Aufgabe 1

Zunächst soll geprüft werden, ob und wie eine sehr kleine Stromstärke für die LED zur Verfügung gestellt werden kann. Ich nutze dafür den „—▷|—" Modus des Multimeters.

→ Anschließen der LED: (leuchtet schwach)

Aufgabenstellung: $I_d = 0{,}33\,\text{mA}$

Das Multimeter misst eine Spannung von $U' = 1{,}564\,\text{V}$

Nach Aufgabe gilt: $U' = U + I_d \cdot R_s$

$R_s \approx 1\,\Omega$ $\dfrac{U'}{I_d} = 4739{,}4\,\Omega =: R_{OD}$

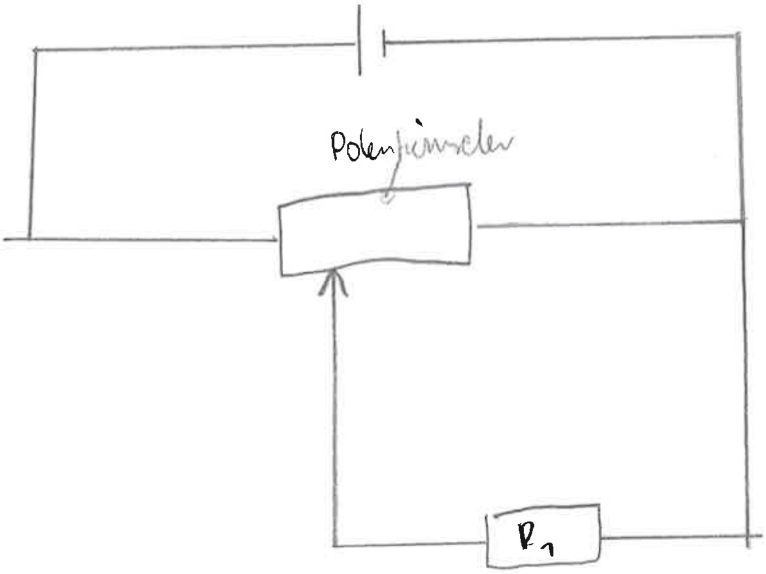
$\to R_{OD} \gg R_s$

bzw. $I_d \cdot R_s \approx 3{,}3 \cdot 10^{-4}\,\text{V}$ $\to R_s \cdot I_d \ll U'$

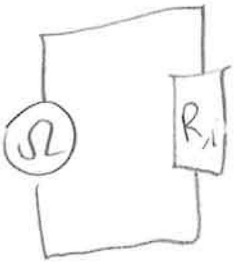
~~So we~~ Wir kommen zu dem Schluss, dass der —▷|— Modus mit $I_d = 0{,}33\,\text{mA}$ für diesen Aufgabenteil nutzbar ist und R_s vernachlässigt werden kann.

 Contestant Code: GER4

Schaltplan: Für den Heizwiderstand.



Um den Heizwiderstand auszumessen:



Für den Widerstand R1 wurden $R_1 = 10{,}24\ \Omega$ gemessen.

EuPhO 2017
Experimental Problem Solution sheet

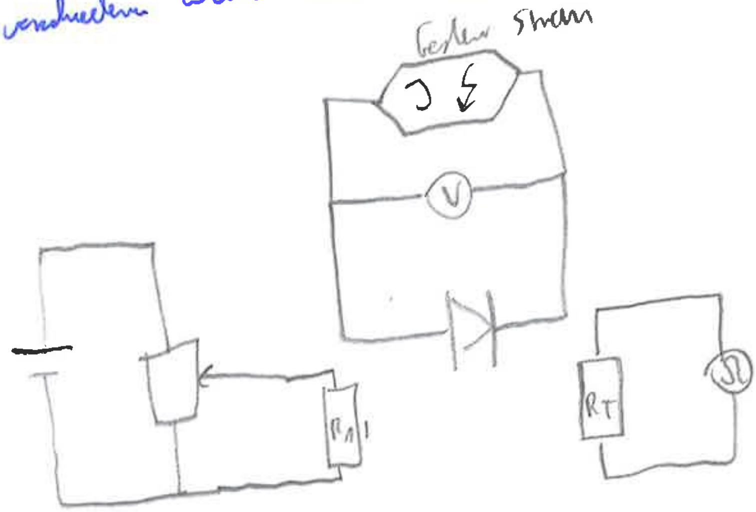
Contestant Code: GER 4

Versuchsbeschreibung / Durchführung:

Der Heizwiderstand wird wie beschrieben betrieben. Über das Potentiometer kann der Heizstrom stufenlos reguliert werden.

