27.10.2021

Versuch 232

Gleichströme, Spannungsquellen und Widerstände

- Lernziele:
  - Der Versuch soll mit charakteristischen Eigenschaften von Spannungsquellen vertraut machen (Leerlaufspannung, Innenwiderstand, Klemmspannung)
  - Es soll die Messung ohmscher Widerstände (sowohl absolut, als auch relativ) geübt werden, und außerdem sollen die verschiedenen charakteristische Leitertypen verstanden und unterschieden werd
- Sicherheitshinweise
  - Verbrennungsgefahr bei den Thermostatbecken.

Muss nicht rein!

- Geräte
  - Helipot – Wendelpotentiometer (erlaubt mehrere Umdrehungen des Drehrades),
  - Mavometer – Milliampere-Volt-Meter -(V)- bzw.
  - Drehspulmessgerät
  - Nullinstrument – Messgerät im Indikatorzweig einer ~~[illegible]~~ Brückenschaltung.
  - Digitalmultimeter (DMM)
  - Referenzwiderstände
  - Board (mit Widerständen)
  - Thermostat mit Heizung

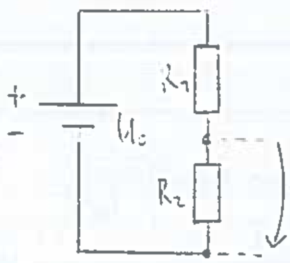
Geräte musst du nicht unbedingt aufzählen! Integriere sie und ihre Relevanz für den Versuch besser in der Theorie oder bei der Auswertung, wo du die Aufbauten erklärst!

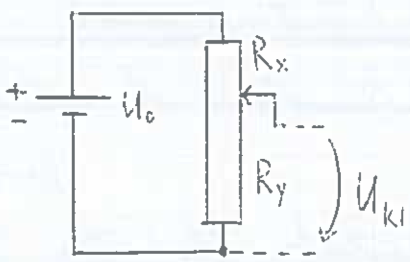
Erläuterungen

- Spannungs- und Stromquellen
  - ideale Spannungsquelle: vom entnommenen Strom unabhäng. Spannung U_0
  - reale Spannungsquelle: liefert stromabhängige Spannung.

- Innenwiderstand (R_i) charakterisiert den Ausgang eines elektronischen Bauteils bzw. Geräts bei Belastungsänderung:
  - a.) bei Ampermetern eher gering (aber nie Null)
  - b.) bei Voltmetern eher groß, daher Parallelschaltung mit zu messendem Wiederstand führt zu Messfehler in der Stromstärke (analog Ampermeter: Reihenschaltung → Messfehler bzgl. Spannung
- Klemmspannung (U_{kl}) keine Abkürzung
  - a.) Def.: die Spannung zw. den Polen einer elek. Quelle (bei geschlossenem Stromkreis
  - b.) lastabhängig
- Leerlaufspannung (U_0)
  - a.) wird an den Klemmen einer offenen Spannungsquelle gemessen.
  - b.) abnehmende Belastung ⇒ ~~R~~ $U_{kl} \to U_0$

• Spannungsteiler- und Potentiometerschaltung
- Zweck: aus vorhandenem U_0 ein geeignetes U_{kl}
- Spannungsteiler (R_1 und R_2 fest) bzw. Potentiometerschaltung ($R_G=R_x+R$ kontinuierlich teilbar):





• Kompensationsschaltung (nach Poggendorff) Wenn die Schaltung vorstellt, dann bezug mit Skizze
- Methode zur stromlosen Messung einer unbekannten Spannung (U_0).
- Stromlosigkeit mit Nullinstrument festgelegt (Zeiger darf nicht zucken.

• Messbereichserweiterung
- Drehspulmessinstrumente:

Innenwiderstand gibt den Maximalstrom (durch die Drehspule) und Maximalspannung (an der Spule anliegend) an.

- Größere Ströme → entsprechender Anteil des Stromes muss am Messwerk vorbei geleitet werden (über Parallelwiderstand)
- Größere Spannung → entsprechender Spannungsanteil vor dem Messwerk muss abfallen (~~...~~ über einem Serien- oder Vorwiderstan

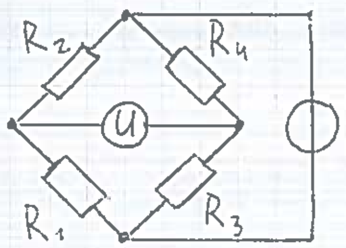
- Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands
  - Im metallischen Leiter:
    a.) tragen ausschließlich $\bar{e}$ zur Stromleitung bei.
    b.) stellt jedes Atom (im Mittel) ein Leitungselektron zur verfügung.
    c.) gilt: je höher die Temperatur, desto mehr Phononen (als Quasi-Teilchen aufgefasste Gitterschwingungen), desto mehr Streuung, dest geringer die Beweglichkeit der $\bar{e}$.
    d.) nimmt der spezifische Widerstandsd. (ρ) mit sinkender Temperatur T einen Temperaturabhängigen Wert an, der von der Reinheit des Metalls abhängt (supraleiter weichen hiervon ab).
  - In Isolatoren:
    a.) wird die Leitfähigkeit mit zunehmender Temperatur höher.
    b.) kann die Temperatur meist nicht hoch genug ansteigen, so dass diese zu Halbleitern werden (da diese Temperatur meistens über dem Schmelzpunkt des Isolators liegt)
  - Im Halbleitern (reinen / undotierten)
    a.) sehr Tiefe Temperaturen → Valenzband gefüllt, Leitungsban leer (bei T ≈ 0K: reiner Halbleiter → Isolator)
    b.) Erhöhung der Temperatur → $\bar{e}$ werden in das LB angeregt → diese hinterlassen Löcher, die positiver Ladung entsprechen im VB.
    c.) „Gap"-Energie (E_G) – die Breite des Bereichs zw. beiden Bändern, in dem es keine möglichen Zustände gibt.

d.) Eigenleitung ergibt sich aus beiden Ladungsträgerarten.
e.) Anzahldichten der Ladungen sind gleich.

- NTC ~~und~~ und PTC:
  a.) NTC: steigende Temperatur → Widerstand nimmt ab → → höhere Leitfähigkeit (Heißleiter)
  b.) PTC: steigende Temperatur → Widerstand nimmt zu → → niedrigere Leitfähigkeit (Kaltleiter)
  c.) Temperaturabhängige Widerstände - Thermistoren.

• Zusatz

- Wheatstonesche Brückenschaltung (Grundaufbau):



Abgleichverfahren: $U = U_5 = 0$, dann

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

- Normalelement
  a.) eine spezielle Art der galvanischen Zelle (chem. in el. Energie)
  b.) Cd (Cadium) + Hg_2SO_4 (Quecksilber (I)-Sulfat) → → $CdSO_4$ (Cadiumsulfat) + 2Hg (Quecksilber)

Formeln und Gesetze

$R = \frac{U}{I}$ Knotenregel: $\sum_{n=1}^{N} I_n = 0$ Maschenregel: $\sum_{n=1}^{N} U_n = 0$

Parallelschaltung: $\frac{1}{R_g} = \sum_{n=1}^{N} \frac{1}{R_n}$ Reihenschaltung: $R_g = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{n=1}^{N} R$

$U_{Kl} = U_0 - R_i \cdot I = U_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_a}}$ $\sigma = e \cdot (n^- \cdot z^- \cdot \mu^- + n^+ \cdot z^+ \cdot \mu^+)$ $\frac{1}{\sigma} = \rho$

$\rho = \frac{R \cdot A}{l}$ Metall: aus $\sigma \sim \frac{1}{T}$ ⇒ $R \sim T$ (reine) Halbleiter: aus ...

$\Delta R = \alpha \, \Delta T \, R_0$ $\chi_m = \frac{C}{T - T_c}$ ... $\sigma = e^{-\frac{E_G}{kT}}$ ⇒ $R = R_0 \cdot e^{\frac{E_G}{2kT}}$

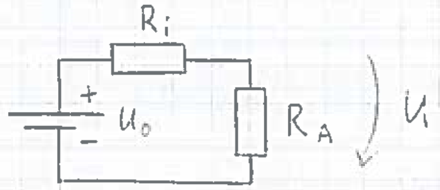
$R = \Delta R + R_0$

Größen benennen

Voraufgaben

Aufgabe 232. A

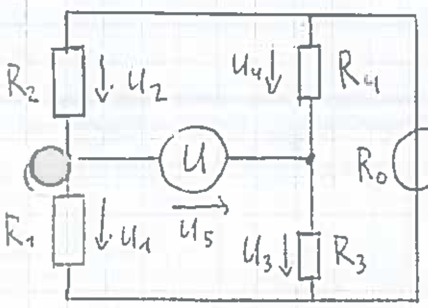
Ideale Stromquelle – Stromquelle die unabhängig von dem entnommenen Strom eine Spannung U_0 liefert.



Aufgabe 232. B

Um die Leerlaufspannung zu Messen benötigt man ein Spannungsmessgerät mit wesentlich größerem Widerstand als R_i der Quelle. Dieser minimiert die Belastung der Quelle durch das Instrument. Um R_i zu bestimmen muss man U_0 kennen, dann einen bekannten Widerstand dazuschalten und mit $\frac{U_0 - U}{I} = R_i$ bestimmen.

