

Protokoll zum Versuch Glühemission

Tina Clauß, Jan Steinhoff
Betreuer: Dr. Morak

30. November 2004

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	4
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Galvanometer	4
2.2	Pyrometer	4
2.3	Austrittsarbeit und Glühemission	4
3	Versuchsaufbau und Messprinzip	5
4	Auswertung	5
4.1	Stromempfindlichkeit des Galvanometers	5
4.2	Kalibrierung der Photodiode	7
4.3	Sättigungsstrom	10
4.4	Bestimmung der Austrittsarbeit	10
4.5	effektiv wirksame Kathodenfläche	14
A	Messprotokoll	14

1 Aufgabenstellung

1. Stromempfindlichkeit des Galvanometers in verschiedenen Messbereichen bestimmen
2. Empfindlichkeit einer an der Elektronenröhre befestigten Photo-Diode in Abhängigkeit von der Temperatur des Heizfadens der Röhre bestimmen
3. Bestimmung der Austrittsarbeit der Drahtkathode unter Verwendung der Richardson-Gleichung
4. Bestimmung der effektiv wirkenden Kathodenfläche aus der Richardson-Gleichung und Vergleich mit der abgeschätzten geometrisch ermittelten Kathodenfläche
5. Diskussion der Genauigkeit der Ergebnisse

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Galvanometer

Das Spiegelgalvanometer ist ein empfindliches Messgerät für kleine Ströme. Es basiert auf einer Spule die vom zu messenden Strom durchflossen wird. Aufgrund des entstehenden Magnetfeldes wirkt eine Kraft auf einen Zeiger, der auf einer Skala als Lichtzeiger abgebildet wird. Dabei sollte man beachten, dass die Bewegung dieses Zeigers kreisförmig, die Skala jedoch ungekrümmt und damit verzerrt ist.

2.2 Pyrometer

Ein Pyrometer ist ein Messgerät, mit dem man Temperaturen durch Farbvergleich eines im Pyrometer befindlichen Glühdrahtes mit dem eigentlich zu vermessenden Objekt messen kann. Man kann die Temperatur des im Pyrometer befindlichen Drahtes verändern und dabei die Temperatur auf einer Skala ablesen. Gleichzeitig beobachtet man den zu vermessenden Draht durch ein Fernrohr im Pyrometer. Für verschiedene Messbereiche kann man entweder einen Rot- oder einen Graufilter im Pyrometer verwenden. Das Pyrometer ist auf Vermessungen von schwarzen Körpern geeicht. Vermisst man also graue Körper, muss noch eine Korrektur durchgeführt werden (siehe Abbildung 7).

2.3 Austrittsarbeit und Glühemission

Die Austrittsarbeit ist die Arbeit, die benötigt wird, um Elektronen aus einem Festkörper zu lösen. Bei der Glühemission wird die Energie thermisch zugeführt und Elektronen lösen sich aus dem Festkörper, in unserem Fall ein Wolframdraht. Der Zusammenhang zwischen der Temperatur T , der Sättigungsstromdichte i_S und der Austrittsarbeit W_a wird durch die Richardson-Gleichung beschrieben:

$$i_S = A \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{W_a}{kT}} \quad (1)$$

Unter Einbeziehung der Fläche F nimmt die Gleichung folgende Gestalt an, wobei I_S der Sättigungsstrom ist:

$$I_S = A \cdot F \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{W_a}{kT}} \quad (2)$$