Der Temperaturwiderstand wird mit dem Multimeter als Widerstandsmessgerät verbunden. Die Diode wird weiterhin mit 0,00033 A betrieben, die Spannung wird aufgezeichnet.

Die Heizung wird mit dem Potentiometer geändert und für verschiedene Werte von R die Spannung U gemessen.

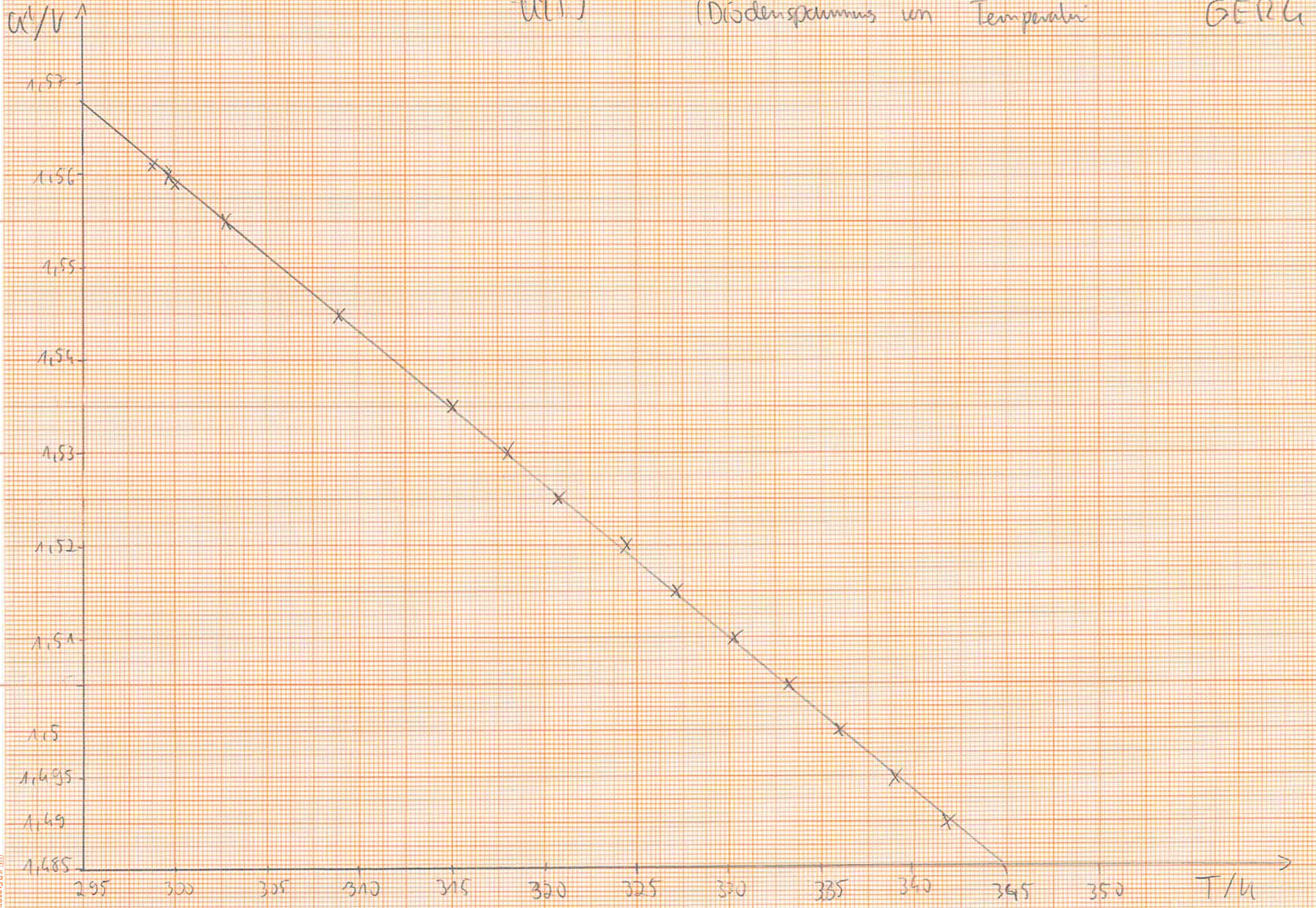


 Contestant Code: GER 4

Messwerte:

Spannung Led: U' in V	R_T in kΩ	T in K
1,561	9,78	298,8
1,560	9,45	299,6
1,559	9,28	300
1,555	8,25	302,63
1,545	6,39	308,64
1,535	4,93	315
1,530	4,40	317,9
1,525	3,95	320,8
1,520	3,48	324,1
1,515	3,1	327,25
1,510	2,78	330,3
1,505	2,52	333
1,500	2,27	336
1,495	2,05	338,95
1,490	1,84	342,1

U'(T) (Diodenspannung von Temperatur) GERG



Der aufgenommene Graph $U(T)$ sieht sehr linear aus.

Aufgabenstellung:

$$J_d = A \cdot e^{-\frac{V_{G0}}{nV_T}} \cdot \left(e^{\frac{V}{nV_T}} - 1\right)$$

$V \approx V' = U'$ (U und V simultan für Spannung benutzt)

$$V_T = \frac{k}{q} T \approx 8{,}62 \cdot 10^{-5} \frac{J}{KC} \cdot T = 8{,}62 \cdot 10^{-5} \frac{V}{K} \cdot T$$

$$J_d = A \cdot \left(e^{\frac{V}{nV_T} - \frac{V_{G0}}{nV_T}} - e^{-\frac{V_{G0}}{nV_T}}\right)$$

$e^{-\frac{V_{G0}}{nV_T}} \ll 1$ $\quad V_G \approx 10^1 V \quad n \approx 10^0 \quad V_T \approx 2{,}5 \cdot 10^{-2} \frac{V}{K}$

$\rightarrow e^{-\frac{V_{G0}}{nV_T}} \approx e^{-10^3} \approx 0$

$U = IR \qquad J \approx \text{const}$

$$\ln\left(\frac{J_d}{A}\right) \approx \frac{V - V_{G0}}{nV_T}$$

$$V = \ln\left(\frac{J_d}{A}\right) \cdot nV_T + V_{G0}$$

$$\underline{V = \ln\left(\frac{J_d}{A}\right) \cdot n \frac{k}{q} \cdot T + V_{G0}}$$

$\rightarrow$ $V(t)$ ist eine lineare Fkt mit dem y-Achsen-Abschnitt V_{G0}

Aus dem Diagramm erhält man (lineare Regressionsgerade)

$$V(T) = \alpha T + \beta$$

$$\alpha \approx -1{,}66 \cdot 10^{-3} \frac{V}{K}$$

β über Verlängern bis $T = 0$ am Pkt $(300K \mid 1{,}56V)$ (liegt auf Gerade): $\beta = 1{,}66 \cdot 10^{-3} \cdot 300K \cdot \frac{V}{K} + 1{,}56V = 2{,}058V$

$\underline{\beta \text{ entspricht } V_{G0} \rightarrow V_{G0} = 2{,}058 V}$

Um nun n und A zu bestimmen, lässt sich benutzen, dass wir aus dem U(T) Graph wissen:

$$\alpha = \ln\left(\frac{I_d}{A}+1\right)\cdot n\frac{k}{q} = -1{,}66\cdot 10^{-3}\,\frac{V}{K}$$

$$I_d(V) = A\cdot\left(e^{\frac{V-V_{G0}}{nV_T}}-1\right)$$

$$\boxed{\begin{aligned} &\text{Für } V = V_{G0} \rightarrow I_d(V) = 0 \\ &\ln\left(I_d(V)+A\right) = \ln A + \frac{V-V_{G0}}{nV_T} \\ \text{oder: } &\ln\left(I_d(V)\right) - \ln A = \ln\left(e^{\frac{V-V_{G0}}{nV_T}}-1\right) \end{aligned}}$$

Wir messen also die Stromstärke über der Diode bei verschiedenen Spannungen. Die Temperatur bleibt konstant.

