

V504

# Thermische Elektronenemission

Ahmet Can Ademoglu  
ahmetcan.ademoglu@tu-dortmund.de

Moritz Arndt  
moritz.arndt@tu-dortmund.de

Durchführung: 30.06.2020

Abgabe: 14.07.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

## Inhaltsverzeichnis

# 1 Ziel

Ziel des Versuchs ist es, zu zeigen, dass Metalloberflächen bei Erwärmung Elektronen emittieren können (*glüh elektrischer Effekt*). Dabei wird vor Allem auch die Temperaturabhängigkeit dieses Effektes untersucht. Außerdem wird die Austrittsarbeit bestimmt, die nötig ist, damit ein Elektron eine Wolfram-Oberfläche verlassen kann.

## 2 Theorie

Ähnlich wie bei dem *photoelektrischen Effekt*, werden bei dem nun behandelten *glüh elektrischen Effekt* Elektronen aus einer Metall-Oberfläche gelöst und sind danach frei beweglich. Für die Austrittsarbeit aus der Oberfläche der *Glühkathode* wird bei diesem Phänomen die thermische Energie des Elektrons aufgebraucht. Das heißt, dass der Effekt von der Temperatur  $T$  der Metall-Oberfläche abhängt.

### 2.1 Vorgänge im Metall

In einem Metall sind die Elektronen, innerhalb des Ionen-Gitters, frei beweglich. Sie sind jeweils im Kraftfeld aller Ionen und nicht an ein einzelnes gebunden. Vereinfacht betrachtet herrscht zwischen dem Metall und dem Außenraum eine konstante Potentialdifferenz  $\xi$  (Abb. 1).

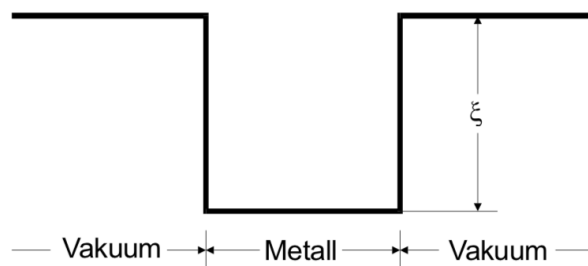
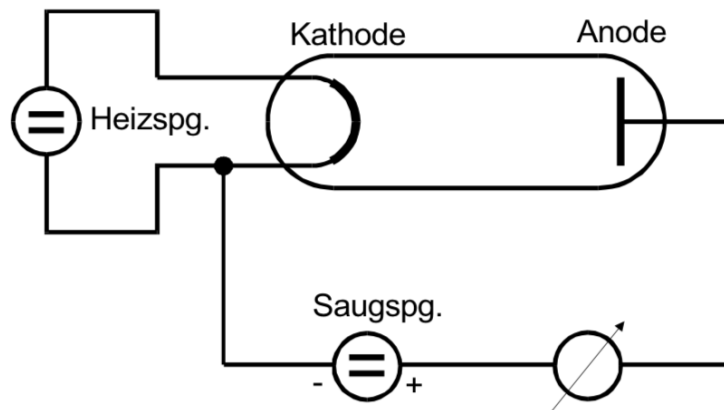


Abbildung 1: Potentialtopfmodell eines Metalles [1]

Diese Potentialdifferenz muss überschritten werden, damit das Elektron aus dem Metall austreten kann. Zusätzlich muss auch die *Fermische Grenzenergie*  $\zeta$  überschritten werden, sodass austretende Elektronen mindestens eine Energie von  $e_0\xi + \zeta$  haben.

### 2.2 Vorgänge außerhalb des Metalls

Da die freien Elektronen beim Austreten aus der Oberfläche mit Gasatomen wechselwirken würden, befindet sich der Versuchsaufbau in einem Vakuum (Abb. 2). Ein solcher Aufbau wird *Hochvakuumdiode* genannt.