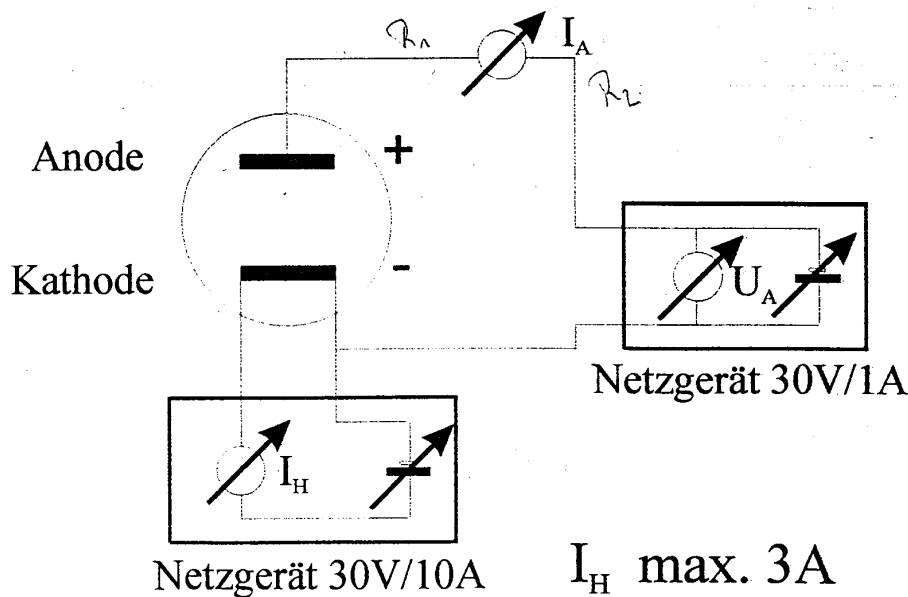


Abbildung 1: Messschaltung zur Bestimmung der Austrittsarbeit
[1]

3 Versuchsaufbau und Messprinzip

Im Versuch soll die Austrittsarbeit der Elektronen aus Wolfram bestimmt werden. Dazu wird eine evakuierte Elektronenröhre verwendet in deren Inneren sich ein Glühdraht aus Wolfram befindet der elektrisch geheizt werden kann. Außerhalb der Röhre ist eine Photodiode befestigt, deren Photostrom von der Helligkeit des Wolframdrahtes, die sich mit der Temperatur ändert, da es sich hierbei um einen grauen Strahler handelt, abhängig ist. Die Temperatur des Heizdrahtes kann mit Hilfe eines Pyrometers bestimmt werden. Somit kann die Photodiode kalibriert werden und eine Messung der Temperatur über den Photostrom wird damit möglich. Nachdem die Photodiode kalibriert wurde, kann mit der eigentlichen Messung der Austrittsarbeit begonnen werden. Hierzu wird ein Aufbau wie in Abbildung 1 verwendet. Durch Anlegen einer Heizspannung wird die Kathode geheizt. Dabei muss auf die richtige Polung der Heizspannung geachtet werden. Desweiteren wird zwischen Kathode und Anode eine weitere Spannung angelegt, wodurch die herausgelösten Elektronen beschleunigt werden. Aus dem Anodenstrom I_A in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_A können die Sättigungsströme bei verschiedenen Temperaturen bestimmt und dann mit Hilfe der Richardson-Gleichung (Formel 1) auf die Austrittsarbeit geschlossen werden.

4 Auswertung

4.1 Stromempfindlichkeit des Galvanometers

Zur Kalibrierung des Galvanometers verwendeten wir die in Abbildung 2 abgebildete Schaltung. Für den Ausschlag a des Galvanometers wird eine lineare Abhängigkeit zum Strom I vorausgesetzt. Es gilt also:

$$I = C \cdot a \quad (3)$$

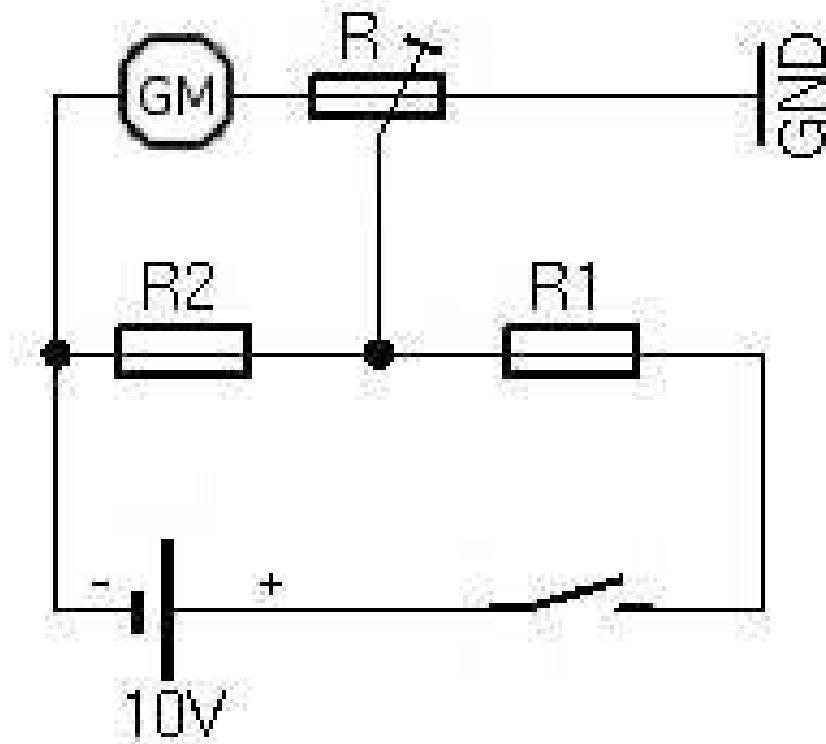


Abbildung 2: Schaltplan zur Kalibrierung des Galvanometers (GM)