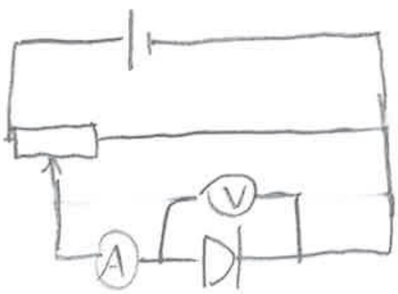
$$\rightarrow I_d(V) \approx A\left(e^{\frac{V-V_{G0}}{nV_T}}\right)$$

$$\ln(I_d(V)) = \ln A + \frac{V-V_{G0}}{nV_T}$$

$$\ln(I_d(V)) = \frac{V}{nV_T} - \frac{V_{G0}}{nV_T} + \ln A$$

T_{Start} ist etwa 299 K ($R_T = 9{,}89\,k\Omega$)

Schaltplan:



Ich nehme das Voltmeter als nahezu ideal $R_{V} \rightarrow \infty$ an.

Für verschiedene Potentiometerstellungen (Spannungen) wird I_d gemessen

Masswerte

I_d in mA	V in V	$\ln\left(\frac{I_d}{A}\right)$
0	0	/
0	1	/
0	1,49	/
0,1	1,53	−9,21
0,9	1,6	−7,01
1,6	1,63	−6,44
4,2	1,66	−5,47
18,7	1,72	−3,98
42,2	1,76	−3,17
100	1,84	−2,3
193	1,93	−1,65

Aus dem Diagramm erhalten wir:

$$-\ln(I_d) = \alpha U + \beta$$

$$\alpha = +32{,}5\ \frac{1}{V} = \frac{1}{n\frac{k}{q}T}$$

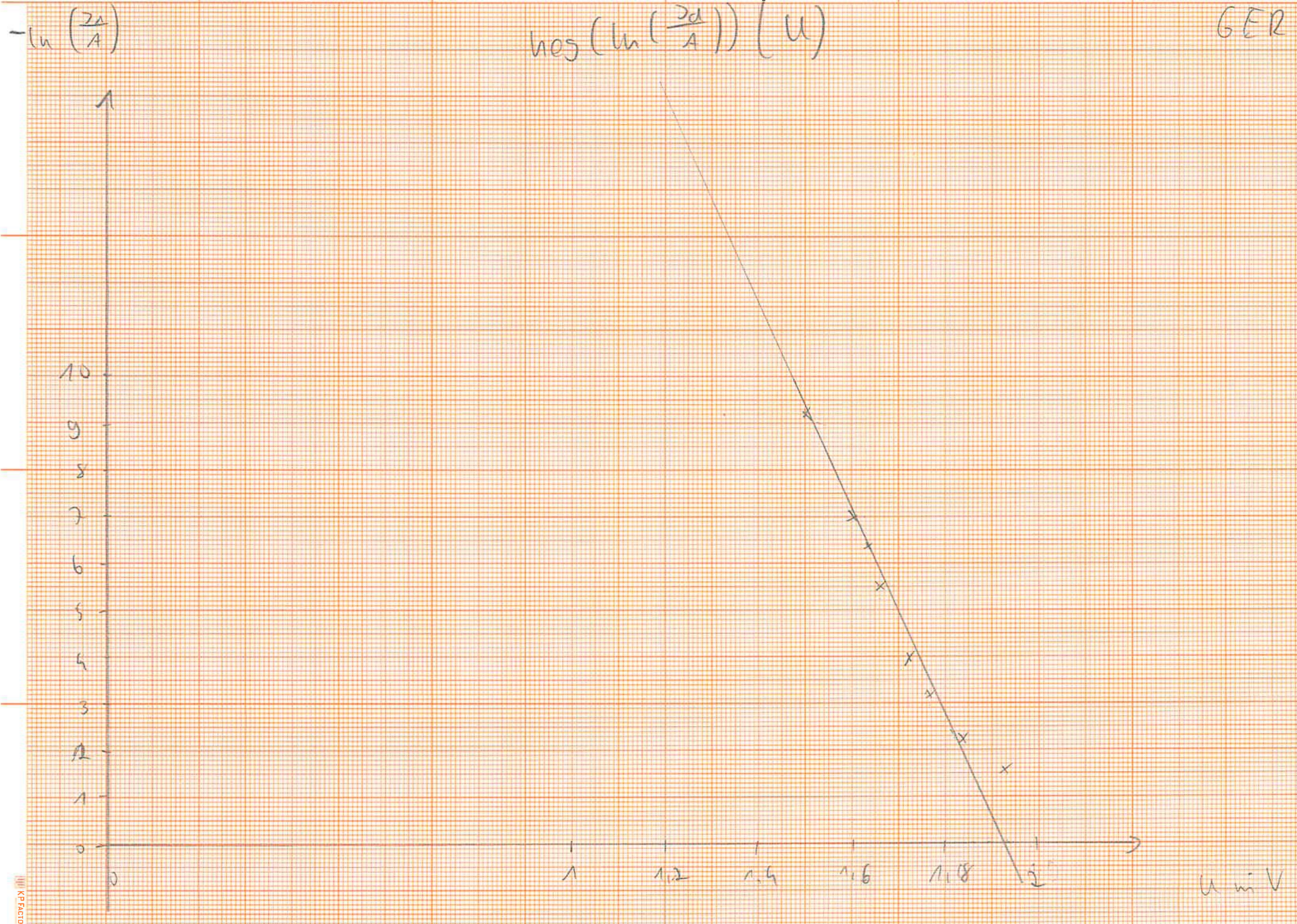
$$\beta = -62{,}25 = \ln A + \frac{U_{G0}}{n\frac{k}{q}T}$$

