

V504

## **Thermische Elektronenemission**

Amelie Hater  
amelie.hater@tu-dortmund.de

Ngoc Le  
ngoc.le@tu-dortmund.de

Durchführung: 04.06.2024

Abgabe: 11.06.2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Sättigungsstromdichte . . . . .	3
2.2 Hochvakuum-Diode . . . . .	4
2.3 Kennlinie der Hochvakuum-Diode . . . . .	4
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Kennlinienschar einer Hochvakuum-Diode . . . . .	5
3.2 Bestimmung des Anlaufstromgebiets . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>5 Diskussion</b>	<b>6</b>
<b>Literatur</b>	<b>6</b>
<b>Anhang</b>	<b>6</b>
Originaldaten . . . . .	6

# 1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuchs ist die Austrittsarbeit von Wolfram zu bestimmen. Hierfür werden Kennlinien einer Hochvakuum-Diode aufgenommen.

## 2 Theorie

Metalle sind meistens kristalline Festkörper mit einer guten elektrischen Leitfähigkeit, da die Atome ionisiert sind. Daher bilden die Ionen ein räumlich periodisches Gitter, welche von freigesetzten Elektronen eingehüllt sind. Das Gitterpotential wird in grober Näherung als konstant betrachtet. Somit stellt das Metallinnere ein Gebiet mit positiven Potential dar, was vom Betrag des Potentials im Außenraum unterschiedlich ist.

Damit ein Elektron das Metall verlassen kann, muss ein Elektron gegen das Potential mithilfe einer Austrittsarbeit anlaufen. Laut der Quantentheorie können Elektronen nur diskrete dicht beieinanderliegende Energiewerte annehmen. Zusätzlich unterliegen die Elektronen eines Kristallgitter dem Pauli-Verbot, da diese Teilchen mit halbzahligen Spin sind. Das Pauli-Verbot sagt aus, dass jeder mögliche Zustand mit der Energie  $E$  von höchstens zwei Elektronen eingenommen werden kann. Hierbei müssen die beiden Elektronen entgegengesetzte Spins besitzen. Dadurch weisen die Elektronen beim absoluten Nullpunkt eine endliche Energie auf, wobei die Fermische Grenzenergie  $\xi$  nicht überschritten wird. Diese ist abhängig von der Zahl  $n$  der Elektronen pro Volumeneinheit im Metall.

Bei Zimmertemperatur gilt für alle Metalle  $\xi \gg k_B T$ . Durch die Fermi-Diracsche Verteilungsfunktion wird die Wahrscheinlichkeit angegeben, dass im thermischen Gleichgewicht ein möglicher Zustand mit der Energie  $E$  besetzt ist. Daraus lässt sich erschließen, dass ein Elektron mindestens die Energie  $\xi + e_0 \phi$  besitzen muss, um die Metalloberfläche zu verlassen. Für Elektronen mit hoher Energie, lässt sich diese Wahrscheinlichkeit mit

$$f(E) \approx \exp\left(\frac{\xi - E}{k_B T}\right) \quad (1)$$

nähern, da diese Elektronen die Metalloberfläche spontan verlassen können.

### 2.1 Sättigungsstromdichte

Die Sättigungsstromdichte  $j_S$  beschreibt, die Zahl der Elektronen, welche pro Zeit- und Flächeneinheit aus einer Metalloberfläche austreten. Dies wird durch die Richardson Gleichung

$$j_S(T) = 4\pi \frac{e_0 m_0 k_B^2}{h^3} T^2 \exp\left(\frac{-e_0 \phi}{k_B T}\right) \quad (2)$$