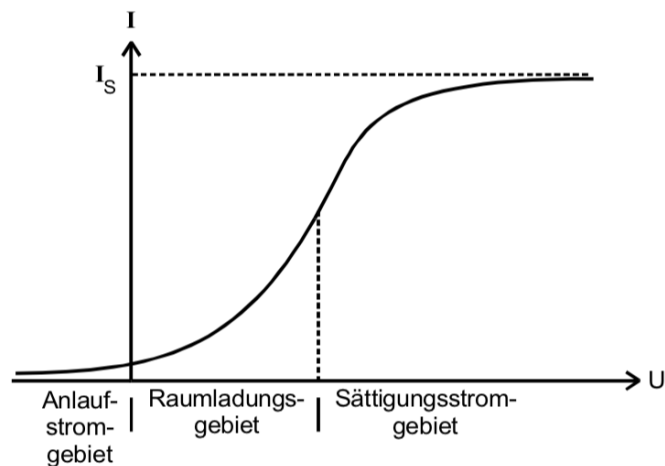
**Abbildung 2:** Grundsätzliche Schaltung einer Diode im Vakuum [1]

Außerdem zieht das E-Feld der Diode die Elektronen weg. Die Stromdichte der austretenden Elektronen an der Oberfläche wird dabei von der *Richardson-Gleichung* angegeben

$$j_S(T) = 4\pi \frac{e_0 m_0 k^2}{h^3} T^2 \exp\left(\frac{-e_0 \xi}{kT}\right). \quad (1)$$

### 2.3 Kennlinien

Die Eigenschaften der Glühkathode werden bestimmt, indem man den Diodenstrom in Abhängigkeit von der Diodenspannung misst. Die graphische Darstellung dieser Beziehung heißt *Kennlinie*.



**Abbildung 3:** Kennlinie einer Hochvakuumdiode [1]

Für die quantitative Auswertung der Messergebnisse werden in den verschiedenen Bereichen verschiedene Gesetzmäßigkeiten berücksichtigt, die in den folgenden Absätzen behandelt werden.

Elektronen, welche aus der Oberfläche austreten, können noch eine Restenergie in Form von kinetischer Energie haben. Diese können den Raum zwischen Kathode und Anode überqueren und so als Anodenstrom erfasst werden, obwohl kein äußeres Potential anliegt. Sogar bei einem geringem Gegenfeld fließt dieser *Anlaufstrom* noch. Für das Anlaufstromgebiet (Abb. 3) gilt

$$j(V) = \text{const} \cdot \exp\left(-\frac{e_0 V}{kT}\right). \quad (2)$$

Der Anodenstrom ist bei gegebenem  $T$  trotzdem auch noch von der Anodenspannung abhängig. Dies liegt daran, dass die ersten austretenden Elektronen das E-Feld für die nachfolgenden Elektronen, bei geringen Spannungen, signifikant abschwächen. Der gemessene Diodenstrom ist also kleiner als erwartet. Diese Spannungsabhängigkeit ist gegeben durch das *Langmuir-Schottkysche Raumladungsgesetz* [1]

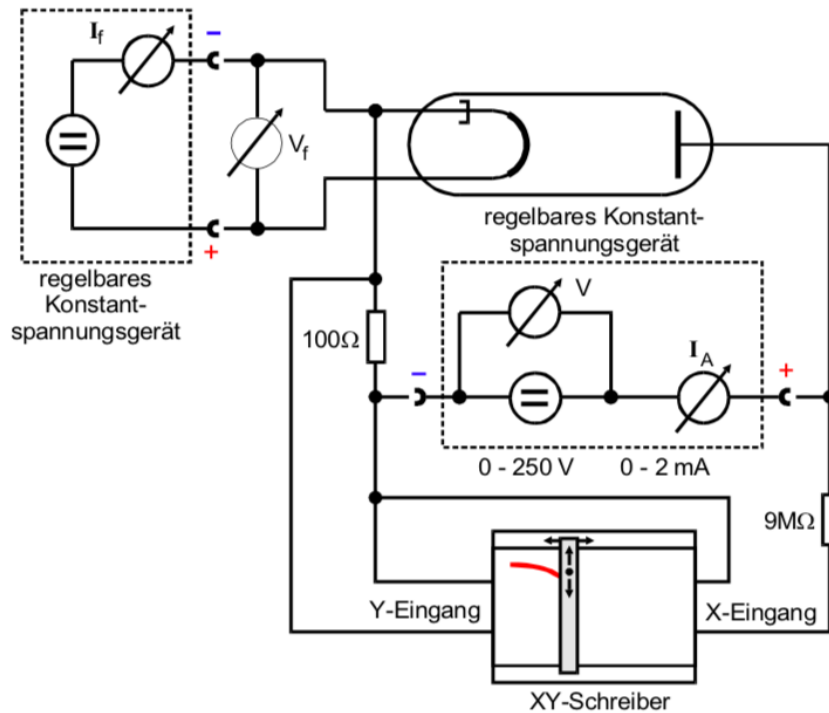
$$j(V) = \frac{4}{9} \epsilon_0 \sqrt{2 \frac{e_0}{m_0} \frac{V^{\frac{3}{2}}}{a^2}}. \quad (3)$$

Es gilt für das *Raumladungsgebiet* des j-V-Diagramms.