Aufgabe 232. C



Bekannt: $U_1 = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}$

$U_3 = U_0 \frac{R_3}{R_3 + R_4}$

$\rightarrow U_5 = U_1 - U_3 = U_0 \frac{R_1}{R_1+R_2} - U_0 \frac{R_3}{R_3+R_4}$

Setze $I = 0$, also $U_5 = 0$, damit: $U_1 = U_3$, also

$$U_0 \frac{R_1}{R_1+R_2} = U_0 \frac{R_3}{R_3+R_4} \Rightarrow 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

bzw. sei $R_3 = R_x$ und $R_4 = R_0$ $\Rightarrow R_x = R_0 \cdot \frac{R_1}{R_2}$

Aufgabe 232. D.

Man muss den Vollausschlag des Geräts verändern, dazu kann man parallel einen Widerstand R_x schalten, der dann R_i (den Innenwiderstand) beeinflusst.

Rechnung: $U_{max} = R_i \cdot I_{max} = 1\,\Omega \cdot 1\,mA = 1\,mV = 1 \cdot 10^{-3}\,V$

$$I_x = I - I_{max} = 3{,}999\,A$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{1\,mV}{3{,}999\,A} \approx 0{,}25\,m\Omega$$

Aufgabe 232. E

Wir haben $U_{max} = 1\,V$, $R_i = 100\,k\Omega = 1 \cdot 10^5\,\Omega$, $I = 10\,\mu A$

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R_i} = \frac{1\,V}{1 \cdot 10^5\,\Omega} = 1 \cdot 10^{-5}\,A = 10 \cdot 10^{-6}\,A = 10\,\mu A$$

Der Messbereich des Geräts reicht aus.

Aufgabe 232 F

Mit dem Ansatz $U = R \cdot I$ kann man zwar nicht direkt die Spannung messen, aber aus gemessener Stromstärke und bekanntem Widerstand auf diese schließen. Für genauere Messungen der Spannung sollte man noch einen Widerstand in Reihe schalten, da sonst der Innenwiderstand zu niedrig sein könnte

Aufgabe 232. G

Aus den Schaltbildern folgt direkt (unter Beachtung von Reihen- und Parallelschaltungen):

$$\cancel{\left(a.)\ R_A = R_I + \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} + R_p \quad \text{und} \quad b.)\ R_B = \frac{(R_I + R_x) \cdot R_v}{R_I + R_x + R_v}\right)}$$

a.) $R_A = R_I + \dfrac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} + R_p$ und

b.) $R_B = \dfrac{(R_I + R_x) \cdot R_v}{R_I + R_x + R_v} + R_p$

232.3.2

Spannungsquelle (2-4 V)

$R_x = 20\,\Omega$, $R_y = 50\,\Omega$

Widerstandskaskade [$R_L = (0-130)\,\Omega$]

Multimeter: - als Amperemeter
- als Voltmeter

Messfehler

$\pm 0\,\Omega$

$\pm 0{,}15\,\Omega$

$\pm 0{,}5$ der kleinsten Skalierung.

232 d.

R (Ω)	I	V
0	38	4,5
2	33	21,5
5	28	39,5
7	25,5	49
10	23	12
15	19	15
20	16,5	16,5
30	13	19,5
50	9	22
100	5	25

250 mA
1 V

250 mA
5 V

232. f a.)

Helipot-Skalenwert	U
1,00	2
1,50	12
2,00	21,5
2,50	31
3,00	40,5
3,50	50

Messfehler:

Helipot $\pm 0{,}4\,\Omega$

(bei 100 / 1000 Skala)

) bei $R_L = 20\,\Omega$

Helipot Skalenwert	U
1,00	2
1,50	9
2,00	14,5
2,50	18,5
3,00	22
3,50	25,5

c.) bei $R_L = 50\,\Omega$

Helipot Skalenwert	U
1,00	2
1,50	10,5
2,00	18
2,50	24,5
3,00	30
3,50	36

232.3 Messung der Leerlaufspannung

Batterie 0 bei 71 cm mit Messfehler Galvanometer: $\pm$ 1 mV

Hochohmige Spannungsquelle (U_2) 0 bei 59,9 cm

↳ (bei 5V max) Marometer $U_0 = 1{,}35\,V$ und DMM $U_0 = 1{,}38\,V$

232.4. Skalenwert auf Helipot : 3,0

232.3.1:

Spannung (U)	Strom (I)
21	32
22,5	34
24	36
25	38
26	40
28	42
29	44
30	46
32	48
33	50

Amperemeter (50 mA)

Voltmeter (5 V)

R_i :

Amperemeter: $2{,}1\,\Omega$

Voltmeter: $2{,}51 \cdot 10^3\,\Omega$

232.5

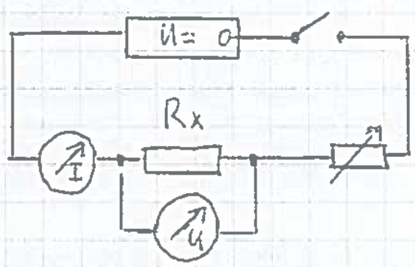
T (°C)	1	2 (Ω)	3	4 (kΩ)	5 (Ω)
20,4	1,16 kΩ	4,6	102,4 Ω	1,083	100,5
25	0,9 kΩ	4,5	117 Ω	1,11	99
30	0,78 kΩ	4,5	124,8 Ω	1,12	100,5
35	0,59 kΩ	4,4	156,7 Ω	1,14	100,5
40	507 Ω	4,4	208 Ω	1,163	100,5
45	430,9 Ω	4,5	299 Ω	1,184	100,5
50	359 Ω	4,5	533,1 Ω	1,191	100,5
55	300,5 Ω	4,3	1,275 kΩ	1,211	100,5
60	243,2 Ω	4,5	5,471 kΩ	1,239	100,5
65	212,4 Ω	4,6	31,79 kΩ	1,255	100,5
70	185,2 Ω	4,6	73,12 kΩ	1,272	100,5
75	157,7 Ω	4,6	99 kΩ	1,290	100,6
80	137,1 Ω	4,6	174 kΩ	1,296	100,6
85	116,5 Ω	4,6	208,74 kΩ	1,302	100,5
90	100,6 Ω	4,5	243,5 kΩ	1,346	100,5
95	84,3 Ω	4,6	270,6 kΩ	1,365	100,6

232.3 Versuchsdurchführung

232.3.1. Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungmessung

Aufgabe 232.a:

(A)



Aufbau:	Messfehler:
- Spannungsquelle (4V)	- ideal angenommen
- Mavometer (A und V)	- ±0,5 der kleinsten Skalierung
- Widerstand (R_2)	- ideal angenommen

Einstellungen der Mavometer: Schön ordentlich :)

a.1 Amperemeter : 50mA = 0,05 A

b. Voltmeter : ... V

Umrechnung der Messfehler: es wurde von der 50-er Skala abgelesen, also

a.) Ampermeter: $\frac{50\,mA}{50} \cdot 0{,}5 = 0{,}5\,mA \Rightarrow$ Messfehler: $\pm 0{,}5\,mA$

b.) Voltmeter: $\frac{5\,V}{50} \cdot 0{,}5 = 0{,}05\,V \Rightarrow$ Messfehler: $\pm 50\,mV$

Messwerte umrechnen: $\frac{50\,mA}{50} \cdot x = U$?

wobei x, y – Messwerte.

$\frac{5\,V}{50} \cdot y = I$?

Umgerechnete Werte:

I (Ampermeter)	I (A)	ΔI	U (Voltmeter)	U (V)	ΔU
32	0,032	0,016	21	2,10	0,024
34	0,034	0,015	22,5	2,25	0,022
36	0,036	0,014	24	2,40	0,021
38	0,038	0,013	25	2,50	0,020
40	0,040	0,013	26	2,60	0,019
42	0,042	0,012	28	2,80	0,018
44	0,044	0,011	29	2,90	0,017
46	0,046	0,011	30	3,00	0,017
48	0,048	0,010	32	3,20	0,016
50	0,050	0,010	33	3,30	0,015

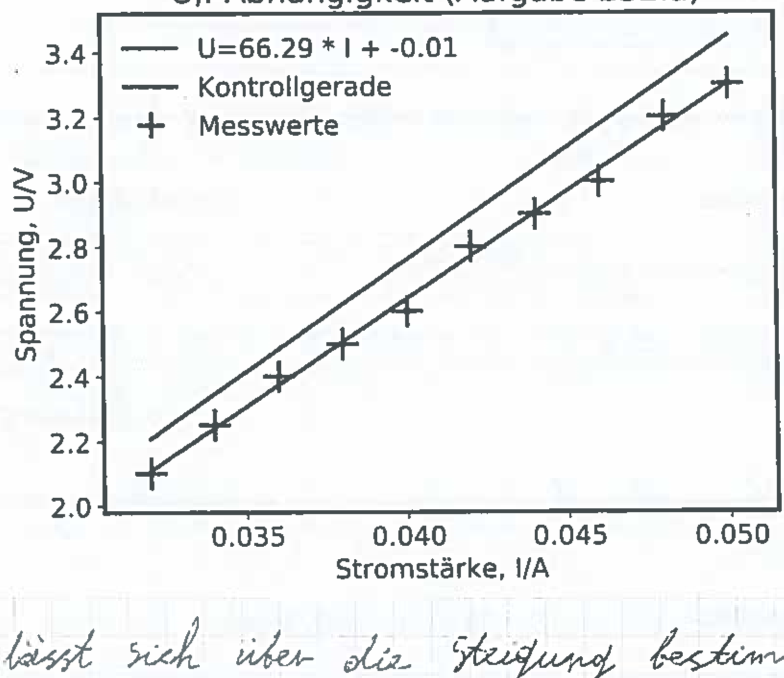
Messfehler:

$\pm 0{,}5\,mA$

$\pm 50\,mV$

Graphische Darstellung (UI-Diagramm):

U,I-Abhängigkeit (Aufgabe 232.a)



(*)

Geradenfit:

$y = a + b\,x$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \tilde{x})\cdot(y_i - \tilde{y})}{\sum_{i=0}^{n}(x_i - \tilde{x})^2}$$

mit x_i, y_i – jeweilige Werte,

und $\tilde{x}, \tilde{y}$ – Mittelwerte

damit: $b \approx 66{,}6$

$a = \tilde{y} - b\tilde{x} \approx 0{,}0003$

R_A lässt sich über die Steigung bestimmen: Und die wäre? Wie hast du das bestimmt?

$b = R_A = 66{,}06\,\Omega$, der Messfehler bleibt auch erhalten $\Rightarrow R_A = (66{,}06 \pm 0{,}44)\,\Omega$

Aufgabe 232.b: Aufgabenstellung?

Gemessene Innenwiderstände: DMM-Messfehler:

a.) Amperemeter: $R_I = 2{,}1\ \Omega$ kleinste Stelle → $0{,}1\ \Omega$ für R_I

b.) Voltmeter: $R_V = 2{,}51 \cdot 10^3\ \Omega$ und $0{,}01 \cdot 10^3\ \Omega$ = $10\ \Omega$ für R_V

In der durchführung der Messung: $R_x = R_2$

1* $R_x = \dfrac{R_V(R_A - R_I)}{R_V - R_A + R_I} \approx 66{,}09$

1* da $R_A = R_I + \dfrac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V}$ ← wie hast du das ~~??~~ berechnet? Hier fehlen ein paar Schritte.

Messfehler von R_x über Gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmbar:

verständlich?

$$\Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_A} \cdot \Delta R_A\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_I} \Delta R_I\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_V} \Delta R_V\right)^2} = 0{,}48 \text{, damit}$$

$R_x = (66{,}09 \pm 0{,}48)\ \Omega$

Bitte klarer trennen!

(*) Geradenfit:

$y = a + bx$ mit b - Steigung.

bei $b = \dfrac{\overline{xy} - \bar{x}\,\bar{y}}{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \approx 66{,}06$ mit $\bar{x}, \bar{y}$ - Mittelwerte (analog $\overline{xy}$ und $\overline{x^2}$)

$a = \bar{y} - b\bar{x} \approx -0{,}00348$

Fehlerbestimmung von a und b (mit der varianzgemittelten Standardabweichung):

$\overline{\sigma_y^2} = \dfrac{N}{\sum_{n=1}^{N} \frac{1}{\sigma_n^2}}$ mit $N = 10$ $\sigma_n = \dfrac{\Delta y}{y_n}$ ⇒ $\overline{\sigma_y^2} = 0{,}0001459$

⇒ b-Fehler: $\Delta b = \dfrac{\overline{\sigma_y^2}}{N(\overline{x^2} - (\bar{x})^2)} \approx 0{,}44$ also Messfehler: $\pm 0{,}44$

a-Fehler: $\Delta a = \Delta b \cdot \overline{x^2} = 0{,}018$

⇒ Geradengleichung: $y = 66{,}06\ (\pm 0{,}44)\,x - 0{,}00348\ (\pm 0{,}018)$

Der digital ermittelte Geradenfit unterscheidet sich von dem hier errechnetem (wahrscheinlich) durch Näherungen und Rundungsfehler.

Aufgabe 232.c   Aufgabenstellung?

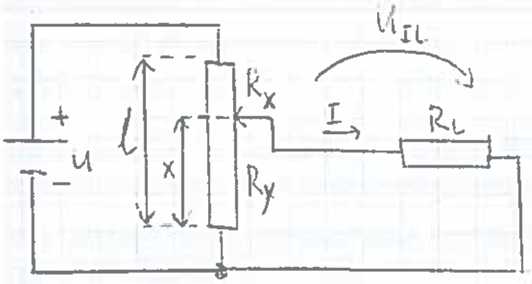
Messfehler Digitalmultimeter = kleinste Stelle = 0,1 Ω

Gemessener Wert: $R_x = R_2 = 69\ \Omega$, damit

$R_x = R_2 = (69 \pm 0{,}1)\ \Omega$

Die Abweichung von dem errechneten Wert entstand sehr wahrscheinlich aus Ablese- und Rundungsfehlern.

232.3.2. Belastete Potentiometerschaltung



Aufbau:	Messfehler:
- Spannungsquelle (4 V)	- ideal angenommen
- $R_x = 20\ \Omega$, $R_y = 50\ \Omega$	- ideal angenommen
- $R_L = (0-130)\ \Omega$ (Board)	- $\pm 0{,}15\ \Omega$
- Mavometer (A und V)	- $\pm 0{,}5$ der kleinsten Skalierung

Aufgabe 232.d

Einstellungen der Mavometer:

a.) Amperemeter: Messwerte 1-10 gemessen bei 250 mA = 0,25 A

b.) Voltmeter: Messwerte 1-4 bei 1 V und Messwerte 5-10 bei 5 V.

Umrechnung der ~~Messwerte~~ Messfehler: es wurde von der 50-er Skala abgelesen, also

a.) Amperemeter: $\frac{0{,}25\,A}{50} \cdot 0{,}5 = 0{,}0025\,A \Rightarrow$ Messfehler: $\pm 2{,}5\,mA$

b.) Voltmeter: 1.) $\frac{1\,V}{50} \cdot 0{,}5 = 0{,}01\,V \Rightarrow$ Messfehler: $\pm 0{,}01\,V$

2.) $\frac{5\,V}{50} \cdot 0{,}5 = 0{,}05\,V \Rightarrow$ Messfehler: $\pm 0{,}05\,V$

Messwerte umrechnen: $\frac{0{,}25\,A}{50} \cdot x = \ldots$

$\frac{1\,V}{50} \cdot y_1 = \ldots$ $\frac{5\,V}{50} \cdot y_2 = \ldots$

Umgerechnete Messwerte:

Bestimmen von dem Innenwiderstand des Ampermeters über

$$R_I = \frac{U(R_0)}{I(R_0)} = \frac{U_1}{I_1} \approx 0{,}4737\ \Omega$$

Messfehler von R_I über Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta R_I = \sqrt{\left(\frac{\partial R_I}{\partial I_1}\right)^2 \cdot \Delta I_1^2 + \left(\frac{\partial R_I}{\partial U_1}\right)^2 \cdot \Delta U_1^2} = 0{,}053\ \Omega$$

$\Rightarrow \Delta R_I = \pm 0{,}053\ \Omega \quad \Rightarrow \quad R_I = (0{,}4737 \pm 0{,}053)\ \Omega$ runden

Nun wurde U_L, also die tatsächliche Spannung über der Last mit: $U_L = U_{IL} - IR_I$ berechnet, der Messfehler über Gauß.

R (Ω)	I (Ampermeter)	I (A)	U (Voltmeter)	U_IL (V)	U_L	ΔU_L
0,00	38	0,1900	4,5	0,09	-0,00000300	0,1117405
2,00	33	0,1650	21,5	0,43	0,35183950	0,0258616
5,00	28	0,1400	39,5	0,79	0,72368200	0,0169364
7,00	25,5	0,1275	49	0,98	0,91960325	0,0153642
10,00	23	0,1150	12	1,20	1,14552450	0,0433510
15,00	19	0,0950	15	1,50	1,45499850	0,0359424
20,00	16,5	0,0825	16,5	1,65	1,61091975	0,0338149
30,00	13	0,0650	19,5	1,95	1,91920950	0,0316429
50,00	9	0,0450	22	2,20	2,17868350	0,0348538
100,00	5	0,0250	25	2,50	2,48815750	0,0514361

$U_{max} = 1$

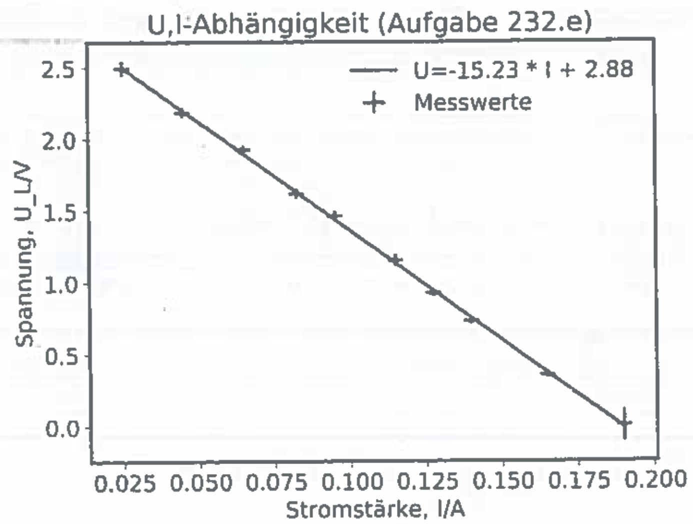
$U_{max} = 5$

Aufgabe 232.e Aufgabenstellung? Was machst du hier und wieso?