$$\rightarrow n = \frac{1}{\alpha} \cdot q \cdot \frac{1}{kT} = 1{,}194$$

$$A = e^{\beta - \frac{U_{G0}}{n\frac{k}{q}T}} = 8{,}35 \cdot 10^{-57}$$

GER 4

neg(ln($\frac{2d}{A}$))(U)

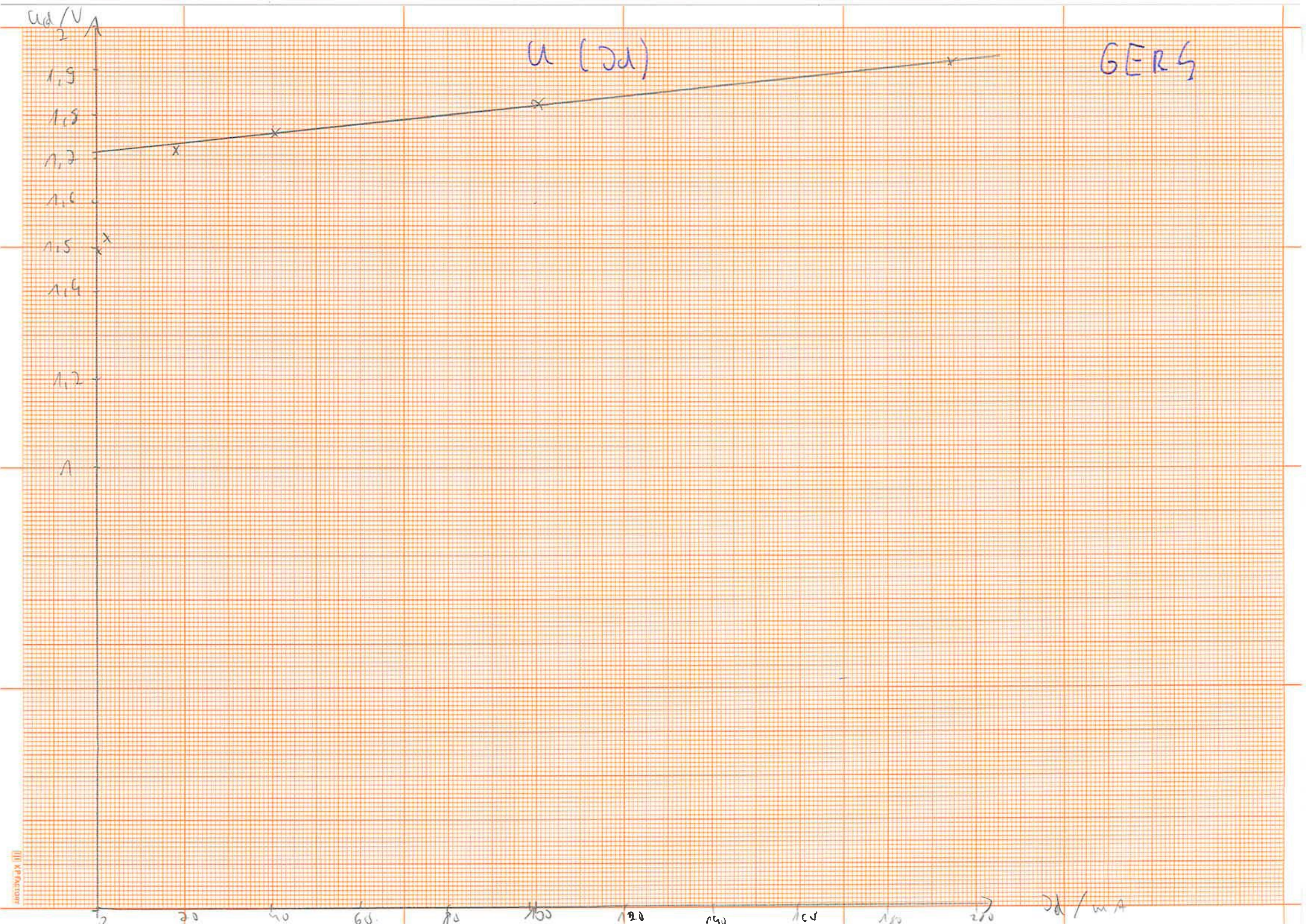


EuPhO 2017
Experimental Problem Solution sheet Contestant Code: GER4