Für den Gesamtstrom I_0 in der Schaltung gilt:

$$I_0 = \frac{E}{R_{gesamt}} \quad (4)$$

wobei sich R_{gesamt} wie folgt zusammensetzt

$$R_{gesamt} = R + \frac{(R + R_G) R_2}{R + R_G + R_2} \quad (5)$$

Dabei ist R_G der Innenwiderstand des Galvanometers. Nach Stromteilerregel errechnet sich nun der Strom I , der durch das Galvanometer fließt, wie folgt:

$$I = \frac{(R + R_G) \parallel R_2}{R + R_G} \cdot I_0 \quad (6)$$

$$= \frac{\frac{(R+R_G)R_2}{R+R_G+R_2} \cdot E}{(R + R_G) \left(R_1 + \frac{(R+R_G)R_2}{R+R_G+R_2} \right)} \quad (7)$$

Durch Umformung nach $\frac{1}{a}$ ergibt sich nun folgende Formel:

$$\frac{1}{a} = \underbrace{\frac{R_1 R_2 + (R_1 + R_2) R_G}{\frac{R_2 E}{C}}}_A + \underbrace{\frac{R_1 + R_2}{\frac{R_2 E}{C}}}_B \cdot R \quad (8)$$

Trägt man nun $\frac{1}{a}$ über R auf, lassen sich aus den Parametern der linearen Fitfunktion, die Stromempfindlichkeit C und der Innenwiderstand R_G des Galvanometers bestimmen. In den Abbildungen 3-6 sind diese Graphen für die unterschiedlichen Messbereiche des Galvanometers dargestellt. Aus den Parametern A und B der linearen Fitfunktion errechnen sich C und R_G wie folgt:

$$C = \frac{B R_2 E}{R_1 + R_2} \quad (9)$$

$$R_G = \frac{A}{B} - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

Da sich der Zeiger des Galvanometers auf einer Kreisbahn bewegt und auf eine ungekrümmte Anzeige abgebildet wird, kann die Skala nur annähernd als linear betrachtet werden. Die Kurven sind also ebenfalls gekrümmt. Um das zu kompensieren, wurden bei Abbildung 5 und 6 nur die ersten 10 Werte für große Skalenteile angefitet, da hier eine deutlich Änderung zu sehen war. In Tabelle 1 sind die daraus erhaltenen Werte für C und R_G aufgeführt.

4.2 Kalibrierung der Photodiode

Durch Regelung der Heizspannung konnten verschiedene Temperaturen des Heizfadens eingestellt werden, die mit dem Pyrometer bestimmt wurden. In Abhängigkeit dazu wurde der Photostrom der Photodiode gemessen. Es ist zu beachten, dass es sich bei den durch das Pyrometer bestimmten Temperaturen nicht um die eigentliche Temperatur des Heizfadens handelt, da mit dem Pyrometer Temperaturen schwarzer Körper gemessen werden.