Geradenfit: $y = a + xb$ mit $b = \frac{\overline{xy} - (\overline{x}\,\overline{y})}{\overline{x^2} - (\overline{x})^2} = \frac{\overline{xy} - \overline{x}\,\overline{y}}{\overline{x^2} - (\overline{x})^2}$, $a = \overline{y} - b\overline{x}$

x	y	x*y	x^2	<x>	b
0,1900	-0,0000030	- 0,000000570000	0,0361	0,105	-15,233881
0,1650	0,3518395	0,058053517500	0,027225	<y>	a
0,1400	0,7236820	0,101315480000	0,0196	1,2792615	2,878819
0,1275	0,9196033	0,117249414375	0,01625625	<x*y>	
0,1150	1,1455245	0,131735317500	0,013225	0,096447220875	
0,0950	1,4549985	0,138224857500	0,009025	<x^2>	
0,0825	1,6109198	0,132900879375	0,00680625	0,01351125	
0,0650	1,9192095	0,124748617500	0,004225	<x>^2	
0,0450	2,1786835	0,098040757500	0,002025	0,011025	
0,0250	2,4881575	0,062203937500	0,000625	<x>*<y>	
				0,1343224575	

<...> - jeweiliger Mittelwert.



Es soll die Relation:

$$U = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot U_0 - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \cdot I = U_0^S - R_i^S \cdot I$$

verifiziert werden

$$U = y = -15{,}23 \cdot I + 2{,}88 = -R_i^S \cdot I + U_0^S$$

$\Rightarrow R_i^S \approx 15{,}23\ \Omega$

$U_0^S \approx 2{,}88\ V$

Wie wurde das gemacht? Ergebnis?

Aufgabe 232.f.   Wodran? Aufbau? Aufgabenstellung?

Helipot wird angeschlossen → Messfehler $\pm \frac{4}{1000}$ (bei 100 Ω → ±[illegible]

Umrechnung der Messungen:

$\frac{1V}{50} \cdot X = \ldots V$ (X – Voltmeteranzeige)

$\frac{x}{l} = \frac{\text{Helipotanzeige}}{1000}$ $R_y = \frac{x}{l} \cdot 100\ \Omega$ $R_x = (100 - R_y)\ \Omega$

a.) für $R_L = \infty\ \Omega$!

(Ω)

Helipot Skala	x/l	U (Voltmeter)	U (V)	R_y	R_x
100	0,1	2	0,04	10,00	90,00
150	0,15	12	0,24	15,00	85,00
200	0,2	21,5	0,43	20,00	80,00
250	0,25	31	0,62	25,00	75,00
300	0,3	40,5	0,81	30,00	70,00
350	0,35	50	1,00	35,00	65,00

Messfehler für U (V): ± 0,01 V

b.) für $R_L = 20\ \Omega$;

(Ω)

Helipot Skala	x/l	U (Voltmeter)	U (V)	R_y	R_x
100	0,1	2,00	0,04	10,00	90,00
150	0,15	9,00	0,18	15,00	85,00
200	0,2	14,50	0,29	20,00	80,00
250	0,25	18,50	0,37	25,00	75,00
300	0,3	22,00	0,44	30,00	70,00
350	0,35	25,50	0,51	35,00	65,00

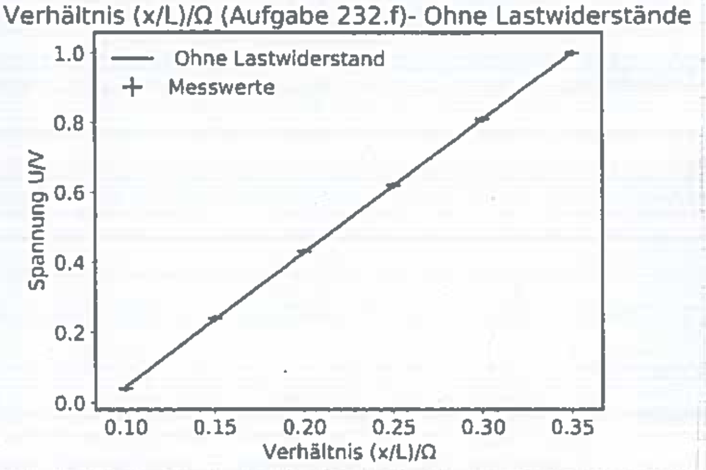
c.) für $R_L = 50\ \Omega$;

(Ω)

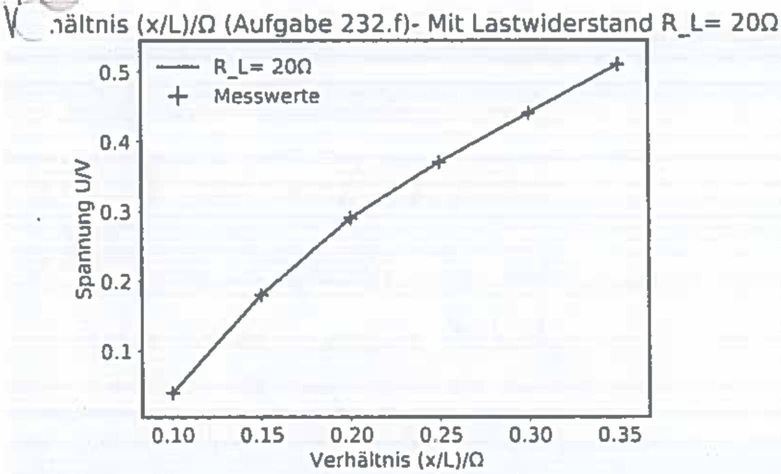
Helipot Skala	x/l	U (Voltmeter)	U (V)	R_y	R_x
100	0,1	2,00	0,04	10,00	90,00
150	0,15	10,50	0,21	15,00	85,00
200	0,2	18,00	0,36	20,00	80,00
250	0,25	24,50	0,49	25,00	75,00
300	0,3	30,00	0,60	30,00	70,00
350	0,35	36,00	0,72	35,00	65,00

U_{IL} und $\frac{x}{l}$ Abhängigkeit (für die einzelnen Fälle):

a.) für $R_L = \infty\ \Omega$:

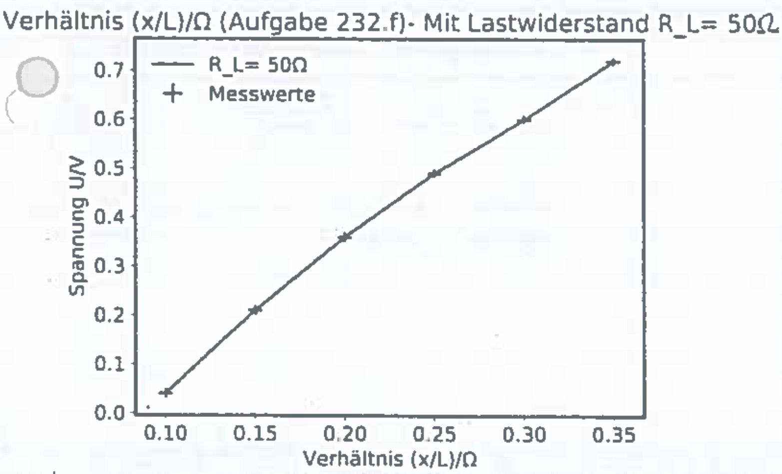


Aus dem Graphen ist die lineare Abhängigkeit von U_{IL} und $\frac{x}{l}$ ersichtlich, außerdem ist die Abhängigkeit von U_0 bekannt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass $U_{IL} = \frac{x}{l} \cdot U_0$ gilt.



Fazit:

es wurden sehr wahrscheinlich zu wenige bzw. zu niedrige Messungen durchgeführt, um einen allgemeinen Trend für die Beziehung zw. U und $\frac{x}{l}$ zu bestimmen. Dies lag hauptsächlich daran, dass aus der Aufgabenstellung nicht hervorging, worauf dieser Versuch abzielen soll (Anzahl der Messungen, was diese abdecken sollen, gewünschtes Ergebnis etc.)



Aufgabe 232 g

Eigentlich kannst du sehr gut eine Tendenz sehen.
→ höherer Widerstand → desto linearer

Die Leistung am Lastwiderstand lässt sich über $P = \frac{U^2}{R}$ berechnen (für jeweils $R_L = 20\,\Omega$ und $R_L = 50\,\Omega$). Bei $R_L = \infty\,\Omega$ nimmt die Leistung den Wert Null an, was auch zu erwarten ist, da kein Strom fließt.