R_s kann aus dem Diagramm $U(I)$ als Asymptote für $U > 1{,}49\,V$ (Anstieg der Geraden) ermittelt werden.

(siehe $U(I)d$)

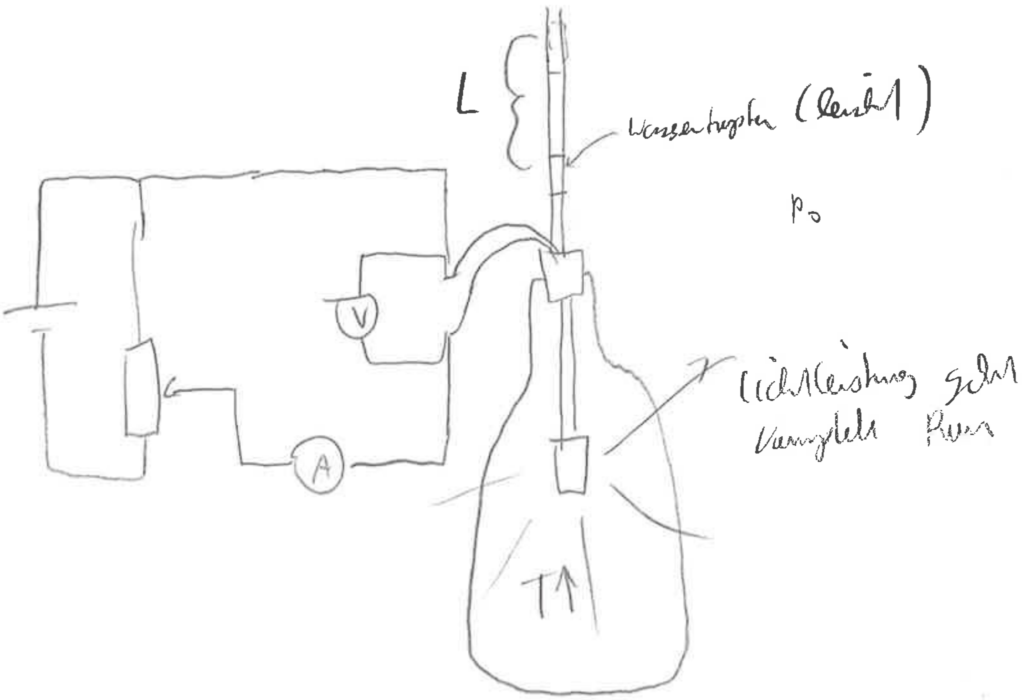
$\rightarrow \alpha \approx 1{,}13 \frac{V}{A} = 1{,}13\,\Omega = R_s$



