Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P2
Blockpraktikum vom 10. Aug. bis 07. Sept. 2020

Versuch:	ESR	**Gruppe:**	F2-2
Vorname:	YUDONG	**Name:**	SUN

Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!

Punkte der Vorbereitung:	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0

	1. Abgabe		2. Abgabe	
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?	Ja	Nein	Ja	Nein
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingeklebt?	Ja	Nein	Ja	Nein
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?	Ja	Nein	Ja	Nein
Auswertung erhalten am:	17.8.			
Auswertung zurückgegeben am:	13.8.			
Nacharbeit notwendig bis:	–		nicht möglich	

Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!

Punkte:	2,0	Datum, Abtestat:	19.8. [illegible signature]

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

28
32 Blatt

BRUNNEN

Schulheft A 4
Zellstoff chlorfrei gebleicht
80 g/m²

28
32 Blatt

ESK Stichpunkte.

· Begriffe :

→ Elektrische Stromstärke I , $[I]$ = Ampere
Maß für den Ladungsfluss. , $I = \frac{dQ}{dt}$

→ Elektrische Feldstärke $E = \frac{F}{Q}$, $[E] = \frac{N}{C}$
Quotient aus der Kraft F, die auf eine Ladung Q in dem Feld, das von einer anderen Ladung ausgeht, wirkt, und der Ladung Q

→ Elektrisches Potential zwischen zwei Punkten ist die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Punkten. Einheit = [V]

→ Spannung U, $[U] = V$
Spannung U ist der Quotient aus der Arbeit, die geleistet werden muss, um eine Ladung Q von einem Punkt zu einem anderen Punkt zu bewegen, und der Ladung Q. (~~Arbe~~ Arbeit pro Ladung)

· Elektrischer Widerstand / Ohmsches Gesetz. / Spezifischer Widerstand.

In sogenannten ohmschen Leitern erfahren Ladungen eine Reibung, die mit der Spannung U und der Stromstärke I zusammenhängt. Daraus folgt das Ohmsche Gesetz mit Widerstand R:

$$I = \frac{U}{R} \iff U = RI$$

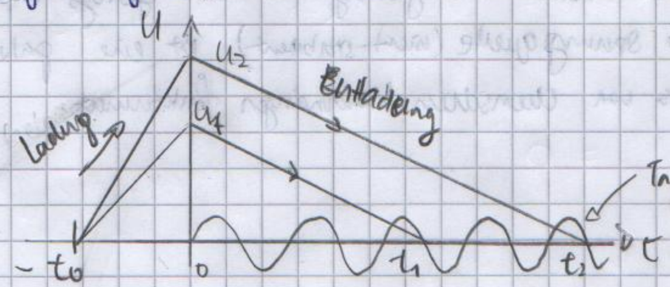
In einem Draht ist der Widerstand R proportional zur Länge L und Querschnittsfläche A eines Leiters. Es gilt:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{mit } \rho = \text{spezifischer Widerstand.}$$

(Materialabhängig)

· Elektronische Spannungsmessung nach Dual Slope Verfahren.

Analog - Digital - Wandler



Kondensator in Zeit t_0 geladen. Es folgt eine langsame Entladung, bei der durch elektronische Regelung bewirkt wird, dass die Spannung immer stets mit gleichmäßiger Steigung bis auf Null abnimmt. t proportional zu U.
Bestimmung durch Anzahl Taktzyklen gezählt.

- Begriffe:
  - → Spannungsabfall

    Von Spannungsabfall spricht man ~~...~~, wenn durch ein Leiter stromkreis mit Widerstand R ein Strom fließt. Aus dem Ohmschen Gesetz folgt dann, dass auch eine Spannung vorhanden ist ⇒ „abfällt"

  - → Potentiometer

    Ein Potentiometer besteht aus einem Widerstand, an dem eine Spannung U_0 angelegt wird. Man kann dann über einen Gleitkontakt einen Teil der Spannung U abgreifen wie es gilt:

    $$\cancel{U = \frac{R}{R_0} = U_0} \quad U = \frac{R}{R_0} U_0$$

    Dieses ~~Prinzip~~ beruht auf dem Prinzip jedes Spannungsteilers. Wenn derselbe Strom durch eine Kette von Widerständen fließt, misst man zwischen den einzelnen Widerständen unterschiedlichen Spannungsabfälle, die proportional zum Widerstand ist:

    $$U_i = \frac{R_i}{\sum R_i} U_0$$

- Multimeter und Strom-, Spannung-, Widerstand-Messung:

  Ein Multimeter ist ein Messgerät zur Messung von Strom, Spannung und Widerstand. Auf dem Multimeter ist ein Rad, mit welchem man durch Verschiebung unterschiedlichen Messgrößen einstellen kann. Dabei sind die benutzte Buchse am Multimeter sehr wichtig.

- Stabilisiertes Spannungsquelle / galvanische Zelle.

  - Eine ~~Stabilisierte~~ Stabilisierte Spannungsquelle ist dadurch ausgezeichnet, dass sie eine relativ kontinuierliche Spannung liefert, auch wenn Strom abgegriffen wird. ~~...~~ Eigentlich würde bei Stromfluss die Spannung durch den Ladungsausgleich immer geringer werden. Ein Beispiel einer Spannungsquelle (nicht-stabilisiert) ist eine galvanische Zelle, die auf Basis von chemischen Verbindungen funktioniert.

