

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

Versuch:	ESk		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:									
Auswertung zurückgegeben am:									
Nacharbeit notwendig bis:						nicht möglich			
Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!									
Punkte:			Datum, Abtestat:						

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

28
32 Blatt

BRUNNEN 

Schulheft A4
Zellstoff chlorfrei gebleicht
80 g/m²

28
32 Blatt

ESK Stückpumpe

- Begriffe:

→ elektrische Stromstärke I , $[I] = \text{Ampere}$
 Maß für den Ladungstransf., $I = \frac{dq}{dt}$.

→ 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 ausübt, 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, auf der Ladung Q . (~~Arbeit pro Ladung~~)

- elektrischer Widerstand / Ohmsches Gesetz / Spezifischer Widerstand:

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

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

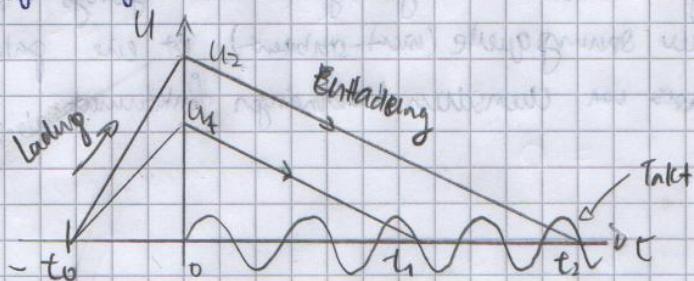
In einem Draht ist der Widerstand R proportional zur Länge L und Querschnittsfläche A eines Leiters. Es gilt:

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

(Materialabhängig)

- Elektronische Spannungsmessung nach Draht-Slope-Verfahren:

Analoge - 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 gleicher Steigung bis auf Null absinkt. t proportional zu U .
 Bestimmung durch Anzahl Taktezyklen gezählt.

Begriffe:

→ Spannabfall

Von Spannabfall spricht man ~~bei~~, wenn durch ein Lederstromkreis mit Widerstand R ein Strom fließt. Aus dem Ohmschen Gesetz folgt dann, dass auch eine Spannung vorhanden ist \Rightarrow "abfällt"

→ Potentialmeter

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

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

Dieses ~~Prinzip~~ beruht auf dem Prinzip jedes Spannstellers. Wenn der selbe Strom durch eine Kette von Widerständen fließt, misst man zwischen den einzelnen Widerständen unterschiedliche Spannabfälle, die Proportional zum Widerstand ist:

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

• Multimeter und Strom, Spann, Widerstand-Messung:

Ein Multimeter ist ein Messgerät zur Messung von Strom, Spannung und Widerstand. Auf dem Multimeter ist ein Radl, mit welchem man deren Verschiebung unterschiedlichen Messgrößen einstellen kann. Dabei sind die benötigte Brücke am Nutzen sehr wichtig.

• Stabilisierte Spannungsquelle / galvanische Zelle.

Für ~~stabile~~ stabilisierte Spannungsquelle ist dadurch ausgeschaut, dass sie eine relativ kontinuierliche Spannung liefert, auch wenn Strom abgegriffen wird. Diese Eigenschaft würde bei Stromflüssen die Spannung durch den Ladungsausgleich mehr verringen werden. Ein Beispiel einer Spannungsquelle (nicht-stabilisiert) ist eine galvanische Zelle, die auf Basis von chemischen Verbindungen funktioniert.

- Quellenspannung, Innenwiderstand, Klemmenspannung.

Als Klemmenspannung bezeichnet man den Teil der Spannung einer Spannungsquelle (Quellenspannung), den man von den Klemmen der Spannungsquelle abnehmen kann. Sie ist etwas geringer, was an dem Innenwiderstand des Leiters liegt. Wenn ~~die~~ Ladungsträger schon in einem Leiter bewegen, wird auf ~~die~~ Rückweg um dieser entgegenkommen, muss der Teil Quellenspannung aufgewandt werden, der sich als Differenz zwischen Quellen - um Klemmenspannung ergibt.

- Kompensationsanordnung / Messprinzip

Mit einem Potentiometer kann man eine Spannung $U < U_0$ abgrößen. Hat man nun eine unbekannte Spannung U gegeben ($U < U_0$), so kann man ~~dann~~ mit der Kompensationsanordnung nach Du Bois-Reymond die Spannung 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 Potentiometerssteuerung kann man den Punkt herausfinden, ~~an~~ an dem das Nullinstrument nicht mehr ausschlägt und über das Verhältnis ($\frac{R}{R_0}$) dann durch Gleichung $U = \frac{R}{R_0} U_0$ auf U kommen.

- Spanngesetz

Wenn man eine bekannte Spannung haben, dann kann man ein Spanngesetz benutzen. Das ist ein Bauteil mit einer Spannung U_N , die sehr genau bekannt ist. Durch das oben beschriebene Kompensationsetappen kann mit einer Spanngesetzmethode herausstellen:

$$U_0 = \frac{R_0}{R_{\text{neu}}} U_N.$$

- Kirchhoff 1. Satz (Knotenregel)

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

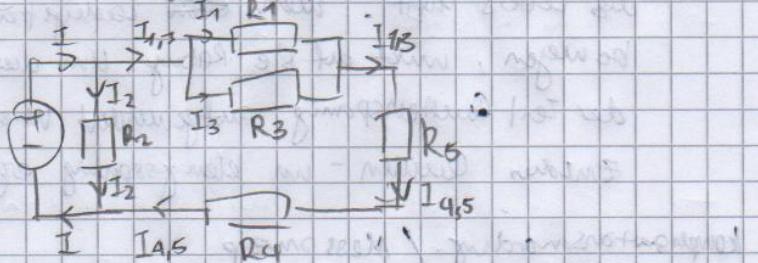
- Kirchhoff 2. Satz (Maschenregel)

$$\sum_{\text{Masche}} U = 0 \quad \text{wobei eine Masche ein geschlossener Kreis von Widerständen ist.}$$

(Folgerung aus Flussgesetz)

- Experimentelle Überprüfung der Kirchhoff'schen Sätze.