Im *Sättigungsstromgebiet* kommen wieder so viele Elektronen an der Anode an, wie aus der Kathoden-Oberfläche austreten, weshalb Gl. (1) gilt. Lediglich die Temperatur und die Austrittsarbeit kann im *Sättigungsstromgebiet* den Anoden-Strom verändern.

### 3 Durchführung und Aufbau

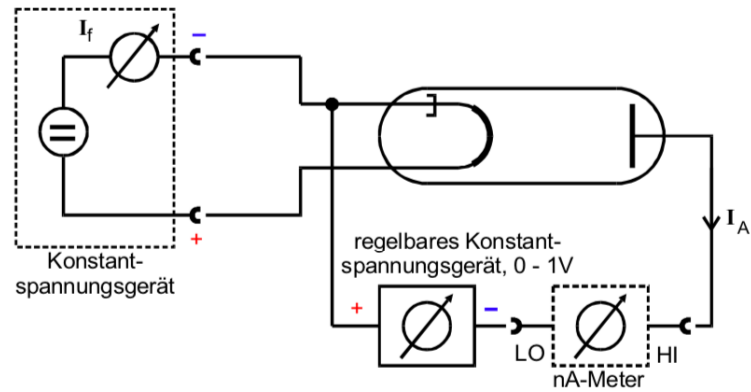
Der Heizstrom der Kathode liegt in einem Bereich von ca. 2-3 A. Für die Messung der Kennlinien wird folgende Schaltung verwendet.



**Abbildung 4:** Schaltung zur Aufnahme von Diodenkennlinien [1]

Ein Heizstrom und eine Heizspannung, beide ablesbar, werden in der Schaltung ange-  
stellt. Ein Konstantspannungsgerät kann nun auch eine Spannung an die Diode anlegen.  
Der daraus resultierende Diodenstrom wird notiert. Die Messung erfolgt dabei für stei-  
gende Spannungen in 5V-Abständen. Die Skala des Spannungsmessgerätes lässt eine  
Erhöhung von 5V im hohen Messbereich nicht präzise zu, sodass der Abstand zwischen  
der Aufnahme der Werte ab dort bei 10 V liegt. Dabei wird zweimal nur der Sätting-  
sstrombereich aufgenommen und einmal sowohl das Raumladungsgebiet als auch das  
Sättigungsstromgebiet.

Für die Anlaufstromkurve wird eine andere Schaltung (Abb. 5) verwendet.



**Abbildung 5:** Schaltung zur Aufnahme einer Anlaufstromkurve [1]

Da die auftretenden Ströme bei dem Anlauf im Nano-Bereich sind, muss ein entsprechend empfindliches Amperemeter verwendet werden. Damit eine solche Genauigkeit erreicht werden kann, hat das Amperemeter einen Innenwiderstand von  $1\text{ M}\Omega$ . Dies verfälscht jedoch auch die Spannung, weshalb bei der Auswertung auf die Korrektur der Spannung geachtet werden muss. Die Messdaten werden in  $0.1\text{V}$  Schritten aufgenommen, von  $0\text{V}$  bis zu  $1\text{V}$ . Mit Hilfe dieser aufgenommenen Kennlinien wird die Auswertung vorgenommen.

