300
30,6    1,294
33,1    1,290
35,9    1,286
38,7    1,282
```

Rohausgabe:

```
final sum of squares of residuals : 0.472523
rel. change during last iteration : -1.94302e-08

degrees of freedom    (FIT_NDF)                        : 9
rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.229134
```

```
variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 0.0525026
p-value of the Chisq distribution (FIT_P)              : 0.999976

Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
=======================            ==========================
m               = -0.00167333      +/- 5.845e-05    (3.493%)
c               = 1.34552          +/- 0.001544     (0.1148%)

correlation matrix of the fit parameters:
                m      c
m               1.000
c              -0.942  1.000
```

A.2 Netzgerät

```
#!/usr/bin/env gnuplot

set term epslatex color size 6in, 4in
set output "tv1-ng-plot.tex"
set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'

set title "Klemmenspannung eines Netzgeräts gegen den Belastungsstrom"
set ylabel "Spannung $U$ ($\\si{\\volt}$)"
set xlabel "Belastungsstrom $I$ ($\\si{\\milli\\ampere}$)"

set mxtics
set mytics
set samples 10000

set style data lines

# Linien
set key top right spacing 1.3

plot "tv1-ng.dat" u 1:2:3:(0.005*$2 + 0.001) with xyerrorbars title "Messpunkte" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod', \
     '' using 1:2 smooth mcspline lw 2 lc rgb 'dark-magenta' title "glatter Spline durch Daten"
```

mit tv1-ng.dat:

```
#I/mA   U/V Delta I/mA
104,2   9,99    0,9336
113,4   9,99    1,0072
114,6   9,99    1,0168
280     9,97    3,24
381     9,96    4,048
506     9,95    5,048
619     9,94    5,952
646     9,93    6,168
796     9,92    7,368
898     9,91    8,184
957     9,90    8,656
1106    9,88    9,848
1334    9,32    11,672
1427    7,68    10,016
```

B gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 2

```
#!/usr/bin/env gnuplot

set term epslatex color size 6in, 4in
set output "tv2-plot.tex"
set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'

set title "Abhängigkeit von Strom und Spannung"
set ylabel "Spannung $U$ ($\\si{\\volt}$)"
set xlabel "Strom $I$ ($\\si{\\milli\\ampere}$)"

set mxtics
set mytics
set samples 10000

f(x) = m*x + c

# (x, y, xdelta, ydelta)
fit f(x) "tv2.dat" u 2:1:(0.008*$2 + 0.1):(0.005*$1 + 0.01) xyerrors via m,c

# Linien
set key top left Left spacing 1.3

titel = "$".gprintf("%.5f", m)."I + ".gprintf("%.5f", c)."$"
plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
    "tv2.dat" u 2:1:(0.008*$2 + 0.1):(0.005*$1 + 0.01) with xyerrorbars title "Messpunkte" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod'
```

mit `tv2.dat`:

```
# U/V   I/mA
2,07    0,6
4,08    1,2
6,01    1,8
8,02    2,4
10,06   3,0
12,15   3,6
14,14   4,3
16,09   4,8
18,02   5,4
19,99   6,0
```

Rohausgabe:

```
final sum of squares of residuals : 0.348685
rel. change during last iteration : -1.61199e-09

degrees of freedom    (FIT_NDF)                        : 8
rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.208772
variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 0.0435856
p-value of the Chisq distribution (FIT_P)              : 0.999967

Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
=======================            ==========================
m               = 3.31938          +/- 0.0161       (0.485%)
```

```
c                = 0.0757801        +/- 0.05424      (71.58%)

correlation matrix of the fit parameters:
                m      c
m               1.000
c              -0.862  1.000
```

C gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 3

```
#!/usr/bin/env gnuplot

set term epslatex color size 6in, 4in
set output "tv3-plot.tex"
set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'

set title "Ausgangsspannung des Helipots gegen Skalenwerte des Helipots"
set ylabel "Spannung $U$ ($\\si{\\volt}$)"
set xlabel "Skala $x$ (Schritt)"

set mxtics
set mytics
set samples 10000

f(x) = m*x + c

# (x, y, xdelta, ydelta)
fit f(x) "tv3.dat" u 1:2:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) xyerrors via m,c

# Linien
set key bottom right spacing 1.3

titel = "$".gprintf("%.5f", m)."x + ".gprintf("%.5f", c)."$"
plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
    "tv3.dat" u 1:2:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) with xyerrorbars title
    ↪  "Ausgangsspannung des Helipots" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod',
    ↪  \
    "tv3.dat" u 1:3:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) with xyerrorbars title
    ↪  "Ausgangsspannung des Netzgeräts" pointtype 0 lc rgb 'dark-green'
```

mit `tv3.dat`:

```
# Skalawert Helipot Netzgerät
1000    10,03   10,03
900     9,02    10,03
800     8,01    10,03
700     7,02    10,03
600     6,01    10,02
500     5,01    10,02
400     4,01    10,02
300     3,01    10,02
200     2,01    10,02
100     1,01    10,02
0       0,01    10,02
```

Rohausgabe:

```
final sum of squares of residuals : 0.109204
rel. change during last iteration : -1.71244e-09

degrees of freedom    (FIT_NDF)                        : 9
rms of residuals      (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.110154
variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 0.0121338
p-value of the Chisq distribution (FIT_P)              : 1

Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
=======================            ==========================
m               = 0.0100079        +/- 3.216e-06    (0.03213%)
c               = 0.0091885        +/- 0.001003     (10.91%)

correlation matrix of the fit parameters:
                m      c
m               1.000
c              -0.617  1.000
```