- Quellenspang, Innenwiderstand, Klemmenspanung.

Als Klemmungsspanung bezeichnet man den Teil der Spanung einer Spanungsquelle (Quellespanung), den man von den Klemmen der Spanungsquelle abnehmen kann. Sie ist etwas geringer, was an dem Innenwiderstand des Leiters liegt. Wenn ~~stän~~ Ladungsträger sich in einem Leiter bewegen, wirkt auf sie Reibung. Um dieser entgegen zuwirken, muss der Teil Quellenspanung aufgewendet werden, der sich als Differenz zwischen Quellen- und Klemmsspanung ergibt.

- Kompensatorsanordung / Messprinzip

Mit einem Potentiometer kann man eine Spanung $U < U_0$ abgreifen. Hat man nun eine unbekannte Spanung $\tilde{U}$ gegeben ($\tilde{U} < U_0$), so kann ~~kann man eine~~ man mit der Kompensatorsanordung nach Du-Bois-Reymond die Spanung U an $\tilde{U}$ angleichen. Hierzu integriert man zum Potentiometer ein Nullinstrument (siehe Abb. 7), welches dann ausschlägt, wenn $U \neq \tilde{U}$ ist. Durch verschieben des Potentiometerstellerung kann man den Punkt herausfinden, ~~das~~ an dem das Nullinstrument nicht mehr ausschlägt und über das Verhältnis $\left(\frac{R}{R_0}\right)$ dann durch Gleichung $U = \frac{R}{R_0} U_0$ auf U kommen.

- Spanungsnormal

Wenn man eine bekannte Spanung haben, dann kann man ein Spanungsnormal benutzen. Das ist ein Bauteil mit einer Spanung U_N, die (sehr genau) bekannt ist. Durch das oben beschriebene Kompensationsverfahren kann mit einem Spanungsnormal U_0 herausfinden:

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

- Kirchhoff 1. ~~Satz~~. (Knotenregel)

$$\sum I_{hin} = \sum I_{raus} \Leftrightarrow \sum I_{hin} + \sum I_{raus} = 0.$$

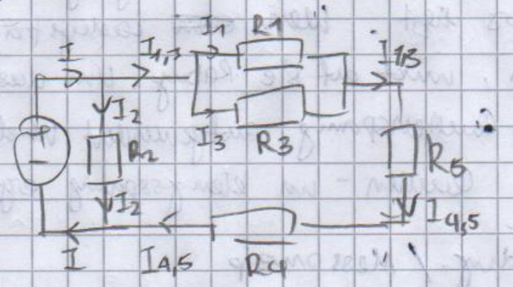
- Kirchhoff 2. Satz (Maschenregel)

$$\sum_{Masche} U = 0$$ wobei eine Masche ein geschlossene Kreis von Widerstände ist.

(Folgerung aus Energieerhaltung)

· Experimentelle Überprüfung der Kirchhoffschen Sätze.

In Teilversuch 4 werden die Ströme und Spannungen in einer Schaltung gemessen und ~~die~~ die Sätze in allen Knoten bzw. Maschen geprüft.



$I = I_{1,3} + I_2$, $I = I_2 + I_{4,5}$, $I_1 + I_3 = I_{1,3}$

~~$U = U_4 + U_5 + U_{1/3}$~~ $U - U_4 - U_5 - U_{1/3} = 0$

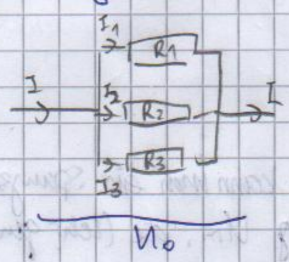
$U_2 - U_4 - U_5 - U_{1/3} = 0$

$U_3 - U_1 = 0$

$U - U_2 = 0$

· Anwendung der Kirchhoffschen Sätze:

(PARALLEL)

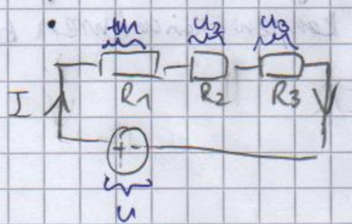


$I = I_1 + I_2 + I_3$ (Knotenregel)

$U_1 = U_2 = U_3 = U_0$ (~~Maschenregel~~)

Aus $I = \frac{U}{R} \Rightarrow \frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

(SERIEN)



$U - U_1 - U_2 - U_3 = 0$ (Maschenregel)

Mit $U = RI$ folgt:

$\cancel{R_{eff} I = R_1 I + R_2 U_2}$

$R_{eff} I = R_1 I + R_2 I + R_3 I$

$\Rightarrow R_{eff} = R_1 + R_2 + R_3$.

Versuch : E8K - Elektrische Stromkreise

~~Teil~~ Name : Yuetong Sun
Datum : 13. Aug 2020.

Teilversuch 1: Belastungsabhängigkeit zweier Spannungsquellen

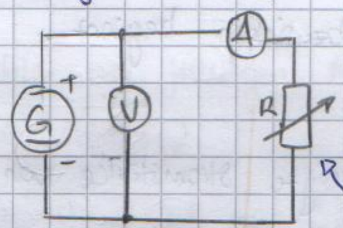
Versuchsziel : • ~~Messung der~~ Die Belastungsabhängigkeit von Spannungsquellen bestimmen. (Galvanische Zelle und Netzgerät)
• Innenwiderstand bestimmen.