## 4 Auswertung

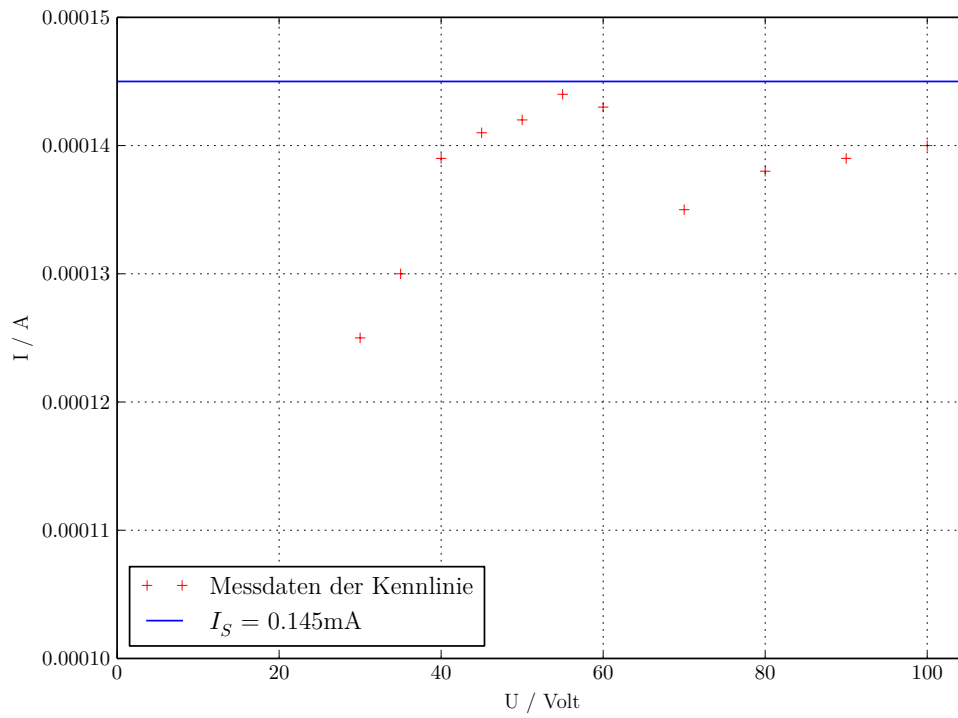
### 4.1 Kennlinien und Sättigungsstrom

Es werden Kennlinien bei verschiedenen Heizleistungen aufgenommen und ausgewertet. Der Sättigungsstrom  $I_S$ , dem sich die  $I$ -Werte annähern, wird abgeschätzt.

**Tabelle 1:** Messdaten bei einer Heizspannung von  $2V$  und einem Heizstrom von  $5A$ .

I in $mA$	U in $V$
0.125	30
0.130	35
0.139	40
0.141	45
0.142	50
0.144	55
0.143	60
0.135	70
0.138	80
0.139	90
0.140	100





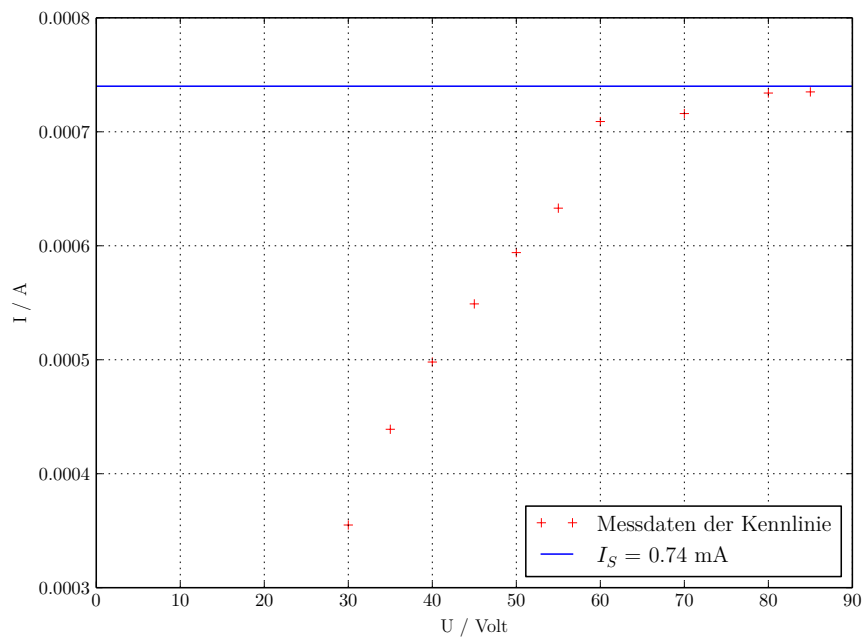
**Abbildung 6:** Messdaten bei einer Heizspannung von 2V und einem Heizstrom von 5A [1]

Bei den beschriebenen Heizungseigenschaften (Abb. 6) liegt der Sättigungsstrom bei

$$I_S = 0.145\text{mA}. \quad (4)$$

**Tabelle 2:** Messdaten bei einer Heizspannung von 2.2V und einem Heizstrom von 5.5A.

I in mA	U in V
0.355	30
0.439	35
0.498	40
0.549	45
0.594	50
0.633	55
0.709	60
0.716	70
0.734	80
0.735	85