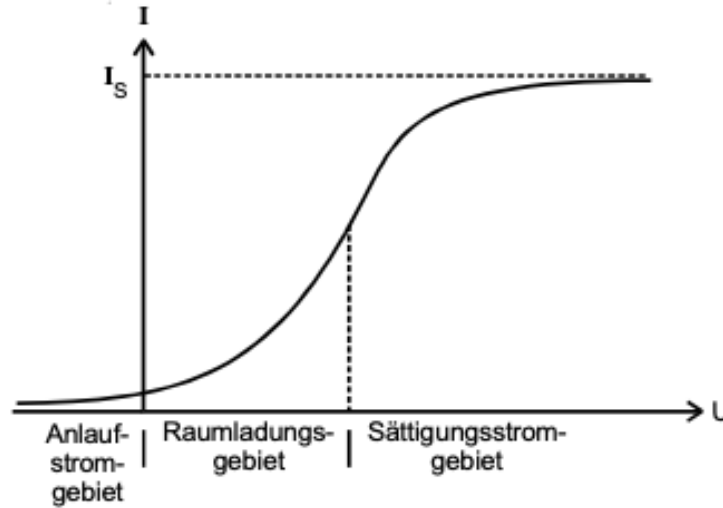
beschrieben.

## 2.2 Hochvakuum-Diode

Für die Messung des Sättigungsstromes einer emittierenden Metalloberfläche wird eine Hochvakuum-Diode verwendet. Das Hochvakuum vermeidet die Wechselwirkungen zwischen den freien Elektronen und den Gasmolekülen. Zusätzlich sorgt die Hochvakuum-Diode dafür, dass ein elektrisches Feld existiert, welches die austretenden Elektronen absaugt. Die Diode besteht aus einem evakuiertem Glaskörper. In diesem Glaskörper ist ein Draht eingeschmolzen, der durch Strom auf  $1000 - 3000 \text{ K}$  erhitzt werden kann. Demzufolge treten Elektronen aus, die durch das elektrische Feld abgesaugt werden.

## 2.3 Kennlinie der Hochvakuum-Diode

Die Kennlinie einer Hochvakuum-Diode ist in Abbildung 1 zu erkennen. Diese beschreibt den Zusammenhang zwischen der Stromdichte  $j$  bzw. dem Anodenstrom  $I_A$  und dem von außen angelegten Potential einer Hochvakuumdiode.



**Abbildung 1:** Kennlinie einer Hochvakuum-Diode Q[1].

Das Anlaufstromgebiet ist durch einen exponentiellen Zusammenhang von dem Strom  $I$  und des Potentials  $V$  beschrieben. Dieser lautet

$$j(V) = j_0 \exp\left(-\frac{e_0 \phi_A + e_0 V}{k_B T}\right) = \text{const} \exp\left(-\frac{e_0 V}{k_B T}\right). \quad (3)$$

Der Anlaufstrom bezeichnet den geringen Strom, gegen welche die Elektronen beim Verlassen der Kathode anlaufen können. Dies ist möglich, da die Energie dieser Elektronen größer als die Austrittsarbeit  $\phi_A$  ist. Das Raumladungsgebiet wird durch das Langmuir-Schottkyschen-Raumladungsgesetz

$$j = \frac{4}{9} \varepsilon_0 \sqrt{2 \frac{e_0}{m_0}} \frac{V^{3/2}}{a^2} \quad (4)$$

beschrieben. In dem Raumladungsgebiet werden nicht alle emittierten Elektronen vom Anodenfeld erfasst, wodurch der gemessene Diodenstrom kleiner als der Sättigungsstrom ist. Hierbei ist die Geschwindigkeit der Elektronen nicht konstant und die Raumladungsdichte  $\rho$  der Elektronen nimmt zur Anode hin ab. Da die Raumladungsdichte den Verlauf der Feldstärke zwischen der Anode und Kathode beschreibt, reichen die Feldlinien, die von der Anode ausgehen, nicht mehr vollständig bis zur Kathode. Zuletzt ist in der Kennlinie der Sättigungsstromgebiet gekennzeichnet, der in 2.1 erläutert wird. Mithilfe von Ausschnitten der Kennlinie können die Kathodentemperatur sowie die Austrittsarbeit der Kathode bestimmt werden.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Kennlinienschar einer Hochvakuum-Diode

Im ersten Teil der Durchführung wird eine Kennlinienschar einer Hochvakuum-Diode erstellt. Hierfür wird die Schaltung in Abbildung 2 ohne einen XY-Schreiber verwendet. Dabei wird die Heizleistung fünf mal im Bereich von  $1,8\text{ A} - 2,4\text{ A}$  variiert. Für jede Heizleistung wird schrittweise die Anodenspannung erhöht und der zugehörige Anodenstrom notiert. Damit wird anschließend für jede Heizleistung eine Kennlinie erstellt und die jeweiligen Sättigungsströme  $I_S$  bestimmt.