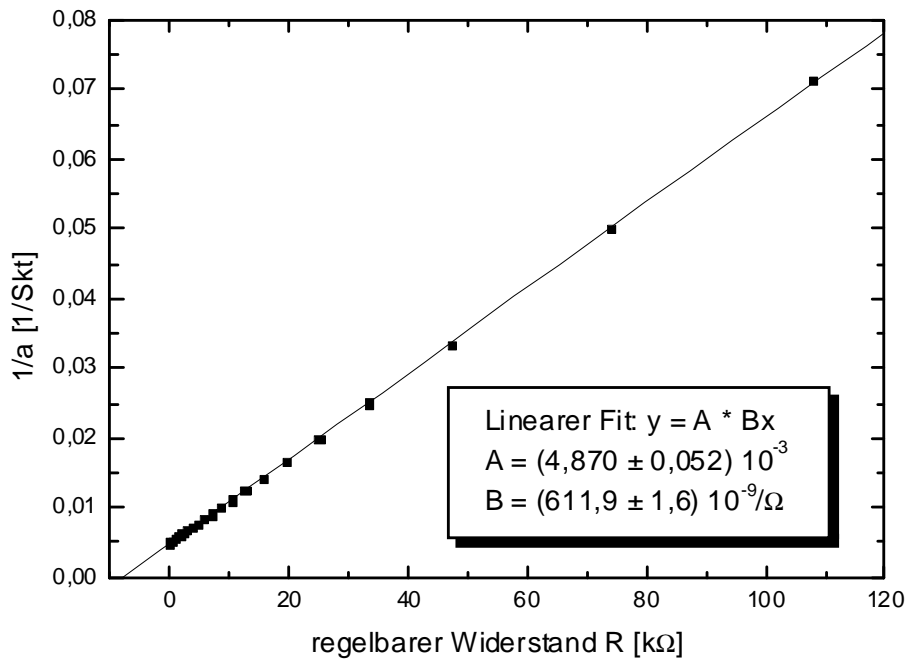


Abbildung 3: Kalibrierung bei einer Empfindlichkeit des Galvanometers von 0,001

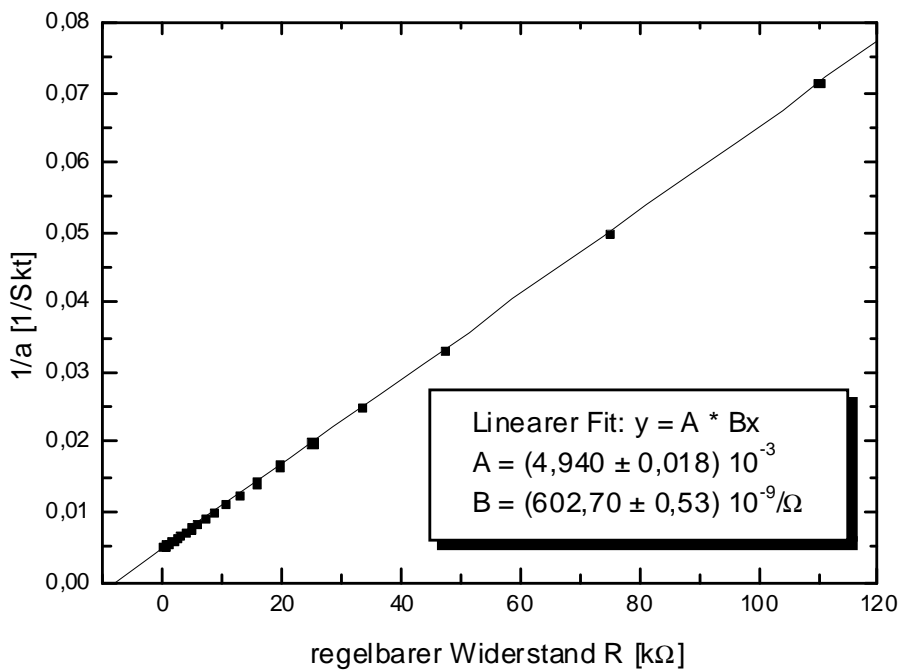


Abbildung 4: Kalibrierung bei einer Empfindlichkeit des Galvanometers von 0,01

Empfindlichkeit	$C [A/Skt]$	$R_G [k\Omega]$
0,001	$(8,49 \pm 0,23) 10^{-7}$	$6,57 \pm 0,22$
0,01	$(8,298 \pm 0,031) 10^{-8}$	$6,820 \pm 0,074$
0,1	$(8,114 \pm 0,035) 10^{-9}$	$6,953 \pm 0,025$
1	$(8,094 \pm 0,056) 10^{-10}$	$7,198 \pm 0,052$