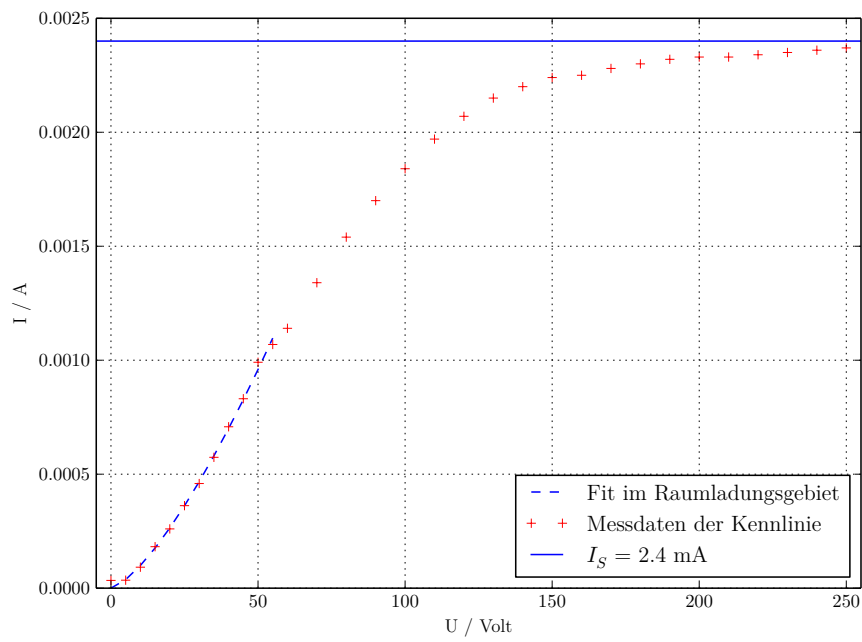
**Abbildung 7:** Messdaten bei einer Heizspannung von 2.2V und einem Heizstrom von 5.5A [1]

Bei den beschriebenen Heizungseigenschaften (Abb. 7) liegt  $I_S$  bei

$$I_S = 0.74 \text{ mA.} \quad (5)$$

**Tabelle 3:** Messdatentabelle bei einer Heizspannung von 2.4V und einem Heizstrom von 6A.

I in mA	U in V	I in mA	U in V
0.034	0	1.84	100
0.035	5	1.97	110
0.092	10	2.07	120
0.182	15	2.15	130
0.26	20	2.2	140
0.362	25	2.24	150
0.459	30	2.25	160
0.574	35	2.28	170
0.708	40	2.3	180
0.831	45	2.32	190
0.991	50	2.33	200
1.069	55	2.33	210
1.14	60	2.34	220
1.34	70	2.35	230
1.54	80	2.36	240
1.7	90	2.37	250



**Abbildung 8:** Messdaten bei einer Heizspannung von 2.4V und einem Heizstrom von 6A [1]

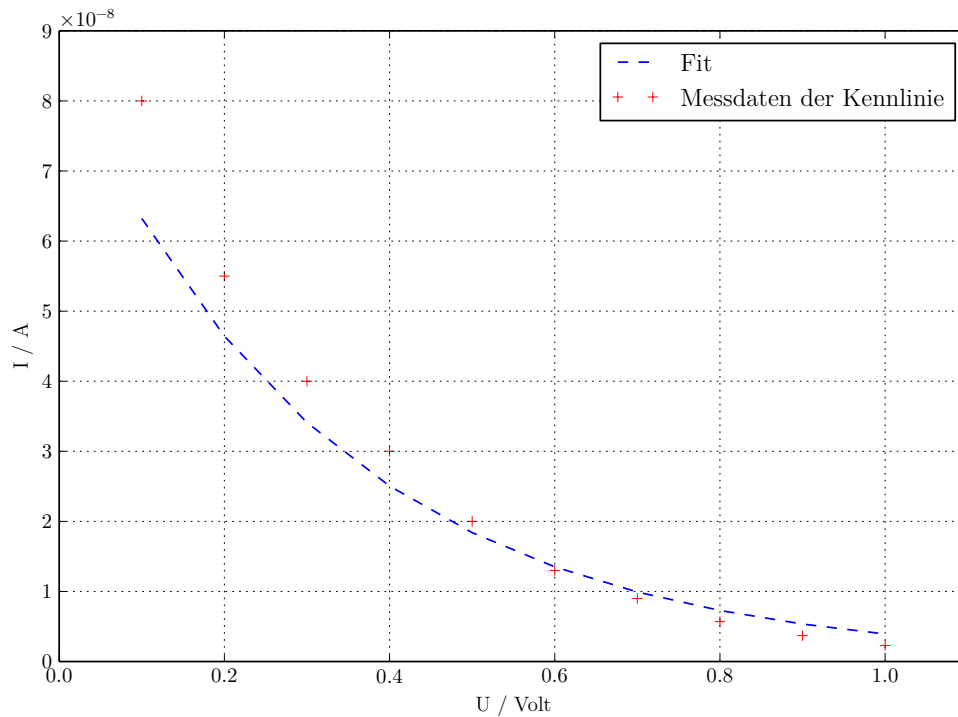
Bei den beschriebenen Heizungseigenschaften (Abb. 8) liegt der Strom bei