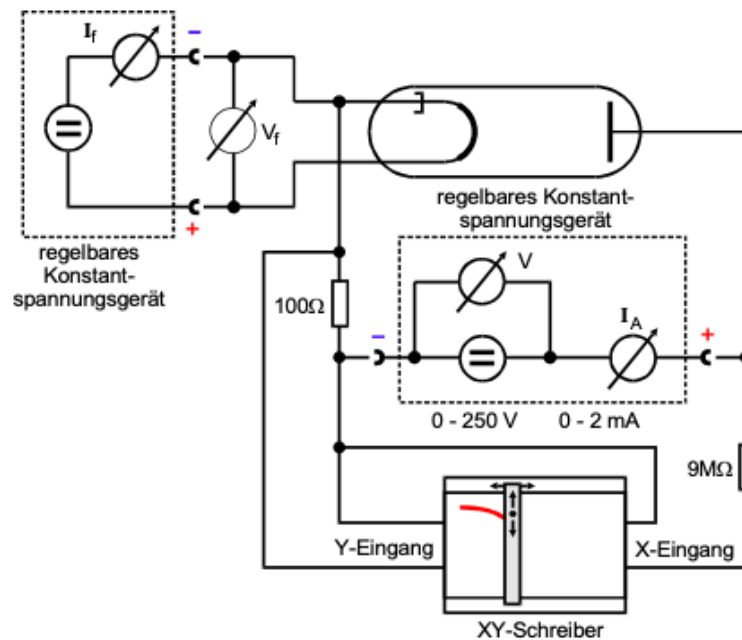


Abbildung 2: Schaltbild zur Erstellung einer Kennlinie der Hochvakuum-Diode Q[1].

### 3.2 Bestimmung des Anlaufstromgebiets

Beim zweiten Teil der Durchführung wird das Anlaufstromgebiet der Diode untersucht. Hier wird die Schaltung in Abbildung 3 verwendet. Zunächst wird der Heizstrom auf 2,3 A eingestellt. Daraufhin wird die Spannung des Gegenfelds schrittweise erhöht. Hierbei werden die jeweiligen Anodenspannungen und -ströme notiert. Zuletzt wird mit den aufgenommenen Daten die Kathodentemperatur bestimmt

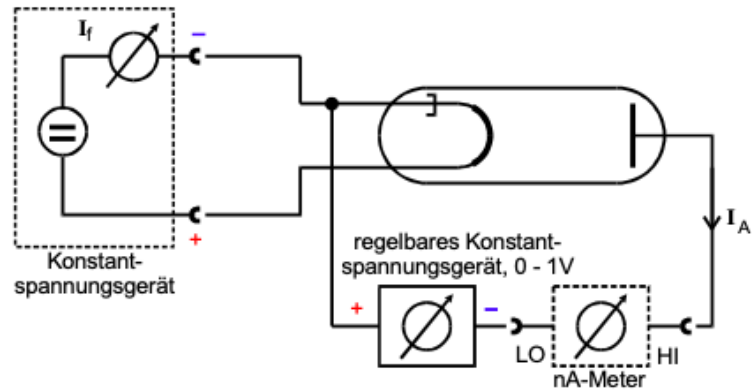


Abbildung 3: Schaltbild zur Aufnahme einer Anlaufstromkurve Q[1].

## 4 Auswertung

## 5 Diskussion

## Literatur

[1] Unknown. *Thermische Elektronenemission*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.

## Anhang

## Originaldaten