Messmethode : Messung der Ausgangsspannung von Spannungsquellen in Abhängigkeit von der Belastung und Zeichnen, der sich daraus ergebenden Belastungskennlinien.

Versuchsdurchführung

(1) Belastung einer galvanische Zelle:

• Schaltung wie folgt aufbauen auf Steckplatte.



* Stromstärke nur Näherungsweise richtig gemessen, da ein kleines bisschen Strom auch durch V fließt (?)

• Stelle Messinstrumente auf den Bereich mit der größten Anzahl von Dezimalen in der Anzeige ein.

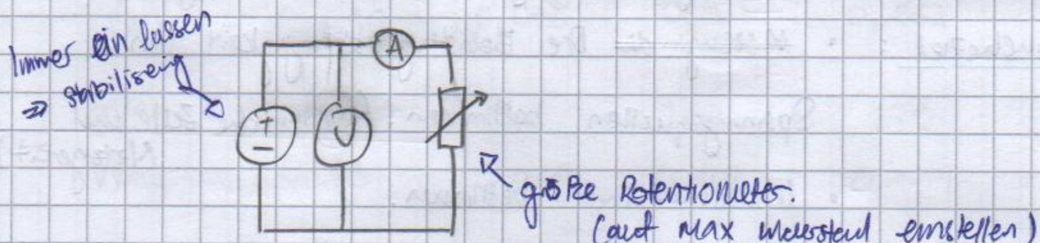
• Leerlaufspannung messen

• Den Strom in zehn äquidistanten Schritten vom kleinsten bis zum größten Wert ~~hi~~ hoch regeln.
Jeweils Strom und Spannung messen.
(R schrittweise vom Max zu Min ?)

• ~~Leerl~~ Leerlaufspannung noch einmal messen

② Belastung eines Netzgeräts

- Netzgerät im Bereich [0V bis 10V] schalten und 0V stellen.
- Schaltung wie folgt aufbauen.



- Spannung auf Netzgerät auf etwa 10V einstellen
- Spannung und Strom~~stärke~~ messen. Stromstärke zusätzlich ~~mittels~~ mit Hilfe einer Stromzange messen.
- Potentiometerwiderstand schrittweise erniedrigen. Spannung und Stromstärke (auf Multimeter) messen. ~~Stromanzeige~~
- Den Wert der Stromstärke notieren, bei dem die Spannung grade noch nicht abzusinken beginnt. (Multimeter)
- Vergleichen die angezeigte Stromstärke von Stromzange und Multimeter.

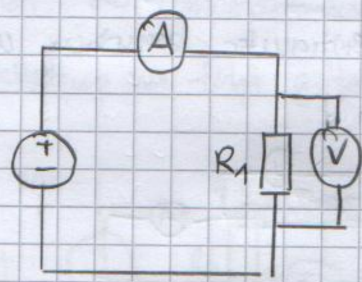
Teilversuch 2: Bestätigung des Ohmischen Gesetzes

Versuchsziel: Ohmsches Gesetz durch Schaltung bestätigen

Messmethode: Spannung mit bestimmte Widerstand ~~vari~~ variieren und die Stromstärke messen.

Versuchsdurchführung:

- Schaltung wie folgt aufbauen:



- Spannung in 10 äquidistanten Schritten von 0V bis etwas unterhalb 20V variieren. Jeweils Strom und Spannung messen.
- Fehler bei jeweiligen Messbereich achten. (Siehe Dokumentation)
- Widerstandwert von R_1 mit Hilfe der ausliegenden Farbringtabelle ablesen. Vergleiche dieser Wert mit einer ~~#~~ direkte Messung mit einem Multimeter.

Teilversuch 3: Spannungabfall und Potentiometer.

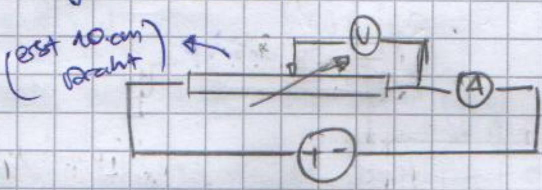
Versuchziel: Messung der an einem stromdurchflossenen Draht bzw. einem Wendelpotentialmeter abfallenden Spannung als Funktion der Drahtlänge

Messmethode: Spannung am verschiedenen ~~Punkt~~ Länge/Einstellung messen.

Versuchsdurchführung:

(a) Spannungabfall am stromdurchflossenen Draht.

- Schleifdraht-Potentiometer benutzen und gesamte Länge benutzen:



- Lasse einen Strom von etwa 0,5 A durchfließen.
- Feststellen, dass der Draht sich durch den Stromfluss erwärmt. (Berühren)

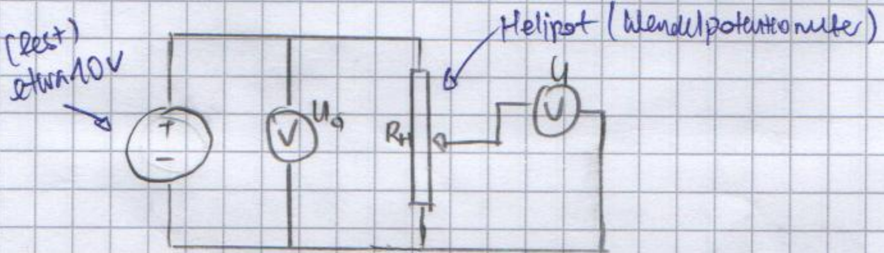
3 verschiedene Punkten jeweils 10 cm Lang.