$$I_S = 2.4\text{mA}. \quad (6)$$

Der Raumladungsbereich wurde nach Abbildung 3 abgeschätzt. In diesem Bereich wird gegenüber den Daten ein Fit angelegt. Dies geschieht nach der Gleichung (3). Der Exponent der Spannung  $U$  war dabei der zu bestimmende Fitparameter der Fitfunktion  $I(U) = \text{const} \cdot \frac{U^b}{a^2}$ . Er wurde mit NumPy [6] als 1.407 bestimmt während  $a$  bei 7.73 liegt.

## 4.2 Das Anlaufstromgebiet und die Temperatur

Die Messdaten des Anlaufstromgebiets werden geplottet und es wird nach einer Spannungskorrektur eine Ausgleichskurve nach (2) angelegt.



**Abbildung 9:** Messdaten des Anlaufstromgebiets bei einer Heizspannung von 2.4V und einem Heizstrom von 6A [1]

An die Daten legen wir eine Fitfunktion  $I(U) = a \cdot e^{-bU}$ . Mit den herausgefundenen Parametern  $a = 8.6 \cdot 10^{-8} \pm 1.6 \cdot 10^{-9}$  und  $b = 3.09 \pm 0.089$  wird mit Gleichung (2) eine Temperatur von  $3761.16\text{K} \pm 2.897\%$  errechnet.

### 4.3 Kathodentemperaturen

Mit

$$T = \sqrt[4]{\frac{I_H \cdot U_H - N_{WL}}{f \eta \sigma}} \quad (7)$$

[1] kann die Temperatur aus den gemessenen Wertepaaren in Unterkapitel 4.1 errechnet werden.

So werden folgende Temperaturen gefunden.

**Tabelle 4:** Temperaturen der Heizkathoden

$I_H / \text{A}$	$U_H / \text{V}$	Temperatur in $K$
5A	2V	2048.87
5.5A	2.2V	2159.16
6A	2.4V	2263.24

### 4.4 Austrittsarbeit

Durch das Umstellen von Gl. (1) ist es möglich, die Austrittsarbeit des verwendeten Materials (hier: Wolfram) auszurechnen.

(8)

Es ergeben sich folgende Daten.

**Tabelle 5:** Austrittsarbeiten

$I_H / \text{A}$	$U_H / \text{V}$	Austrittsarbeit in $eV$
5A	2V	3.82
5.5A	2.2V	3.73
6A	2.4V	3.71

## 5 Diskussion

Die über das Anlaufstromgebiet herausgefundene Temperatur (Unterkapitel 4.2) war zu hoch. So hat die Temperatur in Unterkapitel ?? bei den gleichen Heizeigenschaften zu dem Wert eine relative Abweichung von ca. 40%. Der höhere Wert überschreitet bereits den Schmelzpunkt ( $3680 \pm 20 \text{ K}$  [5]) von Wolfram und ist daher höchst unwahrscheinlich. Der Fehler kommt wahrscheinlich zu stande, da die Ströme in dem Anlaufstromgebiet sehr klein sind und die verwendeten Messgeräte dementsprechend sehr empfindlich und anfällig für Fehler sind.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch Nr. 504: Thermische Elektronenemission*. 2020.
- [2] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] „LEXIKON DER PHYSIK: Wolfram“. In: *Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg* (1998). URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/wolfram/15683>.
- [6] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.