U (Id)
GERS
Ud / V
1,9
1,8
1,7
1,6
1,5
1,4
1,2
1
Id / mA
20
40
100
120
200

2

Idee



obiger Aufbau wird aufgebaut. Betreibt man zunächst den Widerstand R_1 bei einer Spannung $U_{R_1} > 0$ so werden 100 % der Elektr. Leistung Abgegeben. Der Wassertropfen steigt eine Strecke L im Schlauch hoch. Wir nehmen diesen Vorgang als isobar an. $\frac{V}{T} = \text{const}$ Hat der Tropfen seine End-Höhe erreicht, so befindet sich das System im thermischen Gleichgewicht. Die meiste Wärmeleistung geht direkt über Wärmeleitung verloren. → $P_W \sim \Delta T$ bzw $P_W = \underset{\text{konst.}}{a}\,\Delta T$

Bei der Isobaren ZÄ gemäß dann Folgendes:

$$\frac{L\cdot A_{quer}+V_0}{T_0+\Delta T} = \frac{V_0}{T_0} = \frac{L\cdot A_{quer}+V_0}{T_0+a^{-1}P_W}$$

$$\rightarrow a = \left(\left(\frac{T_0\cdot(L\cdot A_{quer}+V_0)}{V_0}-T_0\right)\frac{1}{P_W}\right)^{-1}$$

$A_{quer} \xrightarrow{\text{messen}} \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0{,}38\,cm^2$ $\qquad V_0 \approx 0{,}5\,l$

EuPhO 2017
Experimental Problem Solution sheet Contestant Code: GER 4

Mit der Kenntnis um a lässt sich nun auch P_W' bei der Diode ($P_W' = P_{elD} \cdot (1-\eta)$) messen.

$$P_W' = \left(\frac{T_0 (L \cdot A_{quer} + V_0)}{V_0} - T_0 \right) \cdot a$$

$$\eta = 1 - \frac{P_W'}{P_{elD}} = 1 - \left(\frac{T_0 (L A_{quer} + V_0)}{V_0} - T_0 \right) \frac{a}{U_D \cdot I_D}$$

Messvorgang: Zuerst wird der Widerstand behandelt, alle Werte (U; I) genommen sowie L, wenn sich ein Gleichgewicht eingestellt hat.

→ a ausrechnen

→ Dann wird die Diode im Aufbau behandelt und deren Leistung (durch U_D und I_D) sowie L im therm. GG gemessen.

Messwerte: Widerstand R_1

$\eta_W = 100\,\%$

$P_W = 0{,}1\ W$

↳ $L_1 = 12{,}2\ cm$

LED

$P_{elD} = 0{,}5\ W$

$L_2 = 66\ cm$

$\longrightarrow a = 0{,}023 \left(\frac{Ks}{Nm} \right)^{-1}$

$$\eta = 1 - \frac{P_W'}{P_{elD}} = = 0{,}935$$

→ This seems a bit too big / Weil ist mir zu groß

→ Möglichkeit in die Dichtung an der Flasche mit ganzer Wärmeproduktion der LED dicht → L zu klein → in Wirklichkeit größer !?

Im folgenden Rechnen ist mit einem kleineren Wert $\eta = 0{,}5$ weiter

EuPhO 2017
Experimental Problem Solution sheet Contestant Code: GER 4

Nummer 3

Die mit $I_d = 0{,}5\ A$ betriebene LED strahlt die Lichtleistung

$$P_L = \eta \cdot U \cdot I_d$$

Auf einer Kugeloberfläche mit $R = 3\,cm$ wäre dann die Intensität:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{\eta U I_d}{4\pi R^2}$$

Der Raumbereich ist aber nur $\alpha \cdot A$

$$\to \quad I = \frac{\eta U I_d}{\alpha 4\pi R^2}$$

Die verfügbare Leistung an der Photodiode ist dann:

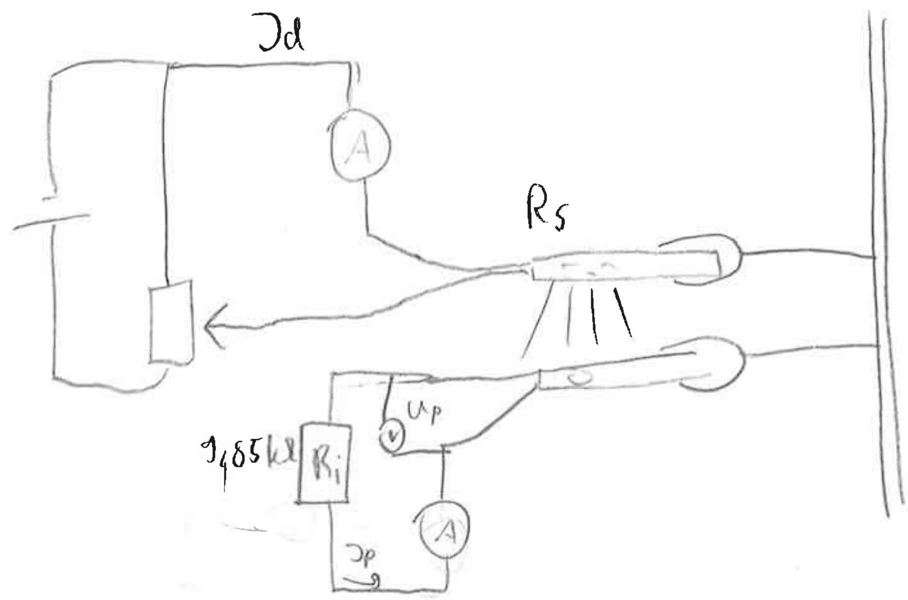
$$P_0 = I \cdot A = \frac{\eta U I_d}{\alpha 4\pi R^2} \cdot S$$

$$\to \eta_P = \frac{I_p \cdot U_2}{P_0} = \frac{P}{P_0} = \frac{I_p U_2 \cdot \alpha 4\pi R^2}{\eta U I_d \cdot S}$$

$\eta = 0{,}9$ $\left(U I_d = I_d^2 \cdot R_S = (0{,}5\ A)^2 \cdot 1{,}12\ \Omega \right)$

$$P_{max} = P_0 = \frac{\eta U I_d S}{\alpha 4\pi R^2} \approx 1{,}158 \cdot 10^{-4}\ W$$

Skizze:



Messvorgang:

Die Apparatur wird wie in der Skizze erkennbar aufgebaut.
Für die abgestrahlte Leistung der LED wird:

$$P = J^2 \cdot R_s \cdot \eta$$

angenommen.

Die Leistung der LED kann mit dem Potentiometer verändert werden.
Die Leistung an der Photodiode wird mit $P_{dp} = J_p \cdot U_p$ ermittelt. Das Amperemeter hat im Messbereich bis 20 µA einen Innenwiderstand von 9,85 kΩ (mit Ohmmeter gemessen)
Es werden für verschiedene J_d die Werte für J_p und U_p notiert.

Messwerte:

J_d in A	P_d in W	U_p in V	J_p in µA	$\frac{P}{P_d} = \frac{U_p \cdot I_p}{J_d^2 \cdot R_s}$ in 10^{-5}
0,1		~~0,0738~~ 0,044	4,45	1,75
0,15		0,06	6,03	1,1
0,2		0,078	7,81	1,36
0,3		0,112	11,16	1,24
0,4		0,142	14,22	1,43
0,5		0,157	15,7	1,12
0,65		0,184	18,5	0,98
0	0	≈ 0	0	
0,55		0,159	15,81	0,79
0,6		0,166	16,5	0,68

$\overline{\left(\frac{P}{P_d}\right)} = 1,1\ldots \cdot 10^{-5}$

EuPhO 2017

Experimental Problem Solution sheet

Contestant Code: GER4

Für das Verhältnis $\frac{P}{P_d} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{\eta P_{LED}}{\alpha 4 \pi R^2}$ gilt

$$\left[P_d = \frac{P_0 \cdot \alpha \cdot 4\pi R^2}{\eta\, u\, \partial d} \right)$$

$$\frac{P}{P_d} = 1{,}16 \cdot 10^{-5}$$

$$\eta_P = \frac{P}{P_{max}} = \frac{P}{\frac{\eta\, P_d \cdot 5}{\alpha 4 \pi R^2}} = \frac{\alpha 4 \pi R^2}{\eta\, 5} \cdot 1{,}16 \cdot 10^{-5}$$

Ich rechne mit dem realist. Wert für η von $\eta = 0{,}9$ weiter

$$\underline{\underline{\eta_P = 0{,}084}}$$