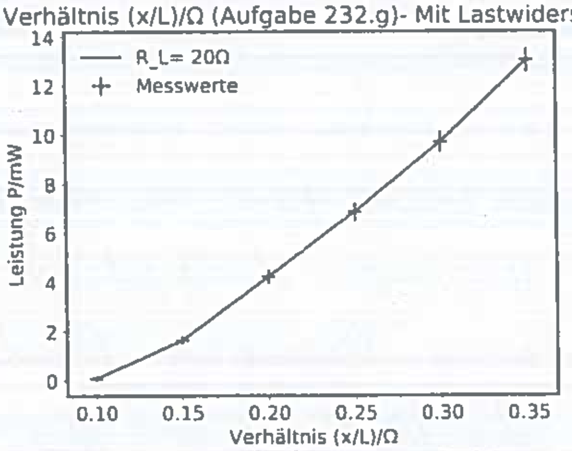
Berechnung von P und dem entsprechenden Fehler über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

P-Fehler $= \Delta P = \frac{\partial P}{\partial U} \cdot \Delta U = 2\frac{U}{R} \cdot 0{,}01$, da wir die Lastwiderstände als ideal angenommen haben

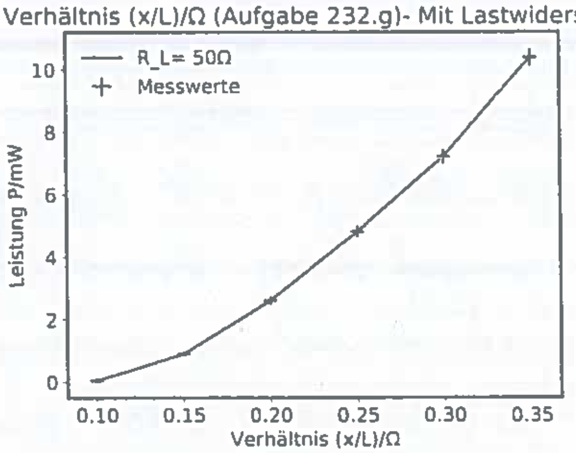
P bei R=20	P-Fehler	P bei R=50	P-Fehler
0,000080	0,00004	0,000032	0,000016
0,001620	0,00018	0,000882	0,000084
0,004205	0,00029	0,002592	0,000144
0,006845	0,00037	0,004802	0,000196
0,009680	0,00044	0,007200	0,000240
0,013005	0,00051	0,010368	0,000288

Graphische Darstellung:

Leistung zu Verhältnis (x/L)/Ω (Aufgabe 232.g)- Mit Lastwiderstand R_L= 20Ω



Leistung zu Verhältnis (x/L)/Ω (Aufgabe 232.g)- Mit Lastwiderstand R_L= 50Ω

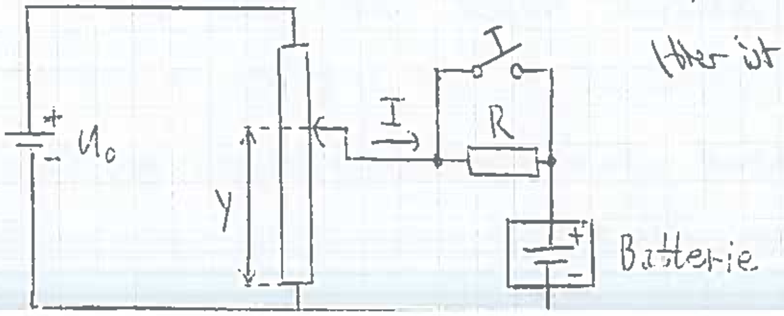


Fazit:

Hier entstand ein ähnliches Problem wie bei der 232.f: Mangel an Daten führt dazu, dass man das eigentlich quadratische Verhalten (ersichtlich aus der Formel $P = \frac{U^2}{R}$) nicht auf den Graphen beobachten kann. Was siehst du denn sonst?

232.3.3 Messung der Leerlaufspannung einer Batterie mit Hilfe einer Kompensationsschaltung.

Hier ist die Kalibrierung wichtig!



Aufgabe 232.i:

Aufbau: Messfehler

- Spannungsquell U_0 - ideal angenommen
- Potentiometer (Schleifer) - $\pm 1mm = \pm 0{,}001\ m$
- Batterie (Weston-Element) - $\pm 0{,}0005\ V$
- Galvanometer - $\pm 1mV = \pm 0{,}001\ V$

Die Spannung der Batterie ist gegeben mit $U = (1{,}0190 \pm 5\cdot10^{-4})$

$U_x = U_2 = \frac{x_1}{l}\cdot U_0 = \frac{x_1}{l}\cdot\frac{l}{x_2}\cdot U = \frac{x_1}{x_2}\cdot U$ mit $x_1 = 71\ cm$ und

$x_2 = 59{,}9\ cm$ (gemessen bei Stromlosigkeit, also so dass der Zeiger des Galvanometers nicht mehr ausschlägt):

$U_x = \frac{71}{59{,}9}\cdot 1{,}019V \approx 1{,}208\ V$ denn $U_x = U_2$ dann sollte $U_2 \approx 1{,}6V$

Fehler für U_x lässt sich über Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnen:

$$\Delta U_x = \sqrt{\left(\frac{\partial U_x}{\partial U}\Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial U_x}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \left(\frac{\partial U_x}{\partial x_2}\Delta x_2\right)^2} =$$

keine Stichpunkte

$$\approx 0{,}0027 \Rightarrow \text{Messfehler}: \pm 0{,}0027$$

↓

4 Der Messfehler ist linear abhängig von den y-Messfehlern, verändert sich aber ~~nicht~~ auch mit der Änderung vom y-Wert linear (bei steigendem y-Wert wird auch der Fehler größer)

Umstellung der Gleichung: $\Delta U_x = \Delta x\cdot U_w\sqrt{\frac{x_1^2+x_1^2}{x_2^2}}$

6.) Aus der Umstellung folgt, dass mit einem 10 V Element ein 10 mal größerer Messfehler entstehen würde. Daraus folgt, dass es keine gute Idee ist ein 10 V Element zu verwenden.

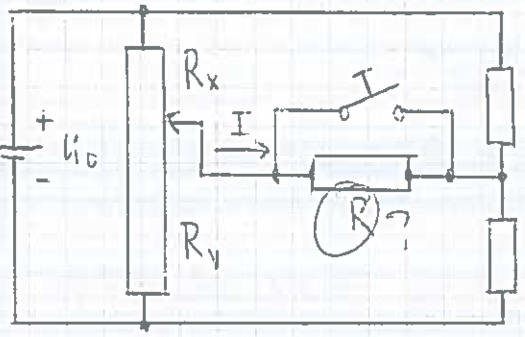
Aufgabe 232. j

a.) DMM-Messung: $U_0 = 1{,}38\ V$ mit einbeziehen des Messfehlers ($\pm 0{,}01V$) $\rightarrow$ ~~[illegible]~~ $U_0 = (1{,}38 \pm 0{,}01)\ V$

b.) Muvometer-Messung: $U_0 = 1{,}35\,V$ mit einbeziehen des Messfehlers $\left(\frac{5V}{50} \cdot 0{,}5 \approx 0{,}05\,V\right) \rightarrow U_0 = 1{,}35\,V \pm 0{,}05\,V$

Die Abweichung bei der Messung mit dem Muvometer liegt wahrscheinlich daran, dass der Innenwiderstand der Spannungsquelle deutlich größer ist, als der des Muvometers und somit die Messung verfälscht wird.

232.3.4. Widerstandsmessung mit der Wheatstoneschen Brücke.



Aufbau:	Messfehler:
- Spannungsquelle.	- ideal angenommen.
- Helipot	$-\pm \frac{4}{1000}$ der Skala.
- Galvanometer	$-\pm 1\,mV$
- Widerstände	- ideal angenommen

Aufgabe 232.k

Bei der auswertung der Messergebnisse ist aufgefallen, dass der „Unbekannte" Widerstand ($R_?$) auf die Position von R? (bezogen auf das Ersatzschaltbild) geschaltet wurde, $R_1 = 20\,\Omega$ und $R_2 = 50\,\Omega$. Dies beeinflusst zwar die Messung, nicht aber das Vorgehen zur bestimmung eines Unbekannten Widerstandes. Daher wird im folgenden angenommen, dass R_1 weiterhin unbekannt ist. Dann gilt:

$$\frac{R_x}{R_y} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow R_1 = \frac{R_x}{R_y} \cdot R_2 \quad \text{mit} \quad \frac{R_x}{R_y} = \frac{x}{y} = \frac{x}{l-x}$$ mit einem

gemessenen $x = 300 \Rightarrow R_1 = \frac{300}{1000-300} \cdot 50\,\Omega \approx 21{,}43\,\Omega$

Messfehler über Gaußsche Fehlerfortpflanzung und mit $\Delta R_x = \Delta R_y = 0{,}4\,\Omega$; Also hast du hier nur bestätigt, dass $R_1 \approx 20\,\Omega$ ist?

$$\Delta R_1 = \sqrt{\left(\frac{\partial R_1}{\partial R_x} \Delta R_x\right)^2 + \left(\frac{\partial R_1}{\partial R_y} \Delta R_y\right)^2} \approx 0{,}31\,\Omega \Rightarrow R_1 = (21{,}34 \pm 0{,}31)\,\Omega$$

Aufgabe 232.1:

Bekannt ist: $R_i = 100\,\Omega$, $U_{max} = 4 \cdot 10^{-3}\,V$, $U_0 = 4\,V$, $R_2 = 50\,\Omega$

In der gegebenen Schaltung:

$$U_0 = R \cdot I + R_i \cdot I + R_2 \cdot I$$

$$R = \frac{U_0 - R_i I - R_2 I}{I} \Rightarrow \frac{R}{R_i} = \frac{U_0}{R_i I} - 1 - \frac{R_2}{R_i} = \frac{U_0}{U_{max}} - 1 - \frac{R_0}{R_i}$$

$$\Rightarrow R = \frac{R_i U_0}{U_{max}} - R_i - R_0 = 99850\,\Omega \quad ?$$

Damit ist $R = 99850\,\Omega$ ein sinnvoller Wert.