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



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

~~$$U = U_1 + U_2 + U_3$$~~

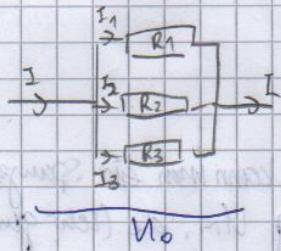
$$U - U_4 - U_5 - U_{1,3} = 0$$

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

$$U_3 - U_1 = 0$$

$$U - U_2 = 0$$

- Anwendung der kirchhoff'schen Sätze:

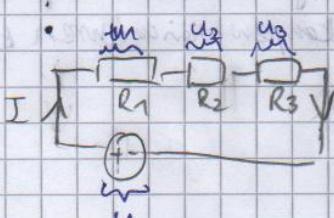


$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (\text{Knotensatz})$$

~~$$U_1 = U_2 = U_3 = U_0$$~~

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_0 \quad (\text{Maschenatz})$$

$$\text{Ansatz } F = \frac{U}{R_{\text{eff}}} \Rightarrow \frac{1}{R_{\text{eff}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



$$U - U_1 - U_2 - U_3 = 0 \quad (\text{Maschenatz})$$

$$\text{Mit } U = RI \text{ folgt:}$$

~~$$R_{\text{eff}} I = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$~~

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

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

Versuch: E8k - Elektrische Stromkreise

Name : Yudong Sun

Datum : 13. Aut. 2020.

Teilversuch 1: Belastungsabhängigkeit zweier Spannungsquellen

Versuchsziel :

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

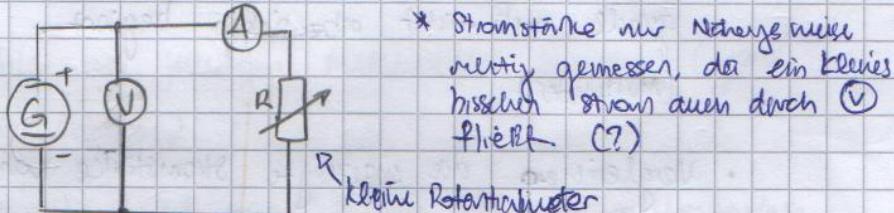
Messmethode :

Messung der Ausgangsspannung von Spannungsquellen in Abhängigkeit von der Belastung und ziehen, der sich daraus ergebenen Belastungskennlinien.

Versuchsdurchführung

① Belastung einer galvanischen Zelle.

- Schaltung wie folgt aufbauen. auf Steckplatte.



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

- Leerlaufspannung messen
- Den Strom in zehn aquidistanten Schritten vom Kleinsten bis zum größten Wert ~~bei~~ hoch regeln.

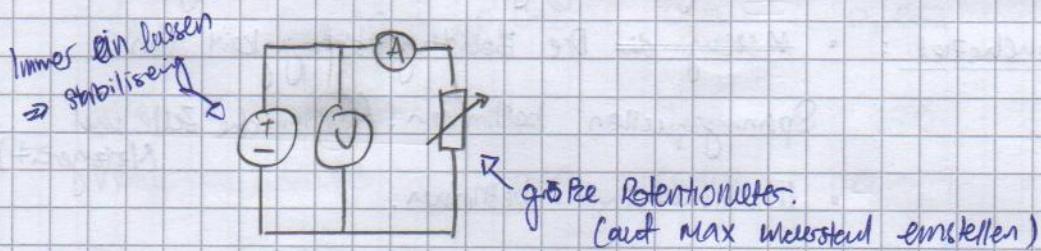
Jeewells Strom und Spannung messen.

(R schrittweise vom Max zu Min ?)

- ~~bei~~ Leerlaufspannung noch ein mal messen

② Belastung eines Netzgeräts

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



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

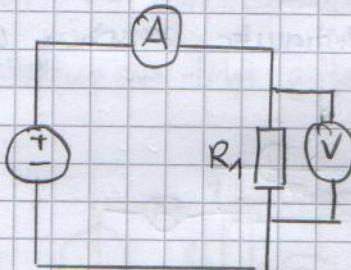
Teilversuch 2: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes

Versuchsziel: Ohmische Gesetz durch Schaltung bestätigen

Messmethode: Spannung mit bestimmte Widerstand ~~fest~~ 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 Messbereichs achten. (siehe Dokumentation)
- Widerstand Wert von R_1 mit Hilfe der ausliegenden Farbringtafel ablesen. Vergleiche dieser Wert mit einer ~~direkten~~ direkte Messung mit einem Multimeter.

Teilversuch 3: Spannungsabfall am Potentiometer

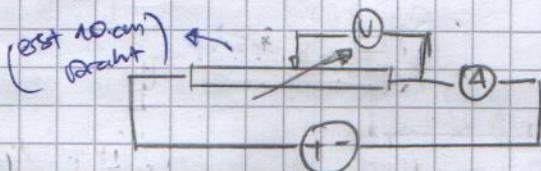
Versuchsziel: Messung der an einem stromdurchflossenen Draht bzw. einem Wundelpotentiometer abfallenden Spannung als Funktion der Drahtlänge.

Messmethode: Spannung am verschieden ~~fest~~ Längen messen.
Skalenkurv.

Versuchsdurchführung:

(a) Spannungsabfall am stromdurchflossenen Draht.

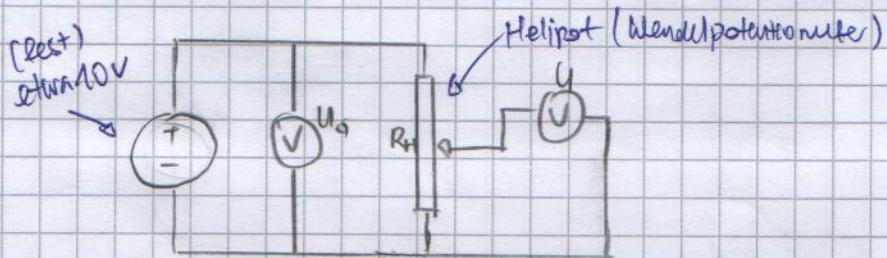
- Schleifendraht - Potentiometer benutzen und gesamte Länge benutzen:



- Lasse einen Strom von etwa 0,5 A durchfließen.
- Feststellen, dass der Draht sich durch den Stromfluss erwärmt. (Berühren)
- X (• Spannungsabfall im Intervall 2 cm messen)
(10 cm insgesamt)
- Wiederholen Messung mit 5 verschiedenen Längen von Drähten.