X (• Spannungabfall im Intervall 2 cm messen (10 cm insgesamt))

- Wiederhole Messung mit 5 verschiedene Länge von Drahten.

(b) Spannungeinstellung am Potentiometer.

- Schaltung wie folgt aufbauen:



- Skalenwert am Helipot von Null in 10 äquidistanten Schritten bis zum Maximalwert (jeweils 100 Skt) Abfallende Spannung messen.

Am Ende: $U_0 = U$. (überprüfen)

Teilversuch 4: Spannungsmessung durch Kompensation

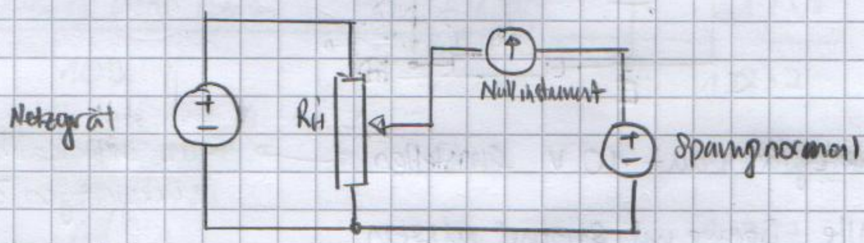
Versuchsziel: Kompensationsanordnung mit elektronischem Spannungsnormal kalibrieren. Leerlaufspannung einer Galvanischen Zelle bestimmen.

Messmethode: Kompensationsschaltung. Variieren, bis Nullinstrument null ist, indem man ein Helipot benutzt. Dann die GV verwenden

Versuchsdurchführung:

(a) Kalibrieren der Kompensationsanordnung:

- Schaltung wie folgt aufbauen.



- Offseteinstellung des Nullinstruments (Taste drücken, falls ein deutlicher Anschlag zeigt, korrigieren lassen)
- Netzgerät auf 2V einstellen. ~~(Rest)~~ (festhalten)
- Position auf Helipot ändern, bis Nullinstrument Null zeigt.
- Resultierende Helipotstellung notieren (inkl. Einstellfehler des Helipots – abschätzen)
- Unsicherheiten ~~für~~ zu Nullinstrument, Spannungsnormal notieren.

(b) Klemmenspannung einer galvanischen Zelle:

- ~~Netzgerät~~ Spannungsnormal durch die galvanische Zelle ersetzen.
- Position auf Helipot ändern, bis Nullinstrument Null zeigt.
- Resultierende Helipotstellung (inkl. Unsicherheiten) notieren.

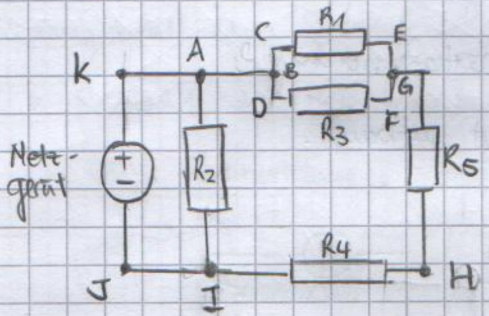
Teilversuch 5: Bestätigung der Kirchhoffschen Sätze

Versuchsziel: Kirchhoffschen Sätze bestätigen

Messmethode: Ströme und Spannungen in einem Widerstandsnetzwerk messen.

Versuchsdurchführung:

- Schaltung wie folgt aufbauen:



* vor jedem Widerstand einen zusätzlichen Verbindungsstecker einstecken.

- Netzgerät auf 10 V einstellen → Muss man Kalibrung berücksichtigen?
- Alle Spannung und Ströme messen
- Im Protokoll: • Vorzeichen • Richtung am Skizze
  • Polungen

Messungen im Labor

Teilversuch ①:

(a) Leerlaufspannung = 1,365 V

($\Delta U = \pm 0,5\%$ Messwert + 1 Digit)

Min ~~Max~~ Strom = Potentiometer bei 100 = 10,6 mA

Max Strom = Potentiometer bei 0. = 38,8 mA

Multimeter am Position 200 mA

$\Rightarrow$ ($\Delta I = \pm 0,8\%$ Messwert + 1 Digit)

Schritt = 2,82 mA.

Potential Meter Position	I / mA	U / V
100	10,6	1,332
70	13,4	1,322
48	16,2	1,317
34	19,1	1,312
26	21,9	1,308
19	24,8	1,303
14	27,5	1,300
9	30,6	1,294
6	33,1	1,290
3	35,9	1,286
0	~~38,6~~ 38,7	1,282

Note: schwer zu steuern $\Rightarrow$ nicht ganz äquidistant.

Leerlaufspannung (danach) = 1,354 V

(b) Potentiometer max Widerstand.