232.3.5. Messung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes.

Aufbau:

- Thermostat mit digitaler Anzeige
- DMM

Messfehler:

- $\pm 0{,}5\,°C$
- ±kleinste Anzeige:
  a.) für Ω: $\pm 0{,}1\,\Omega$
  b.) für $k\Omega$: $\pm 10\,\Omega$

- Für metallische Leiter gilt: $R(T) = R_0(1 + \alpha \vartheta)$
- Für Kaltleiter gilt: $R(T) = R_0\, e^{\frac{E_g}{2kT}}$

Aufgabe 232.4:

1. Konstantan (2.)

Es gilt:

$$R(T) = R_0(1 + \alpha\vartheta) = R_0 + \alpha R_0 \vartheta = \alpha R_0 \vartheta + R_0 = bx + a$$

$$\Rightarrow \alpha = \cancel{\frac{\alpha R(T)}{R_0}} = \frac{\alpha R_0}{R_0} = \frac{b}{a}$$

mit (digital errechnetem): $b = 0{,}001569\ (\pm 0{,}000934)$

$\underbrace{a = 4{,}428514\ (\pm 0{,}057895)}_{\text{runden!}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha \approx 0{,}0003543\ \frac{1}{\ldots}$

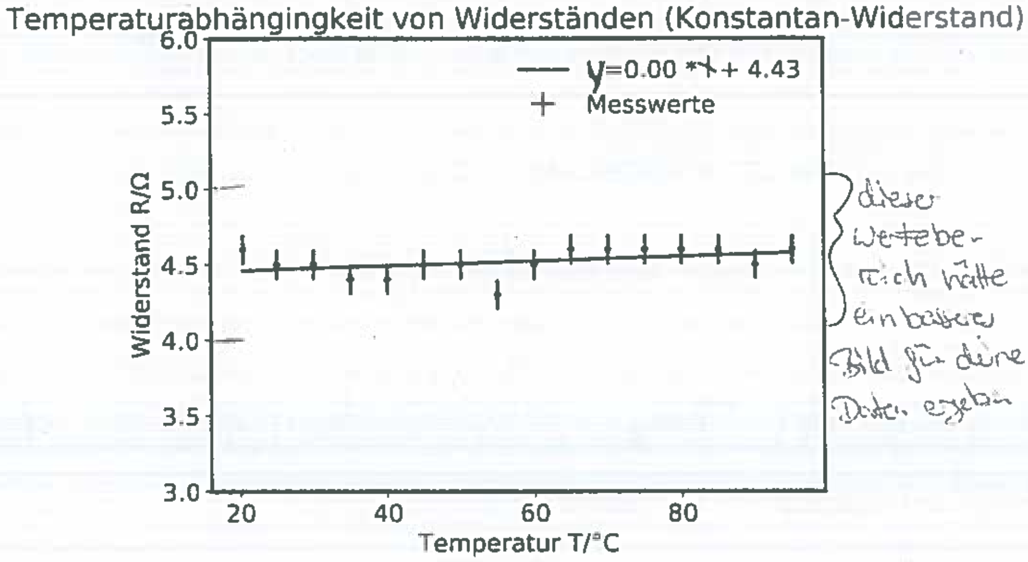
Messfehler von α!

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial b}\Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial a}\Delta a\right)^2} \approx 0{,}000211 \Rightarrow \alpha = (0{,}0003543 \pm 0{,}000211)\,\frac{1}{\vartheta}$$

s. oben

Graphisch:

$\vartheta \to -273{,}15\,°C$:



dieser Wertebereich hätte ein besseres Bild für deine Daten ergeben

$R(T) = 4{,}43\,\Omega\,(1 + 3{,}54\cdot 10^{-4}\,\frac{1}{\vartheta}\cdot(-273{,}15\,°C)$

$\approx 4\,\Omega$

$\to$ relative Änderung

$\varepsilon = \mp 9{,}7\,\%$

2. Kohleschicht (5)

Analog zum Konstantan: $\alpha = \frac{b}{a}$

mit (digital errechneten): ~~($b = 0{,}006790 \mp 0{,}00311$)~~

$a = 100{,}462332 \pm 0{,}026983$

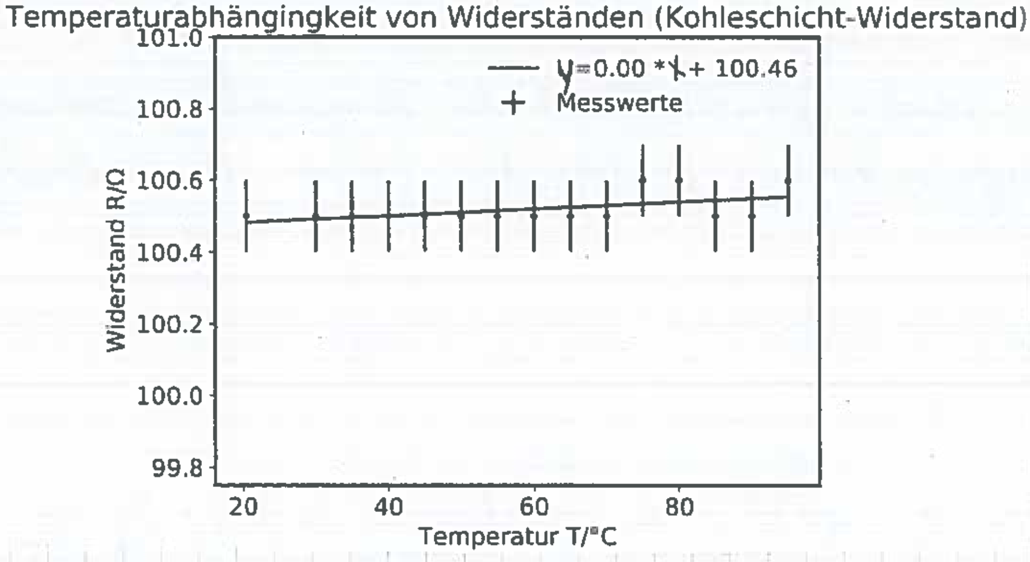
$b = 0{,}000966 \pm 0{,}000424$

$\Rightarrow \alpha \approx 0{,}966\cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\vartheta}$

Messfehler: $\Delta\alpha \approx 0{,}4\cdot 10^{-5} \Rightarrow \alpha = (0{,}966\cdot 10^{-5} \pm 0{,}4\cdot 10^{-5})\,\frac{1}{\vartheta}$

Im folgenden wurde der bei der Temperatur von 25 °C gemessene Wert (99 Ω) außer acht gelassen und damit auch verworfen, da es sich offensichtlich entweder um einen Mess- oder Ablesefehler handelt. Dieser Wert würde die restliche Auswertung beeinflussen und damit verfälschen. Ok

Graphisch:



$\vartheta \to -273{,}15\,°C$

$R(T) = 100{,}46\,\Omega\,(1 + 0{,}966 \cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\vartheta} \cdot (-273{,}15\,°C)$