(b) Spannungsteilung am Potentiometer.

- Schaltung wie folgt aufbauen:



- Skalenkurv am Helpot von Null in 10 äquidistanten Schritten bis zum Maximalwert (jeauis 100 Stk)
Abfallende Spannung messen.

Am Ende: $U_0 = U$. (Überprüfen)

3 verschiedene Punkten
jeauis 10 cm
Länge.

Teilversuch 4: Spannungsmessung durch Kompensation

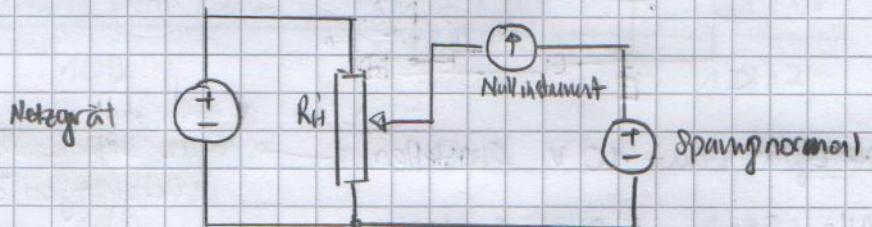
Versuchsziel: Kompensationsanordnung mit elektronischen Spannungsnormen kalibrieren. Leerlauftspannung einer galvanischen Zelle bestimmen.

Messmethode: Kompensations schaltung variieren, bis Nullinstrument null ist, indem man ein Heipot bewegt. Dann den GV vermerken

Versuchsdurchführung:

(a) Kalibrieren der Kompensationsanordnung:

- Schaltung wie folgt aufbauen.



- Offsetstellung des Nullinstrumentes (Taste drücken, falls ein deutlicher Anschlag zeigt, korrigieren lassen)
- Netzgerät auf 2V einstellen. ~~festhalten~~ (festhalten)
- Position auf Heipot ändern, bis Nullinstrument Null zeigt.
- Resultierende Heipotstellung notieren (inkl. Einstellfehler des Heipots - abschätzen)
- Unsicherheiten fñr zu Nullinstrument, Spannungsnorm notieren.

(b) Klemmenspannung einer galvanischen Zelle:

- ~~Spannungsnorm~~ durch die galvanische Zelle ersetzen.

- Position auf Heipot ändern, bis Nullinstrument Null zeigt.
- Resultierende Heipotstellung (inkl. Unsicherheiten) notieren.

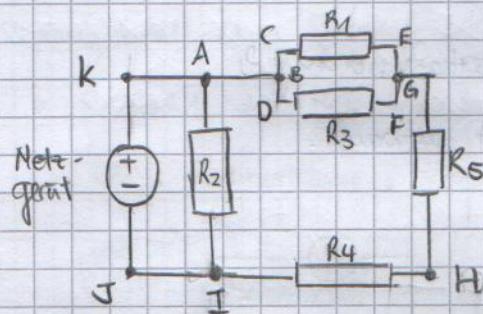
Teilversuch 5: Bestätigung der Kirchhoff'schen Sätze

Versuchsziel: Kirchhoff'schen 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 \rightarrow muss man Kalibrierung berücksichtigen?
- Alle Spannungen und Ströme messen
- Im Protokoll:
 - Vorzeichen
 - Richtung im Skizze
 - Ablesungen

Messungen im Labor

Teilversuch ①:

(a) Leerlauftspannung = ~~1,365~~ ~~± 0,5%~~ V
 $(\Delta U \pm 0,5\% \text{ Messwert} + 1 \text{ Digit})$

Min ~~Ausschlag~~ Strom = Potentialabnehmer bei 100 = 10,6 mA

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

Multimeter am Position 200 mA

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

↓

Schritt = 2,82 mA.

Potential Motor 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.

Leerlauftspannung (darauf) = 1,354 V

(b) Potentialmeter Max unverstnd.

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

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

Strom I (Stromzage) = $0,097 \text{ A}$ \uparrow ganz ähnlich

und erst auf 0 gesetzt (mit Zero Taste)

~~Potentialmeter Position~~ ~~I / mA~~ ~~U / V~~

~~100~~ ~~104,2~~

Potentialmeter Position	I / mA (Stromzage)	I / mA (Multimeter)	U / V (Multimeter)
100	0,113	104,2	9,99
100	0,122	113,4	9,99
100	0,123	114,6	9,99
100	0,123		

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
1334	9,32
1427	7,68

Auch am \rightarrow Netzgerät

Sprung bei $I = 1334 \text{ mA}$

Teilversuch ②

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

Spannung U / V	Strom I / mA
2,07	0,6
4,08	1,2
6,01	1,8
8,02	2,4
10,06	3,0
11,00	
12,15	3,6
14,14	4,3
16,09	4,8
18,02	5,4
19,99	6,0

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

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

Widerstand aus ~~Farben~~ Farben = ~~110 · 10³ Ω~~
$$330 \cdot 10^1 \Omega \quad \pm 1\%$$

Widerstand aus Multimeter = 3,29 kΩ

~~ΔR~~ $\Delta R = (\pm 0,5\% \text{ Messwert} + 1 \text{ D.git})$

Die Widerstände stimmen mit einander überein

Teilversuch 8

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

(a) Mit 1A wird der Draht herz.