Spannung $U = 10{,}00$ V ($\Delta U = \pm$ ~~0,8~~ 0,5 % Messwert + 1 Digit)

Strom $I = 98{,}3$ mA ($\Delta I = \pm$ ~~1,0~~ 0,8 % Messwert + 1 Digit)

ganz ähnlich

Strom I (Stromzange) $= 0{,}097$ A

wird erst auf 0 gesetzt (mit Zero Taste)

~~Potentiometer Position | I/mA | I/mA | U/V~~
~~100 | | 104,2 |~~

Potentiometer Position	I/mA (Stromzange)	I/mA (Multimeter)	U/V (Multimeter)
	0,113	104,2	9,99
	0,122	113,4	9,99
	0,123	114,6	9,99
		280	9,97
		381	9,96
		506	9,95
		619	9,94
		646	9,93
		796	9,92
		898	9,91
		957	9,90
		1106	9,88
Auch am Netzgerät →		1334	9,32
		1427	7,68

Sprung bei $I = 1334$ mA

Teilversuch ②

~~Strom I/mA~~ ~~Spannung U/mV~~

Spannung /V	Strom 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

$\Delta U = \pm 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit

$\Delta I = \pm 0{,}8\%$ Messwert + 1 Digit

Widerstand aus Farben = $330 \cdot 10^1\ \Omega \pm 1\%$

Widerstand aus Multimeter = 3,29 kΩ

$\Delta R = (\pm 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit$)$

Die Widerstände stimmen miteinander überein

Teilversuch (8)

$\Delta U = (\pm 0{,}5\%$ Messwert $+ 1$ Digit$)$

(a) Mit 1A wird der Draht heiß.

$I = 0{,}503$ A ($\Delta I = \pm 0{,}8\%$ Messwert $+ 1$ Digit).

10 cm Messung (± 4 mm)

Messung 1	U/V =	0,615 V	(zws. 20cm – 30cm)
Messung 2	U/V =	0,607 V	(zws. 40cm – 50cm)
Messung 3	U/V =	0,613 V	(zws. 60cm – 70cm)

Verschiedene Länge:

~~(20 cm ± 4 mm)~~

$\Delta U = (\pm 0{,}5\%$ Messwert $+ 1$ Digit$)$

~~(20 cm ± 0,4~~

Länge	Spannung:
(20,0 ± 0,4) cm	1,167 V
(40,0 ± 0,4) cm	2,37 V
(60,0 ± 0,4) cm	3,63 V
(80,0 ± 0,4) cm	4,86 V
(90,0 ± 0,4) cm	5,60 V

(b) Fehler beim Spannung-Messung $\Delta U = (\pm 0{,}5\%$ Messwert $+ 1$ Digit$)$

Wenn $x = 1000$ Skt, $U = U_0 = 10{,}03$ ✓ passt

Schritt x/Skt	(Netzgerät) U_0 / V	(Helipot) U/V
1000	10,03	10,03
900	10,03	9,02
800	10,03	8,01
700	10,03	7,02
600	10,02	6,01
500	10,02	5,01
400	10,02	4,01
300	10,02	3,01

($\Delta x = \pm 0{,}5$ Skt)

Schritt x / Skt	U_0 / V	U / V
200	10,02	2,01
100	10,02	1,01
0	10,02	0,01

Teilversuch 4

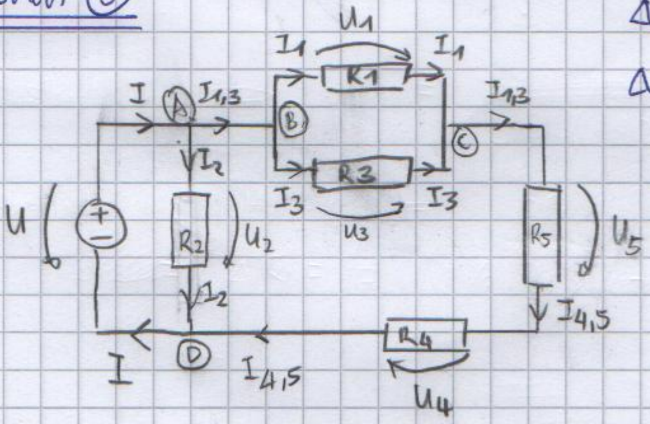
(a) Helipot Wert = 537 Skt
Helipot Max = 1000 Skt
Δ Helipot Messung = 0,5 Skt

Ablesungsfehler bei Nullinstrument = 0,025 mA.

Spannungsnormal ~~Fehler~~ = (1,0000 ± 0,0001) V

(b) Helipot Position = 728 Skt. ± 0,5 Skt

Teilversuch 5



$\Delta U = \pm 0{,}5\%$ Messwert + 1 Digit

$\Delta I = \pm 0{,}8\%$ Messwert + 1 Digit

Vorzeichen durch Skizze gegeben. Die Beträge:

U = ~~1,873~~ ~~V~~ 10,04 V	I = 2,7 mA
U_1 = ~~0,366~~ ~~V~~ 1,974 V	I_1 = 0,6 mA
U_2 = ~~1,873~~ ~~V~~ 10,04 V	I_2 = 1,4 mA
U_3 = ~~0,366~~ ~~V~~ 1,974 V	I_3 = 0,7 mA
U_4 = ~~0,543 V~~ 2,91 V	$I_{4,5}$ = 1,3 mA
U_5 = ~~0,968 V~~ 5,16 V	~~I_5~~ $I_{1,3}$ = 1,3 mA