Tabelle 1: Kalibrierung des Galvanometers und Innenwiderstand

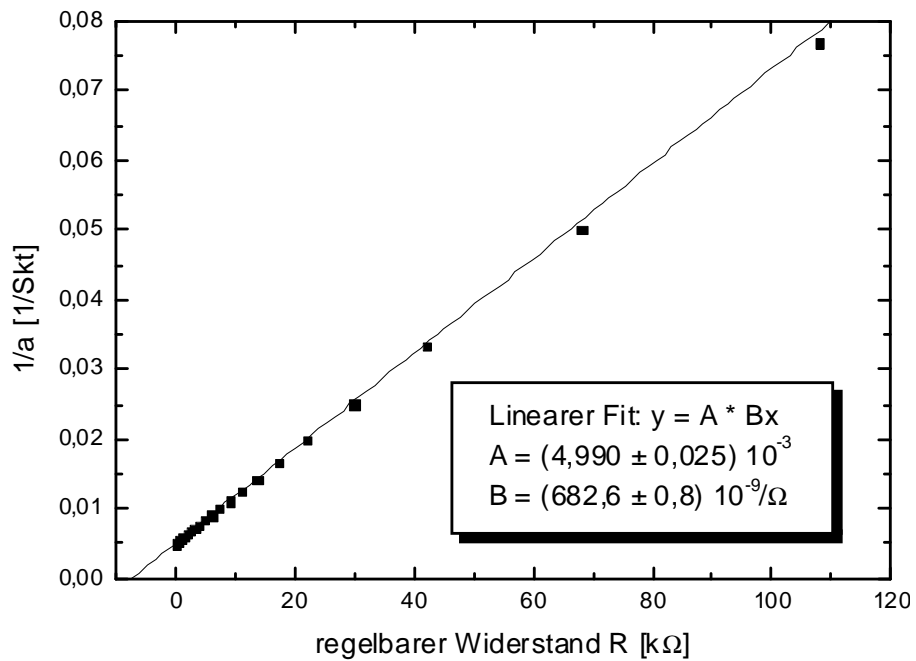


Abbildung 5: Kalibrierung bei einer Empfindlichkeit des Galvanometers von 0,1

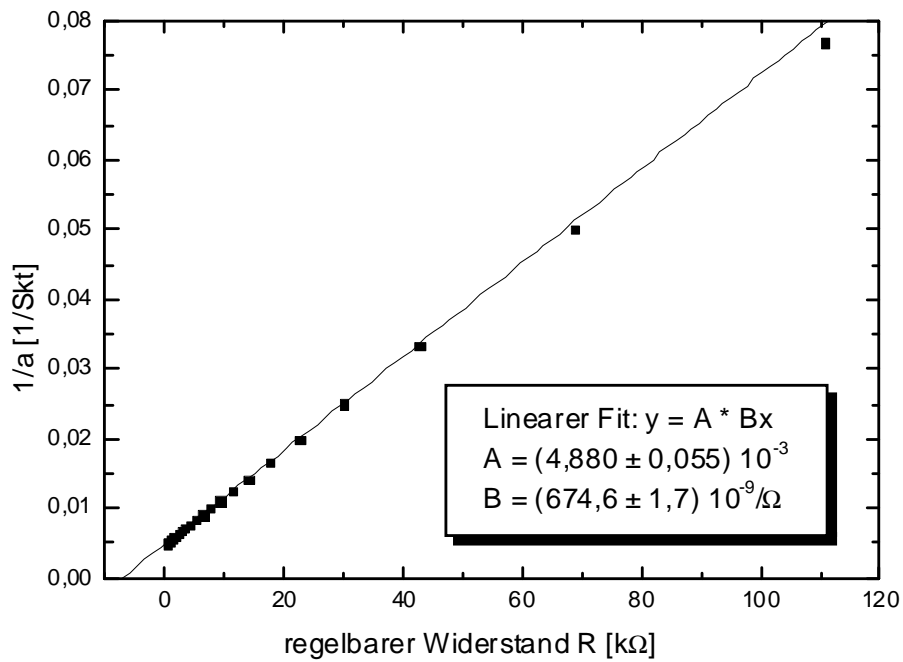


Abbildung 6: Kalibrierung bei einer Empfindlichkeit des Galvanometers von 1

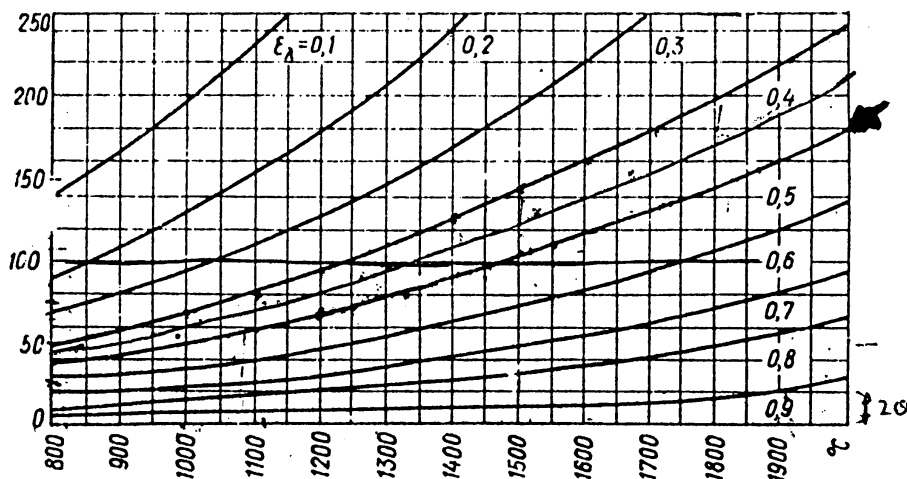


Abbildung 7: Diagramm zur Temperaturkorrektur der am Pyrometer abgelesenen Temperaturwerte