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

10 cm Messung ($\pm 4 \text{ mm}$)

Messung 1	$U/V = 0,615 \text{ V}$	(zws. 20cm - 30cm)
Messung 2	$U/V = 0,607 \text{ V}$	(zws. 40cm - 50cm)
Messung 3	$U/V = 0,613 \text{ V}$	(zws. 60cm - 70cm)

Verschiedene Länge:

$$(\underline{20 \text{ cm} \pm 4 \text{ mm}}) \quad \Delta U = (\pm 0,5\% \text{ Messwert} + 1 \text{ Digit})$$

(20,0 ± 0,4) cm

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	5,00 V

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

Wenn $x = 1000 \text{ Scht}$, $U = U_0 = 10,03 \text{ V}$ ✓ passt

Schritt x / Scht	(Widerstand) U_0 / V	(Fehler) 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

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

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

Teilversuch 4

(a) Heilpot Wert = 537 Scht

Heilpot Max = 1000 Scht

Δ Heilpot Messung = 0,5 Scht

LMU München
Physikalische Praktika

ESK

Versuch: 13.8.20

Datum:

Betreuer:

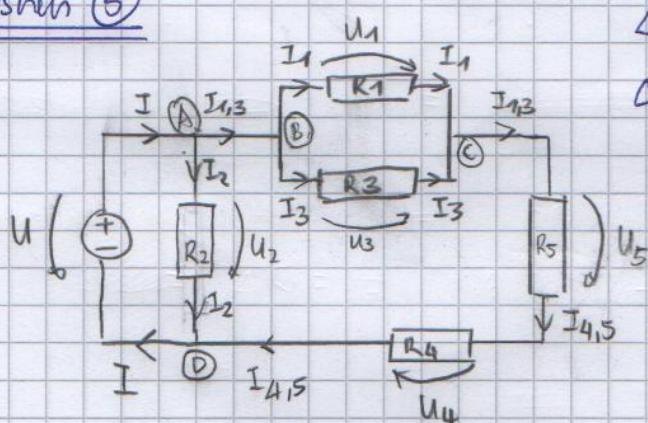
Johannes Sachse

Ableseungsfehler bei Nullinstrument = 0,025 mA.

Spannungsnormale ~~Fehler~~ = $(1,0000 \pm 0,0001)$ V

(b) Heilpot Position = 728 Scht. \pm 0,5 Scht

Teilversuch 5



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

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

Vorzeichen durch Striche gegeben. Die Befräge:

~~U = 10,04 V~~ I = 2,7 mA

~~U₁ = 1,974 V~~ I₁ = 0,6 mA

~~U₂ = 10,04 V~~ I₂ = 1,4 mA

~~U₃ = 1,974 V~~ I₃ = 0,7 mA

~~U₄ = 2,91 V~~ I_{4,5} = 1,3 mA

~~U₅ = 5,16 V~~ 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 Spannungsmessung $\Delta U = \pm 0,5\%$ 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	$(-1,673\,33 \pm 0,058\,45) \cdot 10^{-3} \text{ k}\Omega$	$(-1,67 \pm 0,06) \Omega$
c	$(1,345\,52 \pm 0,001\,55) \text{ V}$	$(1,3455 \pm 0,0016) \text{ V}$

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

Die extrapolierte Leerlaufspannung ist gegeben durch $U_q = (1,3455 \pm 0,0016)$ V, was kleiner als die gemessene Leerlaufspannung ist. Das ist vermutlich wegen der nicht vernachlässigbaren Widerstand des als Ampermeter benutzten Multimeters.

Für das Netzgerät ergibt sich das folgende Verhältnis:

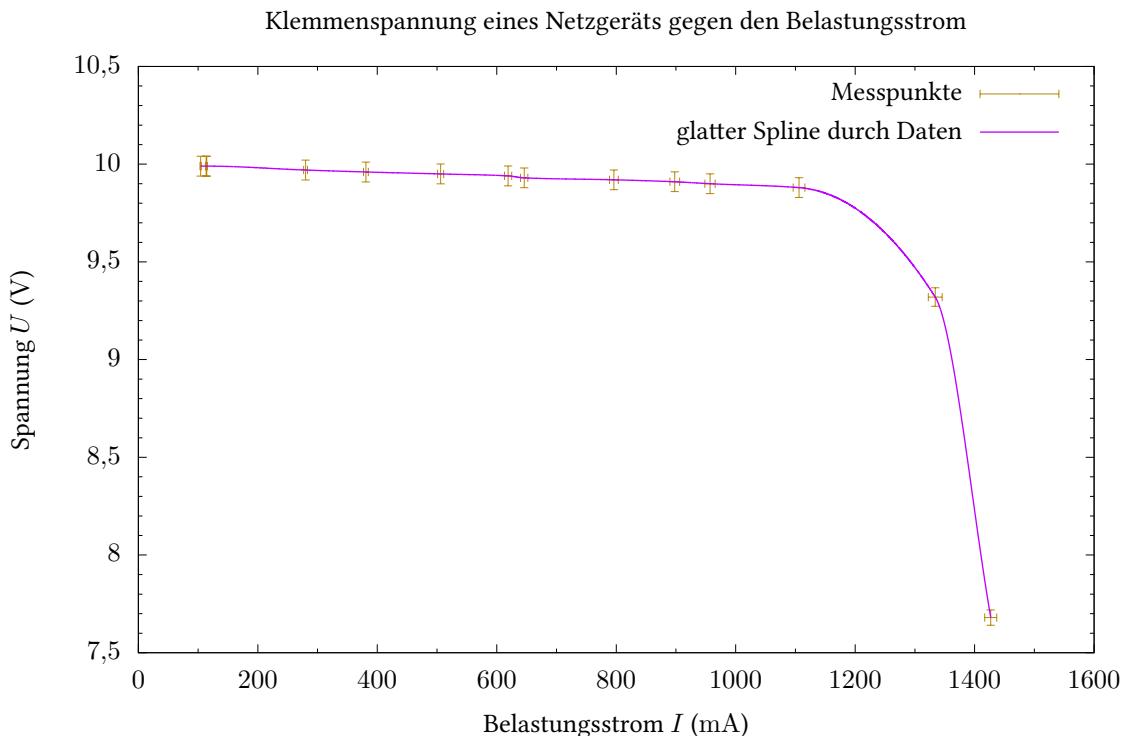


Abbildung 1.2: Belastungsabhängigkeit eines Netzgeräts

Für einen Belastungsstrom unterhalb ca. 1,1 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 A und die nimmt stetig Spannung 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 stabilisierte 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 $\Delta U = \pm 0,5\% \text{ Messwert} + 1 \text{ Digit}$

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

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.