ESK – Elektrische Stromkreise
Auswertung

Yudong Sun
Gruppe F2-2

17. August 2020

Teilversuch 1: Belastungsabhängigkeit zweier Spannungsquellen

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

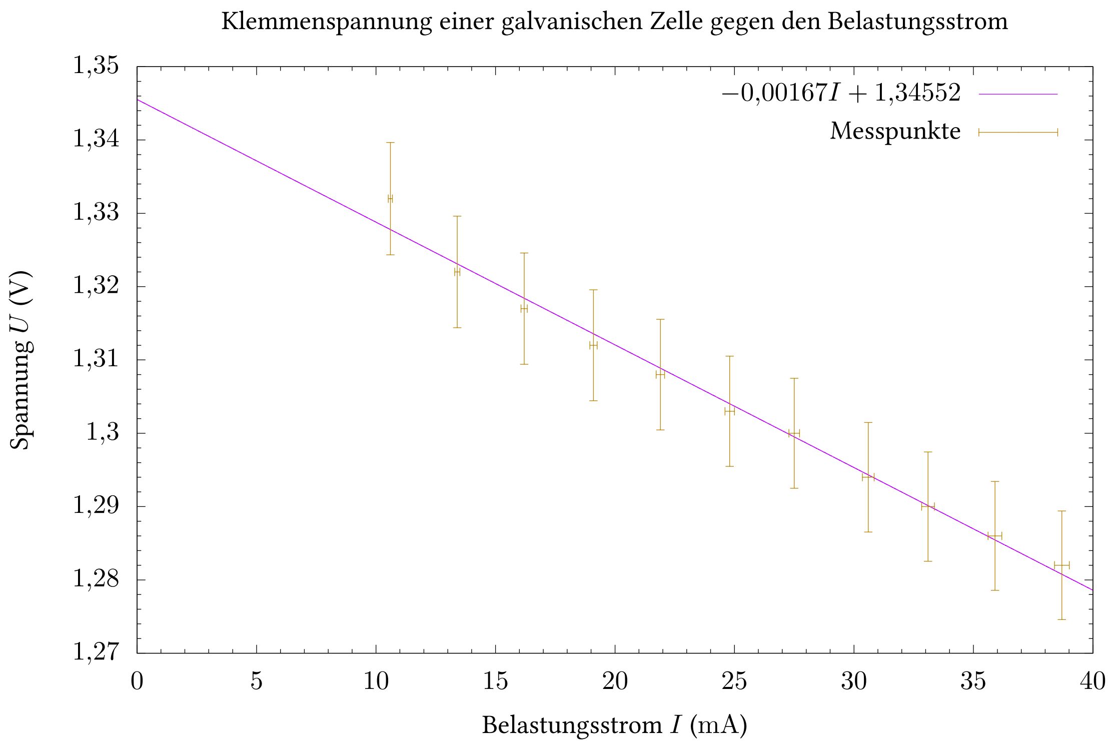


Abbildung 1.1: Belastungsabhängigkeit einer galvanischen Zelle
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}052\,502\,6 \implies$ Gute Anpassung

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	$(1{,}345\,52 \pm 0{,}001\,55)$ V	$(1{,}3455 \pm 0{,}0016)$ 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:

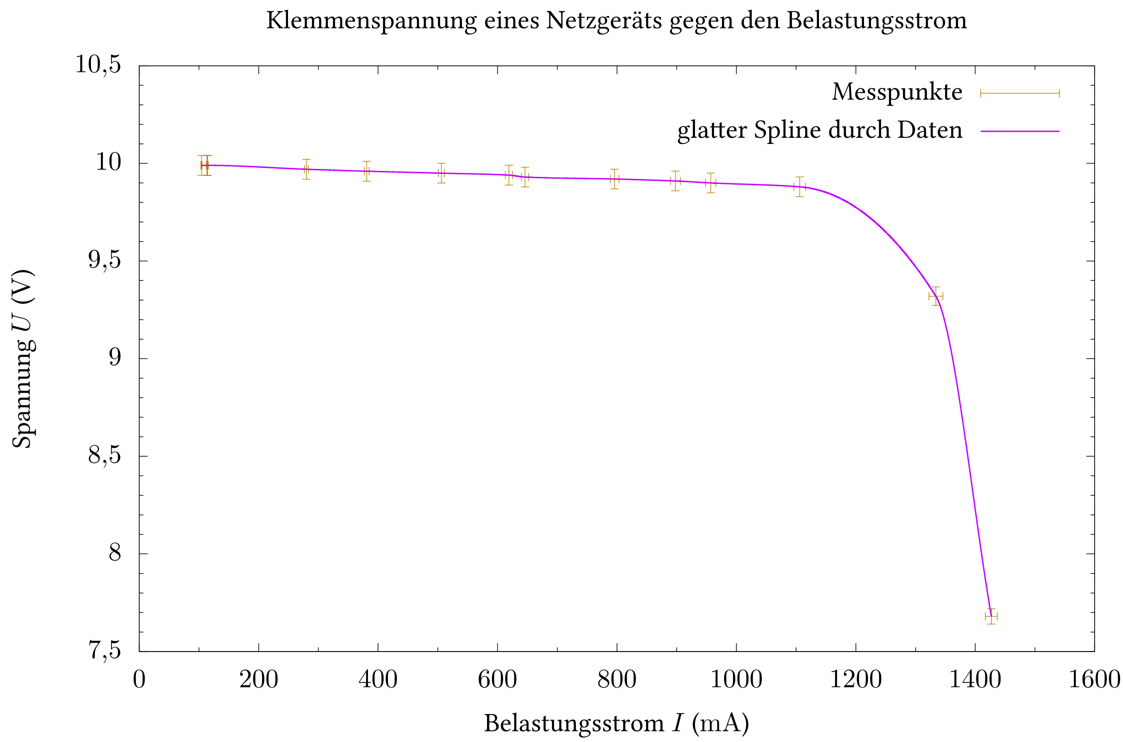


Abbildung 1.2: Belastungsabhängigkeit eines Netzgerät

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.

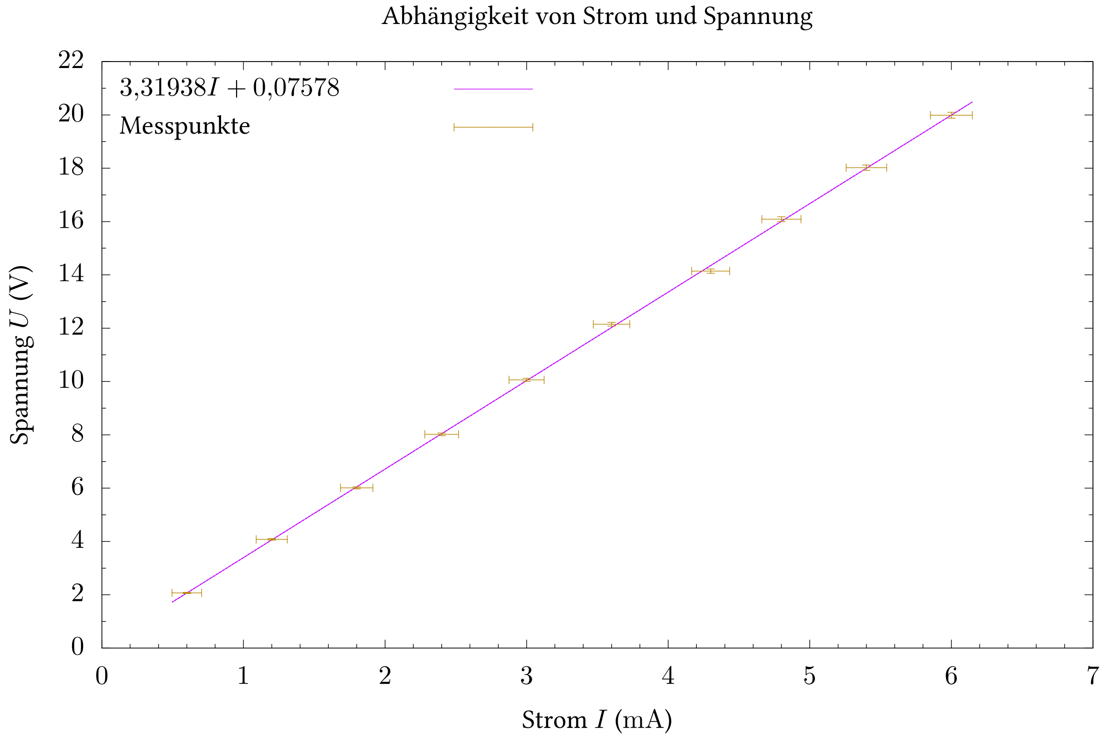


Abbildung 2.1: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}043\,585\,6 \implies$ Gute Anpassung

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.

