TE - Thermische Emission

Praktikum Wintersemester 2005/06

Philipp Buchegger, Johannes Märkle
Assistent Waldemar Kaiser

Tübingen, den 6. März 2006

Theoretische Grundlagen

Ob Elektronen ein Metall verlassen oder nicht hängt von ihrer Energie ab, da zwischen Metall und Vakuum eine Potentialdifferenz besteht. Führt man den Elektronen nun Energie, die dieser Differenz entspricht, in Form von Wärme zu, so werden die Elektronen aufgrund ihrer erhöhten kinetischen Energie in der Lage sein diese Potentialdifferenz zu überwinden. Führt man den Elektronen mehr Energie zu, als erforderlich ist für das Verlassen des Metalls, so werden sie in der Lage sein ein zusätslich angelegtes Gegenfeld zu durchlaufen und zu einer Anode gelangen, an der sie dort als Strom gemessen werden können. Der Anodenstrom aufgetragen über die angelegte Gegenspannung ergibt dann eine Kurve die sich offensichtlich in 3 Bereiche aufteilen lässt.

- **Anlaufbereich** Hier ist die Gegenspannung U_g negativ. Die Elektronen laufen also wie oben diskutiert gegen eine Gegenspannung an, wobei nur die Elektronen mit ausreichender kinetischer Energie die Anode erreichen. Für den Anodenstrom ergibt sich dann:

$$I_A(U_g, T) = I_S(T) \cdot e^{\frac{eU_g}{k_b T}} \tag{1}$$

  Dabei stellt $I_S(T)$ der Temperaturabhängige Sättigungsstrom, e die Elementarladung, T die Temperatur und k_B die Boltzmannkonstante dar.

- **Raumladungsbereich** Die Spannung U_g ist nun positiv. Die Elektronen werden also von der Anode angezogen. Die Stromstärke steigt in diesem Bereich nahezu linear. Da die Elektronen meist nicht schnell genug die Strecke zwischen Kathode und Anode überwinden, bildet sich vor der Kathode eine Elektronenwolke, die diesem Bereich seinen Namen gibt.

- **Sättigungsbereich** Erhöht man die Spannung U_g nun weiter, so wird der Anodenstrom gegen eine Temperaturabhängige Schranke laufen. Der dann fließende Strom wird als Sättigungsstrom bezeichnet. Er berechnet sich wie folgt:

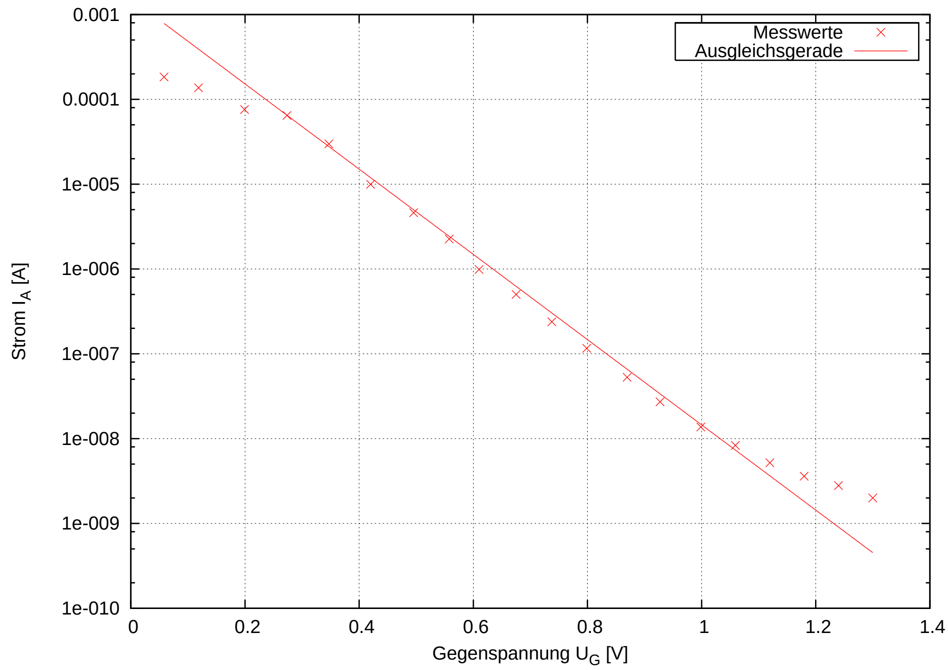
$$I_S(T) = A_0 F T^2 \cdot e^{\frac{W_k}{k_B T}} \tag{2}$$

  A_0 ist dabei eine Konstante und F die Oberfläche der Kathode.