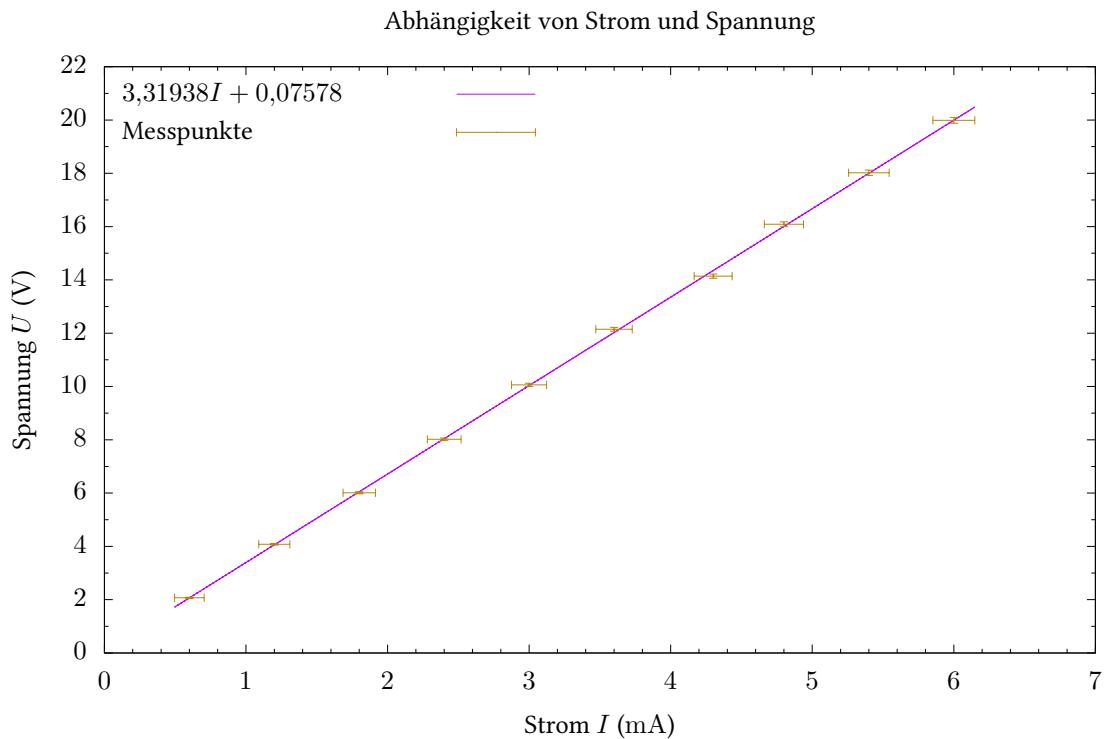


Abbildung 2.1: Bestätigung des Ohmschen Gesetzes
 $\chi^2_{\text{red}} = 0,043\,585\,6 \implies$ Gute Anpassung

Als Endergebnis erhalten wir:

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

Aus der Anleitung gilt das Ohmsche Gesetz:

$$U = IR \quad (2.1)$$

Also ist die Steigung den Widerstandswert und es gilt: $R = (3,319 \pm 0,017) \text{ k}\Omega$. 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	$(3,30 \pm 0,04) \text{ k}\Omega$
Multimeter	$(3,290 \pm 0,027) \text{ k}\Omega$
Steigung	$(3,319 \pm 0,017) \text{ k}\Omega$

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 Spannungsmessung $\Delta U = 0,5\%$ 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.