Die Temperatur des Glühfadens ist höher als die gemessenen Temperaturen. Es müssen daher noch die in Diagramm 7 abzulesenden Werte darauf addiert werden. Der spektrale Emissionskoeffizient $\varepsilon(\lambda, T)$ für Wolfram beträgt im Versuch etwa 0,47. Die Abhängigkeit des Logarithmus der Temperatur des Heizfadens vom Logarithmus des Photostroms ist in Abbildung 8 dargestellt. Mit Hilfe der linearen Fitfunktion kann nun im folgenden direkt von den gemessenen Photoströmen auf einen zugehörigen Temperaturwert umgerechnet werden.

4.3 Sättigungsstrom

Für die folgenden Messungen verwendeten wir einen Aufbau wie in Abbildung 1. Nun maßen wir die Abhängigkeit des Anodenstroms I_A , der einmal mit einem Gleichspannungszerrhackerverstärker MV 40 und einmal mit dem in 4.1 kalibrierten Spiegelgalvanometer bestimmt wurde, in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_A zunächst über den gesamten Spannungsbereich bei einer bestimmten Temperatur ($I_{Photo} = 20\mu A$) einmal bei richtig gepolter Heizspannung und einmal bei verpolter Heizspannung. Die Messwerte sind im Diagramm in Abbildung 9 aufgetragen. Man erkennt, dass der lineare Bereich der Kurve bei einer Anodenspannung U_A zwischen 5V und 25V liegt. Der Sättigungsstrom ergibt sich aus dieser linearen Funktion für eine Anodenspannung $U_A = 0$. Es werden nun also die Sättigungsströme bei verschiedenen Temperaturen bestimmt, indem die Kurven für den Anodenstrom I_A in Abhängigkeit von der Anodenspannung U_A in einem Bereich von 5V bis 25V linear gefittet werden. Aus den Schnittpunkten der y-Achse ergeben sich die verschiedenen Sättigungsströme, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

4.4 Bestimmung der Austrittsarbeit

In den Abbildungen 10 und 11 sind jeweils $\lg \frac{I_S}{T^2}$ über $\frac{1}{T}$ dargestellt, einmal für die gemessene schwarze Temperatur (Abbildung 10) und die korrigierte graue Temperatur (Abbildung 11). Mit Hilfe der folgenden Formel, die man aus Umformung der Richardson-Gleichung (Formel