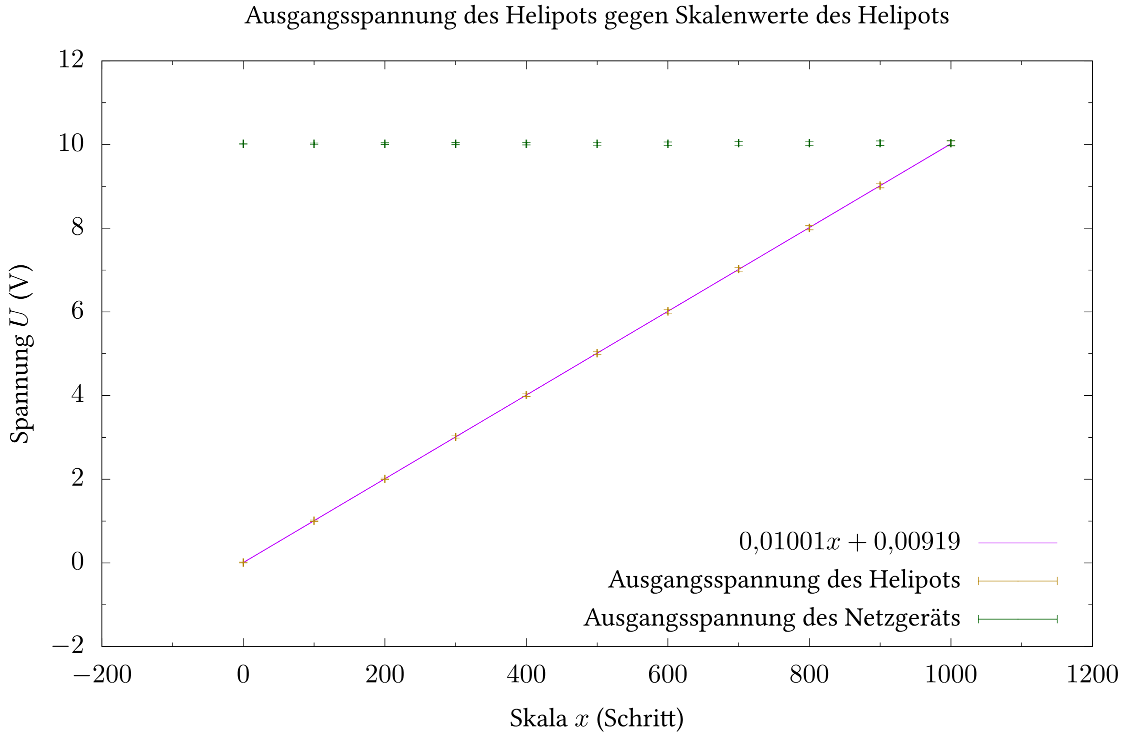


Abbildung 3.1: Spannungsabfall im Abhängigkeit from Skalenwert des Helipots
$\chi^2_{\text{red}} = 0{,}012\,133\,8 \implies$ Gute Anpassung

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

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

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

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

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

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

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):

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

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 ± 2) Schritt	Helipotwert bei ausgeglichene Spannung

und erhalten:

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

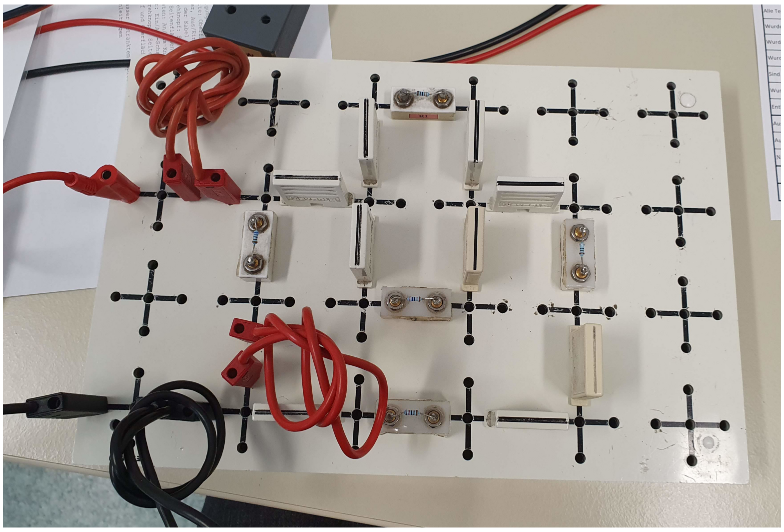
$$\begin{aligned} \Delta U_0 &= \frac{728}{1000} \times 1{,}826\,\text{V} \times \sqrt{\left(\frac{0.5}{1000{,}0}\right)^2 + \left(\frac{2}{728}\right)^2 + \left(\frac{0.008}{1{,}862}\right)^2} \\ &= 6{,}811\,68 \cdot 10^{-3}\,\text{V} \qquad \text{(6 sig. Zif.)} \end{aligned} \tag{4.10}$$

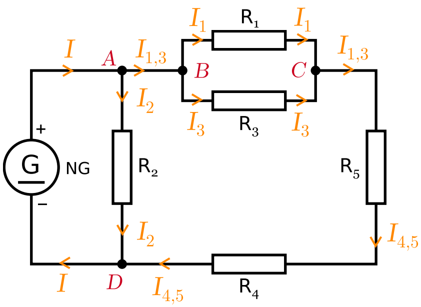
eine Spannung von $U_G = (1{,}329 \pm 0{,}007)\,\text{V}$.

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:

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

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

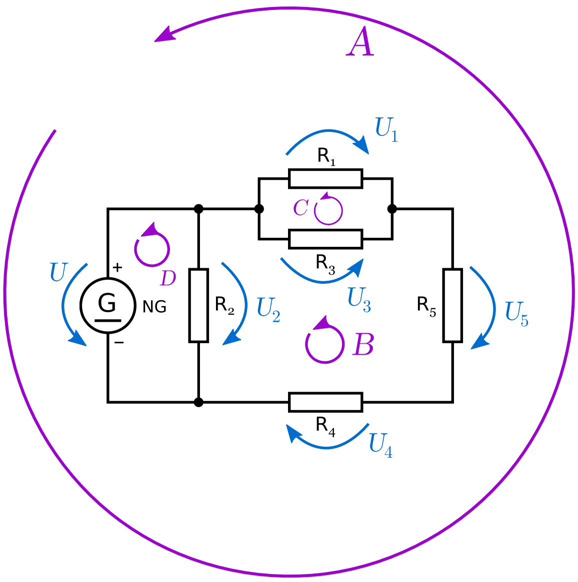
Es gilt aus der Knotenregel:

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

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
```