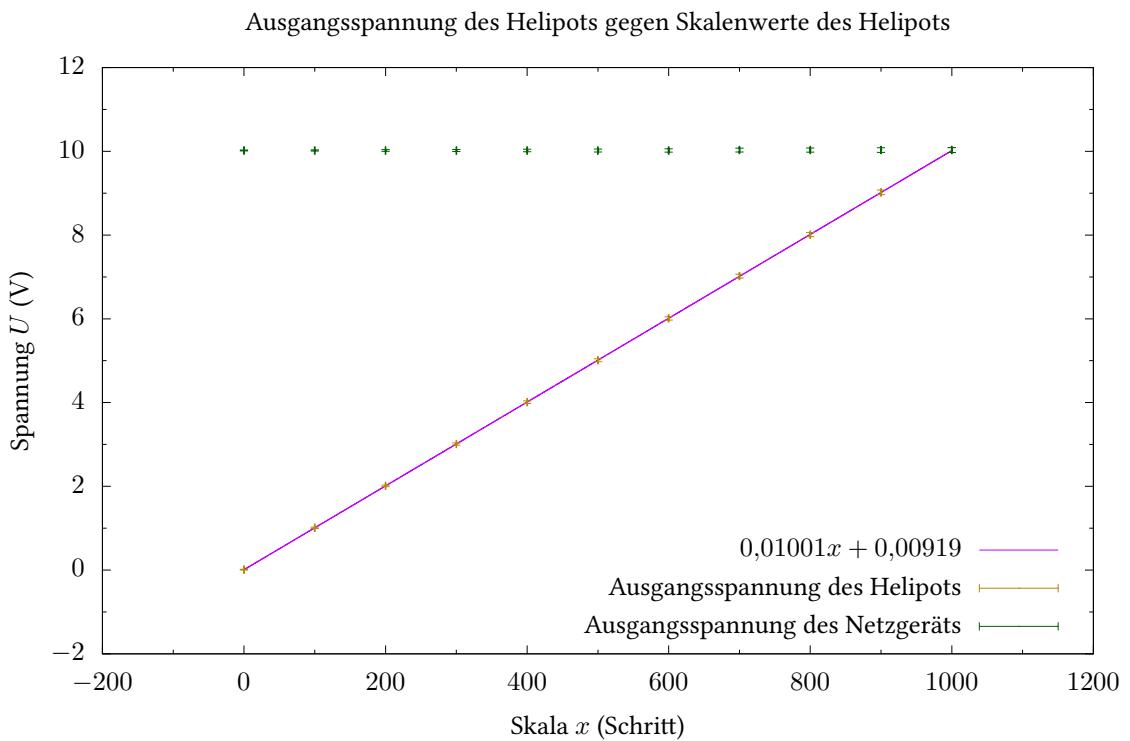


Abbildung 3.1: Spannungsabfall im Abhängigkeit vom Skalenwert des Helipots
 $\chi^2_{\text{red}} = 0,012\,133\,8 \Rightarrow$ Gute Anpassung

Als Endergebnis erhalten wir:

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

Aus der Anleitung gilt aus

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.1)$$

dass

$$U = \frac{x}{x_0} U_0 = \frac{U_0}{x_0} x \quad (3.2)$$

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 ± 0,005) V
Messung 2	(0,607 ± 0,005) V
Messung 3	(0,613 ± 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 gemessenen Teils.

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

Länge	Spannung
(20,0 ± 0,4) cm	(1,167 ± 0,007) V
(40,0 ± 0,4) cm	(2,370 ± 0,022) V
(60,0 ± 0,4) cm	(3,630 ± 0,029) V
(80,0 ± 0,4) cm	(4,86 ± 0,04) V
(90,0 ± 0,4) cm	(5,50 ± 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 eine 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 Kompensationsanordnung

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

Aus Kapitel 1.5 der Anleitung gilt dann das folgende Verhältnis:

$$U_0 = \frac{R_0}{R_N} U_N \quad (4.1)$$

Da R proportional zur Anzahl der Schritte auf dem Heliot ist, gilt auch:

$$U_0 = \frac{x_0}{x_N} U_N \quad (4.2)$$

mit dem entsprechenden Fehler:

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

Als Messwerten haben wir:

Variable	Wert	Bedeutung
x_0	(1000,0 ± 0,5) Schritt	Heliot Max Schritte
x_N	(537,0 ± 0,5) Schritt	Heliotwert bei ausgeglichenen Spannung
U_N	(1,0000 ± 0,0001) V	Normalspannung

Es gibt außerdem einen Ablesungsfehler bei der Nullinstrument von ±0,025 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 Heliotwert erhöhen:

Variable	Wert	Bedeutung
x_0	(1000,0 ± 0,5) Schritt	Heliot Max Schritte
x_N	(537 ± 2) Schritt	Heliotwert bei ausgeglichenen Spannung
U_N	(1,0000 ± 0,0001) V	Normalspannung

Somit ergibt sich

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

$$\begin{aligned} \Delta U_0 &= \frac{1000}{537} \times 1,0000 \text{ V} \times \sqrt{\left(\frac{0,5}{1000,0}\right)^2 + \left(\frac{2}{537}\right)^2 + \left(\frac{0,0001}{1,0000}\right)^2} \\ &= 7,000 \text{ 26} \cdot 10^{-3} \text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \end{aligned} \quad (4.5)$$

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

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

$$\begin{aligned} \Delta U_0 &= \frac{1000}{537} \times 1,0000 \text{ V} \times \sqrt{\left(\frac{0,5}{1000,0}\right)^2 + \left(\frac{2}{537}\right)^2} \\ &= 6,997 \text{ 78} \cdot 10^{-3} \text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \end{aligned} \quad (4.6)$$

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

Klemmungsspannung einer galvanische Zelle

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

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

mit dem entsprechenden Fehler:

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

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:

$$U_G = \frac{728}{1000} \times 1,826 \text{ V} = 1,32933 \text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \quad (4.9)$$

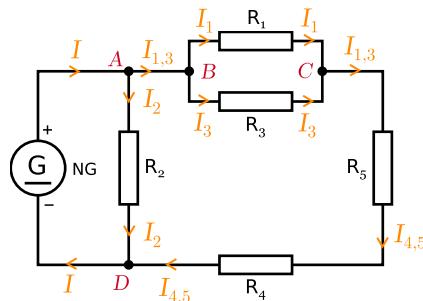
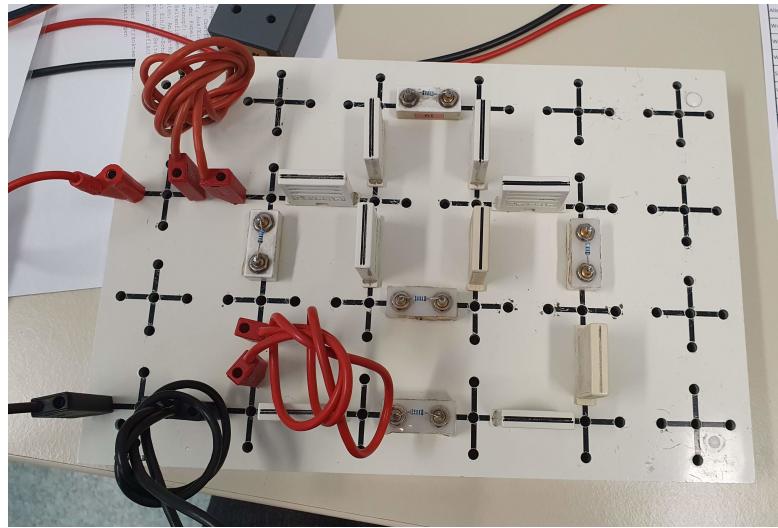
$$\begin{aligned} \Delta U_0 &= \frac{728}{1000} \times 1,826 \text{ V} \times \sqrt{\left(\frac{0,5}{1000,0}\right)^2 + \left(\frac{2}{728}\right)^2 + \left(\frac{0,008}{1,862}\right)^2} \\ &= 6,81168 \cdot 10^{-3} \text{ V} \quad (6 \text{ sig. Zif.}) \end{aligned} \quad (4.10)$$

eine Spannung von $U_G = (1,329 \pm 0,007)$ 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 Klemmungsspannung 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	$(2,70 \pm 0,13) \text{ mA}$
I_1	$(0,60 \pm 0,11) \text{ mA}$
I_2	$(1,40 \pm 0,12) \text{ mA}$
I_3	$(0,70 \pm 0,11) \text{ mA}$
$I_{4,5}$	$(1,30 \pm 0,12) \text{ mA}$
$I_{1,3}$	$(1,30 \pm 0,12) \text{ mA}$

Knoten A

Es gilt aus der Knotenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Knotenregel.