$= 100{,}195\,\Omega$

→ relative Änderung

~~(...)~~

$\varepsilon = -0{,}264\,\%$

3. Platin (4)

Analog zum Konstantan: $\alpha = \frac{b}{a}$

mit (digital errechneten): $b = 3{,}610752 \pm 0{,}082662$

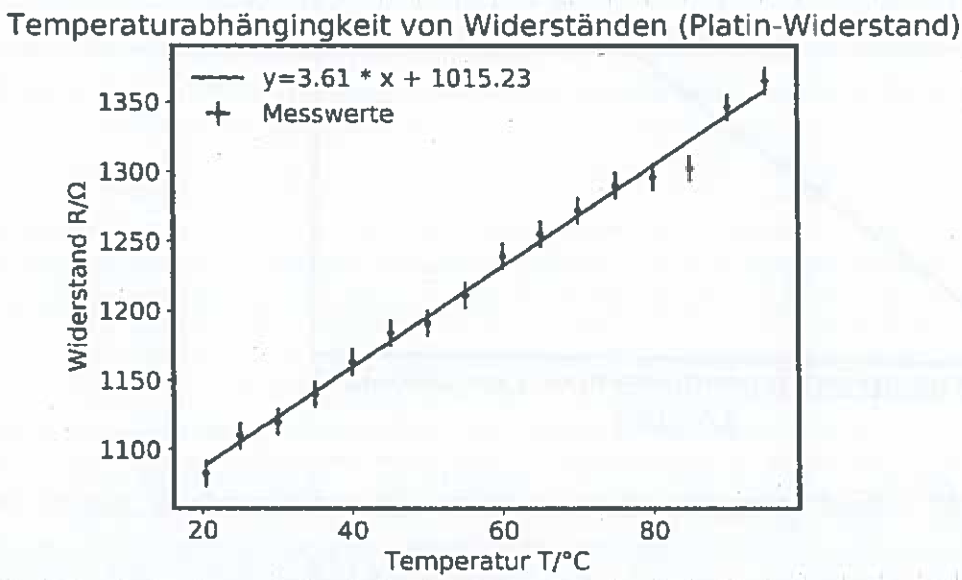
$a = 1015{,}229016 \pm 5{,}121406$

Python

$\Rightarrow \alpha \approx 0{,}0035566\ \frac{1}{\vartheta}$

Messfehler: $\Delta\alpha = 0{,}000084\ \frac{1}{\vartheta}$ $\Rightarrow$ $\alpha = (0{,}0035566 \pm 0{,}000084)\ \frac{1}{\vartheta}$

Graphisch:



$\vartheta \to -273{,}15\,°C$:

$R(T) = 1015{,}23\,\Omega\,(1 + 0{,}0036\,\frac{1}{\vartheta} \cdot (-273{,}15\,°C))$

$\approx 16{,}9\,\Omega$

→ relative Änderung:

$\varepsilon = -98{,}3\,\%$

Verhalten bei $\vartheta \to -273,15°C$:

Anhand der zuvor errechneten Ergebnisse sieht man, dass sich der Widerstand von Platin deutlich mit der Temperatur verändert (98,3%), im Gegensatz zu Konstantan (9,7%) und Kohleschicht (0,269%).

4. NTC (1)

Es gilt: $R(T) = R_0 \cdot e^{\frac{E_G}{2kT}} \Rightarrow \ln(R(T)) = \ln(R_0) + \frac{E_G}{2k}\frac{1}{T} =$

$= a + b \cdot x$

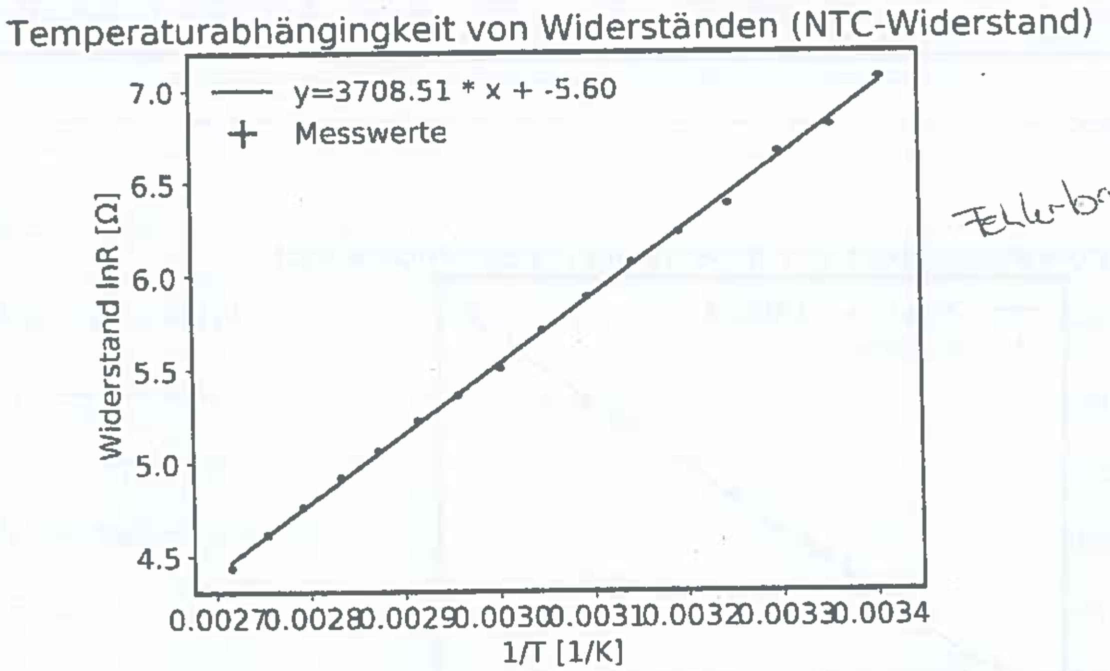
damit: $b = \frac{E_G}{2k} \Rightarrow E_G = b \cdot 2k$

mit (digital errechnetem): $b = 3708,51 \pm 28,92$

$\Rightarrow E_G \approx 1,024 \cdot 10^{-19}\,J = 0,639\,eV$

Messfehler: $\Delta E_G = \frac{\partial E_G}{\partial b}\Delta b \approx 8 \cdot 10^{-22}\,J \approx 0,005\,eV \Rightarrow E_G = (0,639 \pm 0,005)\,eV$

Graphisch:

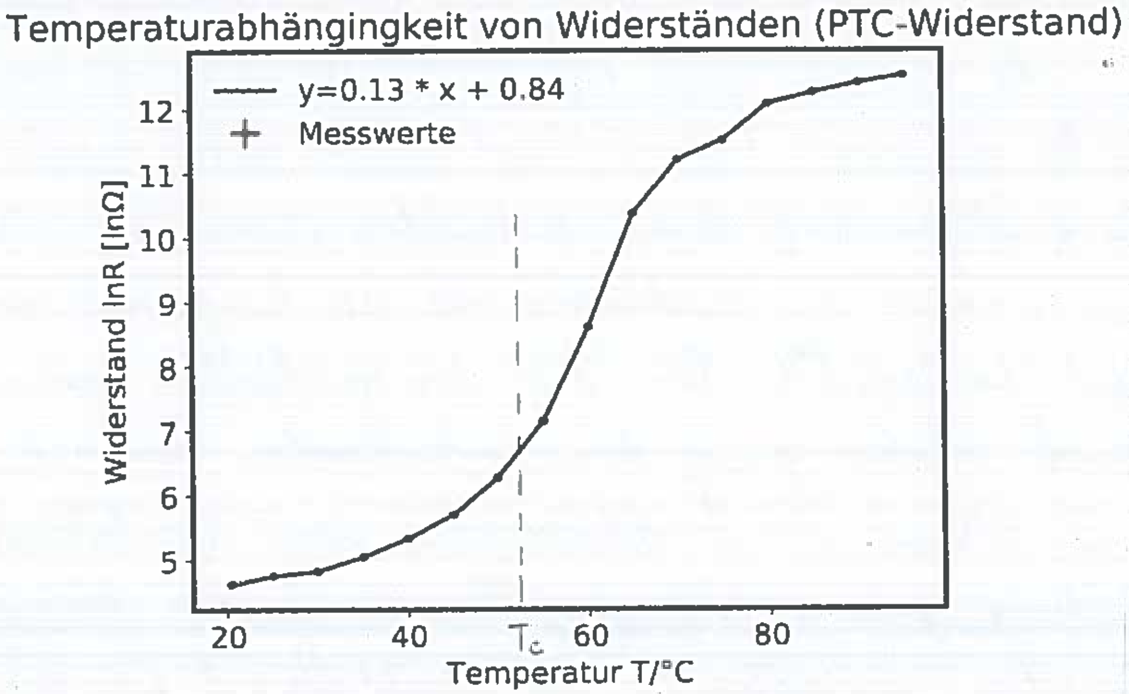


Fehlerbalken?

Der für E_G errechnete Wert passt ganz gut in den Rahmen von Halbleitern, so hat Germanium eine Energiebandlücke von 0,67 V bei 300 K, was ziemlich nahe an dem Messwert liegt.

5. PTC (3)

Graphisch:



Fehlerbalken?