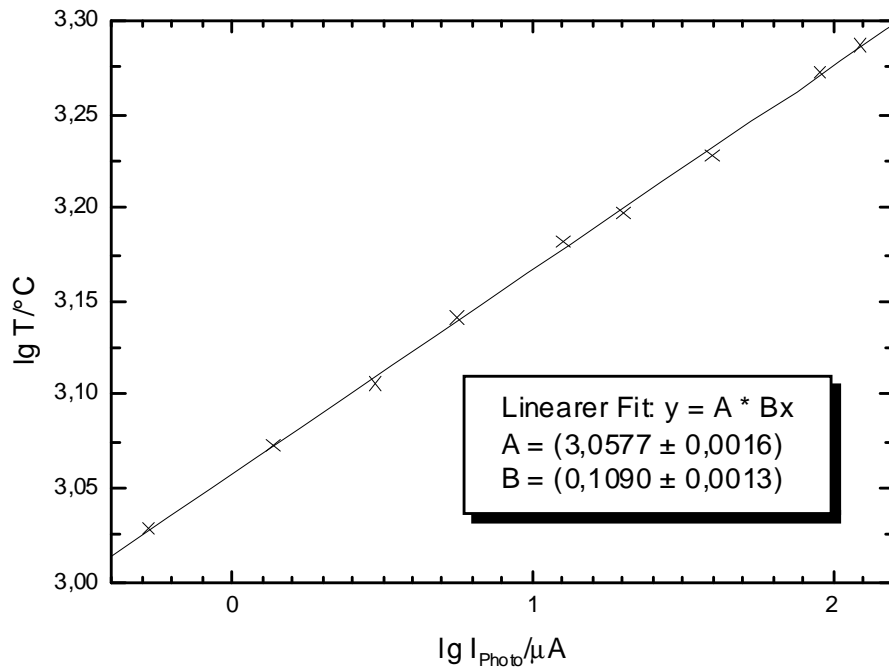
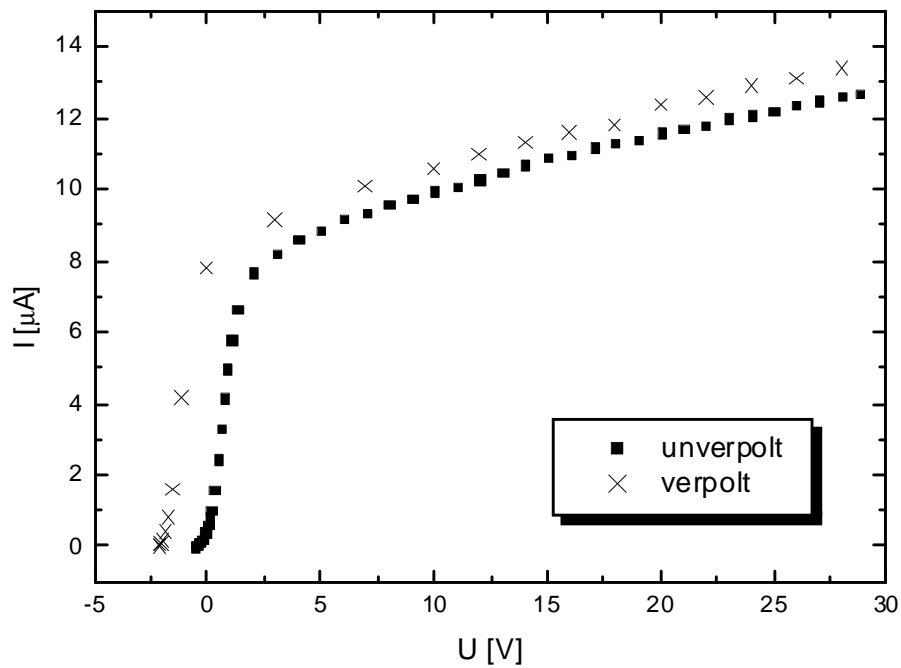


Abbildung 8: Abhängigkeit der Temperatur des Heizfadens vom Photostrom

Abbildung 9: Anodenstrom I_A über Anodenspannung U_A ($I_{Photo} = 20\mu A \Rightarrow T = 1583^\circ C$)

Messgerät	I_{Photo} [μA]	T [$^{\circ}C$] (unkorr.)	T [$^{\circ}C$] (korr.)	I_S [A]
MV40	0,25	932	982	1,23E-11
	0,5	1001	1059	1,25E-10
	1,5	1123	1194	4,59E-09
	3	1207	1287	3,21E-08
	5	1272	1361	1,61E-07
	10	1368	1468	1,24E-06
	20	1470	1583	9,92E-06
	40	1580	1707	8,49E-05
	60	1648	1785	2,75E-04
GM	2	1157	1232	7,74E-09
	4	1243	1328	7,67E-08
	5	1272	1361	1,33E-07
	8	1336	1433	5,65E-07
	10	1368	1468	1,44E-06
	15	1427	1534	3,83E-06
	20	1470	1583	9,79E-06
	30	1533	1655	3,33E-05
	40	1580	1707	8,96E-05

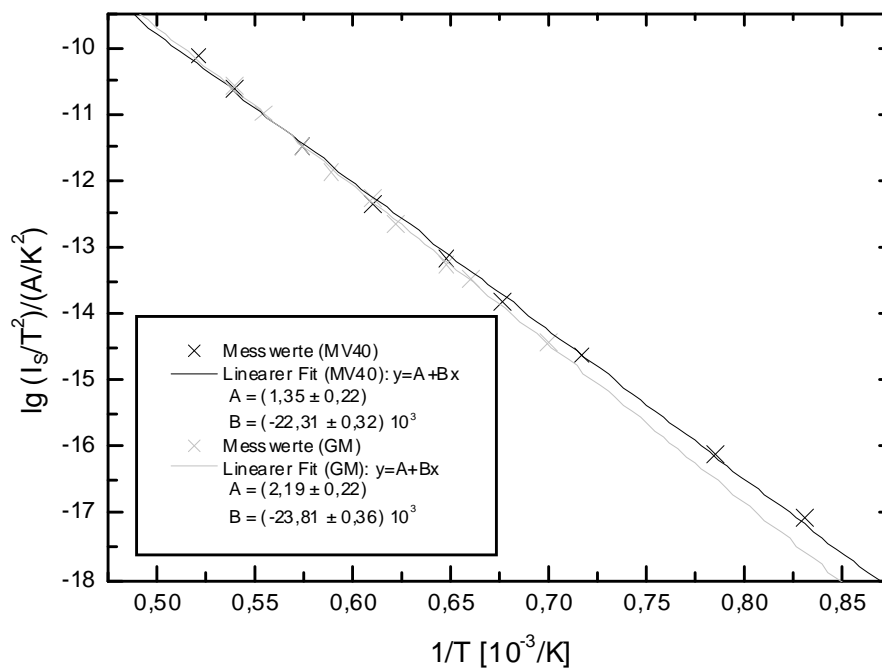
Tabelle 2: Sättigungsstrom I_S in Abhängigkeit von der Temperatur