Knoten B

Es gilt aus der Knotenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Knotenregel.

Knoten C

Es gilt aus der Knotenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Knotenregel.

Knoten D

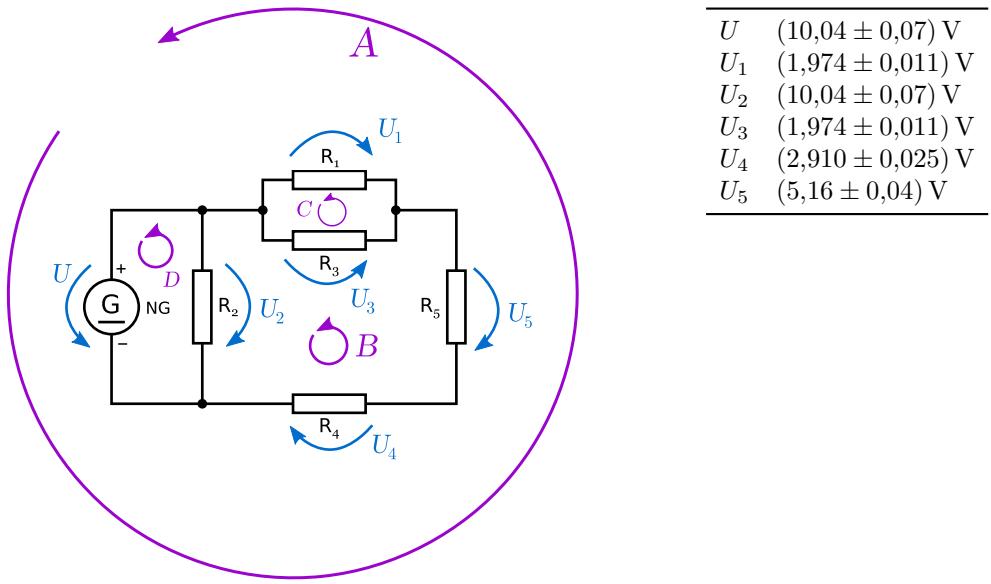
Es gilt aus der Knotenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Knotenregel.



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

Masche A

Es gilt aus der Maschenregel:

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

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

Nach Substitution:

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

$$\begin{aligned} \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0,07 \text{ V})^2 + (\Delta 0,025 \text{ V})^2 + (\Delta 0,04 \text{ V})^2 + (\Delta 0,011 \text{ V})^2} = 0,09 \text{ V} \\ \Rightarrow S &= (0,00 \pm 0,09) \text{ V} \end{aligned}$$

Also gilt die Maschenregel.

Masche B

Es gilt aus der Maschenregel:

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

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

Nach Substitution:

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

$$\begin{aligned} \Delta S &= \sqrt{(\Delta 0,07 \text{ V})^2 + (\Delta 0,025 \text{ V})^2 + (\Delta 0,04 \text{ V})^2 + (\Delta 0,011 \text{ V})^2} = 0,09 \text{ V} \\ \Rightarrow S &= (0,00 \pm 0,09) \text{ V} \end{aligned}$$

Also gilt die Maschenregel.

Masche C

Es gilt aus der Maschenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Maschenregel.

Masche D

Es gilt aus der Maschenregel:

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

Nach Substitution:

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

Also gilt die Maschenregel.

A gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 1

A.1 Galvanische Zelle

```

1  #!/usr/bin/env gnuplot
2
3  set term epslatex color size 6in, 4in
4  set output "tv1-plot.tex"
5  set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7  set title "Klemmenspannung einer galvanischen Zelle gegen den
8  ↪ Belastungsstrom"
9  set ylabel "Spannung $U$ ($\si{\volt}$)"
10 set xlabel "Belastungsstrom $I$ ($\si{\milli\ampere}$)"
11
12 set mxtics
13 set mytics
14 set samples 10000
15
16 f(x) = m*x + c
17
18 # (x, y, xdelta, ydelta)
19 fit f(x) "tv1.dat" u 1:2:(0.008*$1 + 0.001):(0.005*$2 + 0.001) xyerrors via
20 ↪ m, c
21
22 set xrange [0:40]
23
24 # Linien
25 set key top right spacing 1.3
26
27 titel = "$".gprintf("%.5f", m)." I + ".gprintf("%.5f", c)." "
28 plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
29      "tv1.dat" u 1:2:(0.008*$1 + 0.001):(0.005*$2 + 0.001) with xyerrorbars
30      ↪ title "Messpunkte" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod'
```

mit tv1.dat:

#	I/mA	U/V			
2	10,6	1,332	7	24,8	1,303
3	13,4	1,322	8	27,5	1,300
4	16,2	1,317	9	30,6	1,294
5	19,1	1,312	10	33,1	1,290
6	21,9	1,308	11	35,9	1,286
			12	38,7	1,282

Rohausgabe:

```

1 final sum of squares of residuals : 0.472523
2 rel. change during last iteration : -1.94302e-08
3
4 degrees of freedom      (FIT_NDF)          : 9
5 rms of residuals        (FIT_STDFIT)    = sqrt(WSSR/ndf)    : 0.229134
```

```

6 variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf   : 0.0525026
7 p-value of the Chisq distribution (FIT_P)           : 0.999976
8
9 Final set of parameters      Asymptotic Standard Error
10 =====
11 m      = -0.00167333      +/- 5.845e-05    (3.493%)
12 c      = 1.34552          +/- 0.001544    (0.1148%)
13
14 correlation matrix of the fit parameters:
15      m      c
16 m      1.000
17 c      -0.942  1.000