Abschätzung der Curie-Temperatur:

(~~bei der steilsten Steigung, also ≈ 50°C~~)

am Graphen ist die Curie-Temperatur an der Stelle, wo die scheinbar lineare Steigung zu einer exponentieller wird: $T_c \approx 53°C$. Da diese Schätzung lediglich auf Augenmaß basiert, würde ein größerer Fehler (± 5°C) sinn machen: Gut

$T_c = 53°C \pm 5°C$

Fazit

Das Ziel von den Versuchen war es die Eingenschaften von Spannungsquellen und Widerständen zu untersuchen und auszuwerten. Im Versuch 232.3.1. sollte die U,I-Abhängigkei untersucht werden sollen und daraus dann R bestimmt werden. Dabei entspricht die gemessene Abhängigkeit der zu erwartenden, der Wert von R weicht aber etwas von dem kontrollierten Wert R ab was wahrscheinlich an Messstellen und oder Ablesefehlern gelegen hat. Der erste Teil des Versuchs 232.3.2 lief unproblematisch, allerdings war ab dem Aufgabenteil f unklar worauf die einzelnen Messverfahren abzielen sollten, daher wurde auch ein ungenügender (zu niedriger) Datensatz gemessen. Dadurch lässt sich bei ~~[illegible]~~ manchen Abhängigkeit kein allgemeiner Trend beobachten (graphisch). Im Versuch 232.3.3 wurde die Funktionsweise der Kompensationsschaltung gut dargestellt. Der Wert der ermittelten Spannung entsprach auch relativ genau dem kontrollierten Wert (U_2). Der ~~[illegible]~~ Versuch 232.3.4 hat die Funktionsweise einer Wheatstoneschen Brückenschaltung gut widergespiegelt. Die leichte Abweichung des „Unbekannten" Widerstands vom Kontrollwert kommt wahrscheinlich durch Ablesefehler (vom Helipot). Im Versuch 232.3.5 war die Auswertung durchaus erfolgreich und hat die Verhaltensweisen und die Temperaturabhängigkeit der Widerstände verschiedener Stoffe und Materialien ziemlich genau dargestellt. Lediglich bei dem Kohleschicht-Widerstand musste ein Wert verworfen werden, da dieser offensichtlich das Resultat eines Ablesefehlers war. Außerdem konnte die Schätzung der Curie-Temperatur für den PTC erheblich von dem tatsächlichem Wert abweichen. Allgemein kann man sagen, dass die Versuchsdurchführung die ~~g~~ gewünschten Ergebnisse geliefert hat, bis auf einen Versuch mit zu wenigen Daten und ein Paar Abweichungen von Kontrollwerten, die aber so gering sind, dass diese auf Mess- bzw. Ablesefehler zurückzuführen sind.

1) Aufg. b) | ~~…~~

- es wird nicht deutlich, wie du diese Aufgabe gelöst hast

2) Achte darauf deine Endergebnisse angemessen zu runden.

3.) Ohne Aufgabenstellung und Beschreibung der Durchführung, kann man die Aufgaben/Auswertungen nicht wirklich (Schwer) nachvollziehen. (s.h z.B Aufg. e), f) und h))

4) Damit dein Heft nicht zu unübersichtlich wird, vermeide es neben deinen Graphiken etwas zu schreiben.

5) Aufg. e)

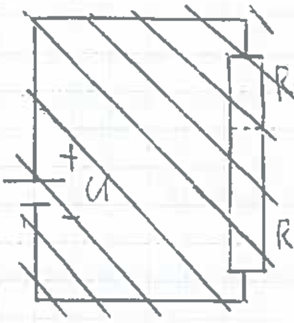
- ist die Relation gezeigt worden? Ja/Nein. Abweichungen?

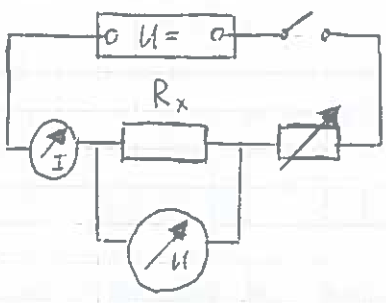
Grundsätzlich eine gute Struktur. Hier und da noch etwas unsauber, aber nichts Schlimmes (s.h Punkt 2) und 4)). Zukünftig Aufgabenstellung und Durchführung reinbringen, dann werden deine Schritte nachvollziehbarer.

Punkte 1) und 5) nachreichen!

Nachbesserung

Aufgabe 232.b





In der Aufgabe a.) wurde bereits aus der Steigung der gemessenen U-I-Abhängigkeit der effektive Widerstand bestimmt: $R_A = (66{,}06 \pm 0{,}44)\,\Omega$

Nun soll man unter Berücksichtigung der Innenwiderstände der Marvometer gemessen mit einem DMM) den Wert des Widerstandes R_x bestimmen.

Messgerät:	Messfehler (allgemein)
- DMM	- kleinste (angezeigte) Stelle.
Messwerte (R_I und R_V jeweils die Innenwiderstände von Amper- und Voltmeter)!	Umgerechnete Messfehler:
$R_I = 2{,}1\,\Omega$	$\pm 0{,}1\,\Omega \rightarrow \Delta R_I = 0{,}1\,\Omega$
$R_V = 2{,}51 \cdot 10^3\,\Omega$	$\pm 0{,}01 \cdot 10^3\,\Omega = \pm 10\,\Omega \rightarrow \Delta R_V = 10\,\Omega$

In der Durchführung des Versuchs: $R_x = R_2$

Es gilt der Ansatz: $R_A = R_I + \frac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V}$ (aufgrund von Parallel- bzw. Serienschaltung)

Umgestellt nach R_x:

$$R_x = \frac{R_V(R_A - R_I)}{R_V - R_A + R_I} = \frac{2{,}51 \cdot 10^3\,\Omega \cdot (66{,}06\,\Omega - 2{,}1\,\Omega)}{2{,}51 \cdot 10^3\,\Omega - 66{,}06\,\Omega + 2{,}1\,\Omega} =$$

$$= 66{,}09\,\Omega$$

Der Fehler von R_x lässt sich über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung bestimmen:

$$\Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_A}\Delta R_A\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_I}\Delta R_I\right)^2 + \left(\frac{\partial R_x}{\partial R_V}\Delta R_V\right)^2} \approx 0{,}48\,\Omega$$

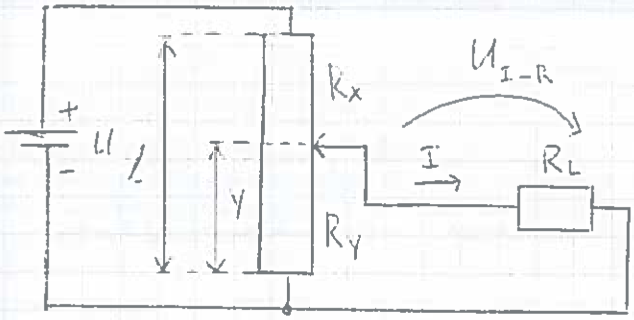
$\Rightarrow$ Messfehler: $\Delta R_x = \pm 0{,}48\,\Omega$, und damit:

$R_x = (66{,}09 \pm 0{,}48)\,\Omega$

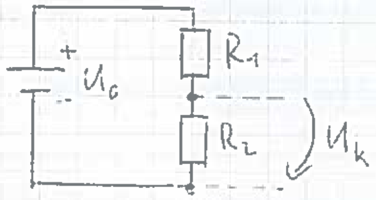
Außerdem sollte die Gerade $U = R_x \cdot I$ auf den Graphen aufgetragen werden sollen. Diese Gerade entspricht der blauen „Kontrollgeraden" aus Aufgabe d.) (auf der graphischen Darstellung der UI - Abhängigkeit)

Aufgabe e.

Ausgangsschaltung (aus der Aufgabe d.)) war eine belastete Potentiometerschaltung:



An diese wird nun als Spannungsquelle die Spannungsteilerschaltung angeschlossen:



Es soll im folgenden die Relation:

$$U = \frac{R_2}{R_1+R_2} U_0 - \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2} \cdot I = U_0^S - R_i^S \cdot I$$ gezeigt werden.

Dazu wird aus den gemessenen Werten ein UI-Diagramm erstellt (dies wurde in der ursprünglichen Aufgabe e erstellt).

Berechnen der erwarteten Werte:

$$U_0^S = U_0 \frac{R_y}{R_x+R_y} \approx 2,86\,V \quad \text{und} \quad R_i^S \cdot I = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} \cdot I \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_i^S = \frac{R_x R_y}{R_x+R_y} \approx 14,29\,\Omega$$ (da $R_x = 50\,\Omega$ und $R_y = 20\,\Omega$)

Diese „erwarteten" Werte sollen nun durch die Analyse des Graphen bestätigt werden:

Die Geradengleichung (bereits in der e berechnet) lautet:

$U = -15,23 \cdot I + 2,88 \Rightarrow U = 2,88\,V - 15,23\,\Omega \cdot I$, hieraus lässt sich die Ähnlichkeit zu der Gleichung $U = U_0^S - R_i^S \cdot I$ erkennen und damit U_0^S und R_i^S bestimmen:

Aus der Steigung: $R_i^S \approx 15,23\,\Omega$

Aus der Schnittstelle: $U_0^S \approx 2,88\,V$

Diese Wert sind experementell bestimmt und daher nicht fehlerfrei, dennoch sind diese sehr nahe dran an den erwarteten Werten. Damit kann man die Relation als „gezeigt" betrachten.

Um den Innenwiderstand zu verringern ohne die Klemmspannung zu verändern muss man die Widerstände (R_x, R_y) um einen gemeinsamen Faktor verringern.

Dies kann man jedoch nicht beliebig weit treiben, da eine zu große verringerung (also multipliziert mit einem sehr kleinen Faktor) ~~wird~~ dazu führen würde, dass mehr Strom über die Widerstände fließen würde und letztendlich ein Kurzschluss passieren kann.

Bestanden [redacted]