Abbildung 10: Bestimmung der Austrittsarbeit mit gemessener schwarzer Temperatur

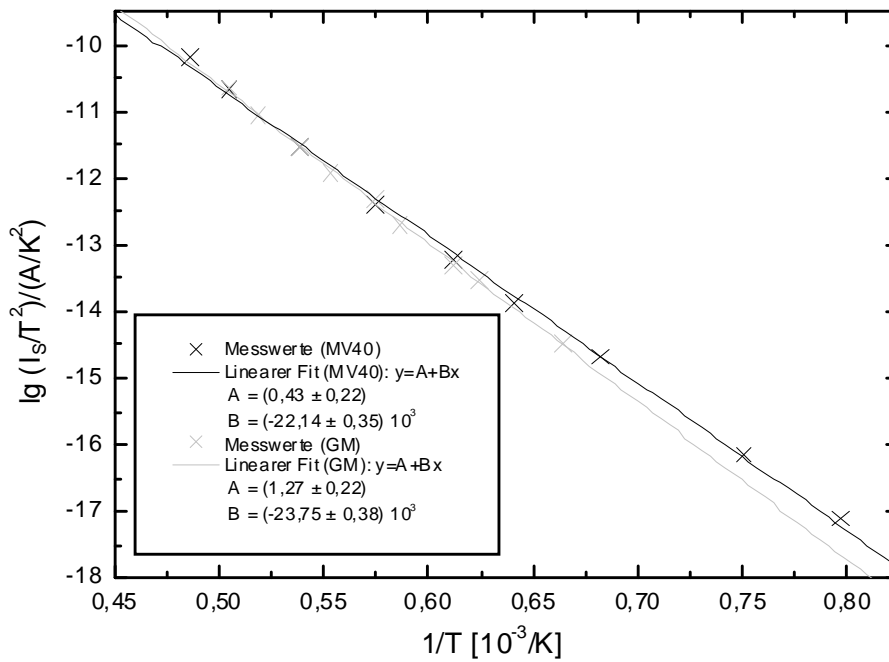


Abbildung 11: Bestimmung der Austrittsarbeit mit korrigierter grauer Temperatur

		Austrittsarbeit [eV]	Kathodenfläche [mm ²]
unkorrigiert	MV40	4,427±0,063	18,8± 3,0
	GM	4,724±0,072	129,9±13,1
korrigiert	MV40	4,393±0,069	2,2± 2,7
	GM	4,712±0,063	15,6± 2,7
Theorie		4,54	

Tabelle 3: Austrittsarbeit und effektiv wirksame Kathodenfläche

2) erhält, lässt sich aus dem Anstieg der Graphen die Austrittsarbeit W_a bestimmen.

$$\lg \frac{I_S}{T^2} = \underbrace{\lg(c \cdot F)}_A + \underbrace{\left(-\lg e \cdot \frac{W_a}{k}\right)}_B \frac{1}{T} \quad (11)$$

$$W_a = -\frac{k}{\lg e} B \quad (12)$$

Damit ergibt sich folgender Standardfehler für W_a :

$$\sigma W_a = \frac{\sigma B}{B} W_a \quad (13)$$

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

4.5 effektiv wirksame Kathodenfläche

Aus Formel 11 kann nicht nur auf die Austrittsarbeit W_a , sondern auch auf die effektiv wirksame Kathodenfläche F geschlossen werden:

$$F = \frac{10^A [K^2/A]}{c} \quad (14)$$

Dabei nehmen wir einen Literaturwert $c = 1,2 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2 K^2}$ an. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt. Mit Hilfe des Kathodometers führten wir auch eine geometrische Bestimmung der Kathodenfläche durch, was allerdings eine sehr grobe Näherung ist. Wir ermittelten eine Kathodenfläche $F \approx 15 \text{ mm}^2$.

Literatur

[1] Praktikumsanleitung

A Messprotokoll