```

A.2 Netzgerät

```

1 #!/usr/bin/env gnuplot
2
3 set term epslatex color size 6in, 4in
4 set output "tv1-ng-plot.tex"
5 set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7 set title "Klemmenspannung eines Netzgeräts gegen den Belastungsstrom"
8 set ylabel "Spannung $U$ ($\si{\volt}$)"
9 set xlabel "Belastungsstrom $I$ ($\si{\milli\ampere}$)"
10
11 set mxtics
12 set mytics
13 set samples 10000
14
15 set style data lines
16
17 # Linien
18 set key top right spacing 1.3
19
20 plot "tv1-ng.dat" u 1:2:3:(0.005*$2 + 0.001) with xyerrorbars title
21   "Messpunkte" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod', \
22     '' using 1:2 smooth mcspline lw 2 lc rgb 'dark-magenta' title "glatter"
23   Spline durch Daten"

```

mit tv1-ng.dat:

#I/mA	U/V	Delta I/mA	9	646	9,93	6,168
104,2	9,99	0,9336	10	796	9,92	7,368
113,4	9,99	1,0072	11	898	9,91	8,184
114,6	9,99	1,0168	12	957	9,90	8,656
280	9,97	3,24	13	1106	9,88	9,848
381	9,96	4,048	14	1334	9,32	11,672
506	9,95	5,048	15	1427	7,68	10,016
619	9,94	5,952				

B gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 2

```

1  #!/usr/bin/env gnuplot
2
3  set term epslatex color size 6in, 4in
4  set output "tv2-plot.tex"
5  set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7  set title "Abhangigkeit von Strom und Spannung"
8  set ylabel "Spannung $U$ ($\si{\volt}$)"
9  set xlabel "Strom $I$ ($\si{milli\ampere}$)"
10
11 set mxtics
12 set mytics
13 set samples 10000
14
15 f(x) = m*x + c
16
17 # (x, y, xdelta, ydelta)
18 fit f(x) "tv2.dat" u 2:1:(0.008*$2 + 0.1):(0.005*$1 + 0.01) xyerrors via m,c
19
20 # Linien
21 set key top left Left spacing 1.3
22
23 titel = "$".gprintf("%.5f", m)." I + ".gprintf("%.5f", c)."$"
24 plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
25      "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		
1	2,07	0,6	7	12,15 3,6
2	4,08	1,2	8	14,14 4,3
3	6,01	1,8	9	16,09 4,8
4	8,02	2,4	10	18,02 5,4
5	10,06	3,0	11	19,99 6,0

Rohausgabe:

```

1  final sum of squares of residuals : 0.348685
2  rel. change during last iteration : -1.61199e-09
3
4  degrees of freedom (FIT_NDF) : 8
5  rms of residuals (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 0.208772
6  variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 0.0435856
7  p-value of the Chisq distribution (FIT_P) : 0.9999967
8
9  Final set of parameters Asymptotic Standard Error
10 ========
11 m = 3.31938 +/- 0.0161 (0.485%)
```

```

12      c          = 0.0757801      +/- 0.05424      (71.58%)
13
14 correlation matrix of the fit parameters:
15      m          c
16      m          1.000
17      c         -0.862  1.000

```

C gnuplot Quellcode zur Auswertung von Teilversuch 3

```

1 #!/usr/bin/env gnuplot
2
3 set term epslatex color size 6in, 4in
4 set output "tv3-plot.tex"
5 set decimalsign locale 'de_DE.UTF-8'
6
7 set title "Ausgangsspannung des Helipots gegen Skalenwerte des Helipots"
8 set ylabel "Spannung $U$ ($\\si{\\volt}$)"
9 set xlabel "Skala $x$ (Schritt)"
10
11 set mxtics
12 set mytics
13 set samples 10000
14
15 f(x) = m*x + c
16
17 # (x, y, xdelta, ydelta)
18 fit f(x) "tv3.dat" u 1:2:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) xyerrors via m,c
19
20 # Linien
21 set key bottom right spacing 1.3
22
23 titel = "$".gprintf("%.5f", m)."x + ".gprintf("%.5f", c).""
24 plot f(x) title titel lc rgb 'dark-magenta', \
25     "tv3.dat" u 1:2:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) with xyerrorbars title
26     ↳ "Ausgangsspannung des Helipots" pointtype 0 lc rgb 'dark-goldenrod',
27     ↳ \
28     "tv3.dat" u 1:3:(0.5):(0.005*$2 + 0.01) with xyerrorbars title
29     ↳ "Ausgangsspannung des Netzgeräts" pointtype 0 lc rgb 'dark-green'

```

mit tv3.dat:

	# Skalawert Helipot Netzgerät			
1	1000	10,03	10,03	500 5,01 10,02
2	900	9,02	10,03	400 4,01 10,02
3	800	8,01	10,03	300 3,01 10,02
4	700	7,02	10,03	200 2,01 10,02
5	600	6,01	10,02	100 1,01 10,02
6				0 0,01 10,02
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Rohausgabe:

```
1 final sum of squares of residuals : 0.109204
2 rel. change during last iteration : -1.71244e-09
3
4 degrees of freedom (FIT_NDF) : 9
5 rms of residuals (FIT_STDFIT) = sqrt(WSSR/ndf) : 0.110154
6 variance of residuals (reduced chisquare) = WSSR/ndf : 0.0121338
7 p-value of the Chisq distribution (FIT_P) : 1
8
9 Final set of parameters Asymptotic Standard Error
10 ========
11 m = 0.0100079 +/- 3.216e-06 (0.03213%)
12 c = 0.0091885 +/- 0.001003 (10.91%)
13
14 correlation matrix of the fit parameters:
15      m   c
16 m  1.000
17 c -0.617  1.000
```