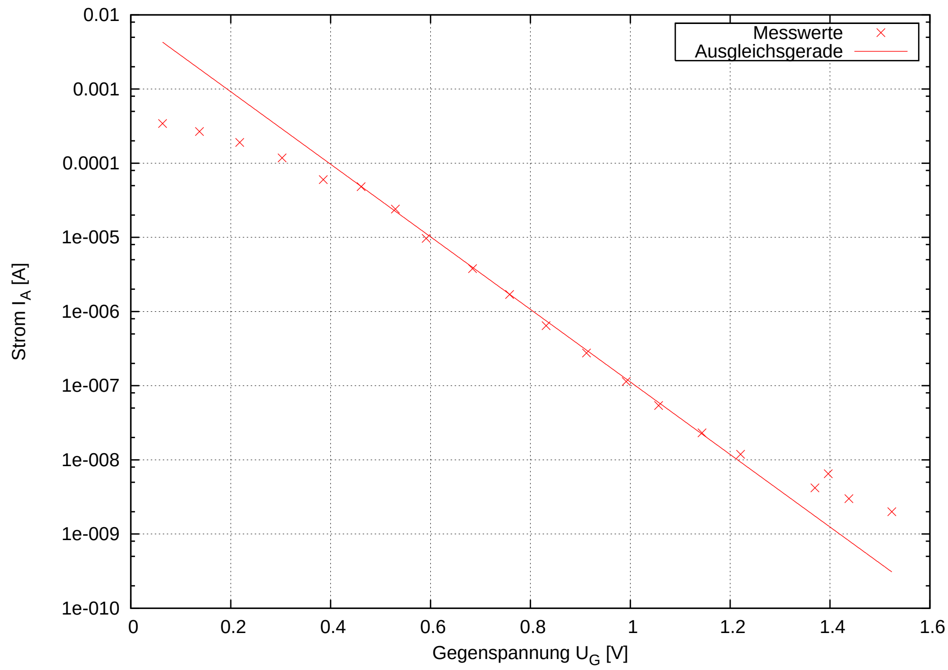
Auswertung

Kathodentemperaturen

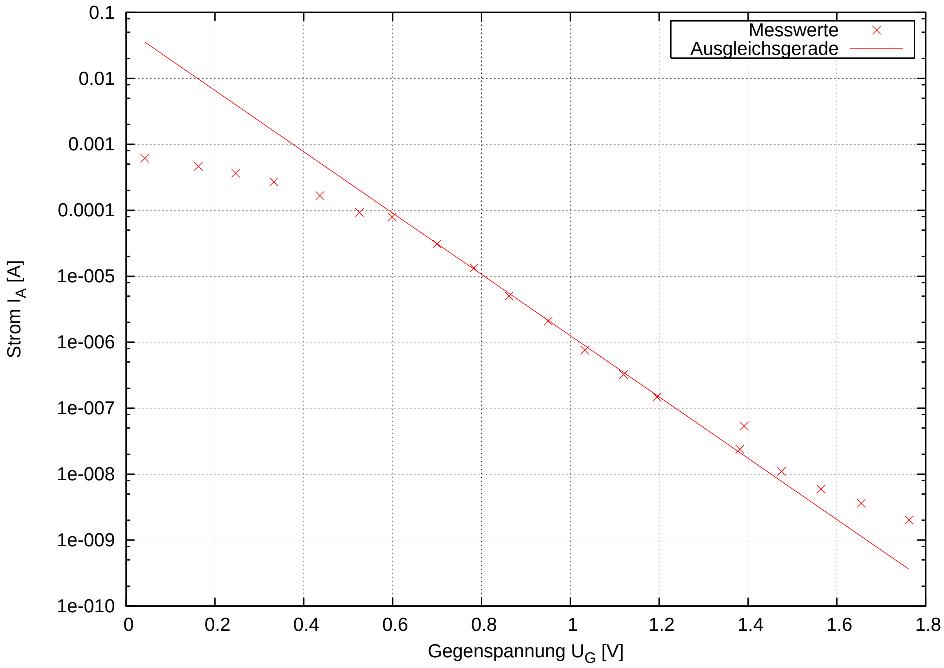
Heizstrom $I_H = 450\mathrm{mA}$



Heizstrom $I_H = 500\mathrm{mA}$



Heizstrom $I_H = 550\mathrm{mA}$



Um die Kathodentemperaturen zu ermitteln, wurde der Strom über die Spannung logarithmisch aufgetragen. Da $m = -\frac{e}{k_b T}$ ist die Kathodentemperatur und ihr Fehler:

$$T = -\frac{e}{k_B m} \qquad \sigma_T = \frac{e}{k_B m^2}\sigma_m$$

Heizstrom I_H	m	b
450mA	-11.5712 ± 0.3164	-6.47634 ± 0.09275
500mA	-11.2649 ± 0.3734	-4.73562 ± 0.1796
550mA	-10.70 ± 0.1735	-2.89256 ± 0.1243

Daraus ergibt sich dann:

$$T_{I=450mA} = (1002.88 \pm 27.42)\mathrm{K}$$
$$T_{I=500mA} = (1030.15 \pm 34.15)\mathrm{K}$$
$$T_{I=550mA} = (1084.53 \pm 17.59)\mathrm{K}$$

Der Schottky-Effekt

Der **Schottky-Effekt** bewirkt, dass bei hohen elektrischen Feldstärken die Austrittsarbeit sinkt. Ist ein Elektron bereits außerhalb des Metalls, so wirkt auch dort noch eine rücktreibende Kraft F_R. Das Elektron induziert auf der Metalloberfläche positive Ladungen, dadurch entsteht die „Bildkraft“ (Stichwort: Spiegelladung) . Das elektrische Feld verhält sich so, also ob sich eine positive Ladung q im Metall befindet:

$$F_R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{(2r)^2} = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 r^2}$$

Durch Integrieren ergibt sich für das Potential der rücktreibenden Kraft

$$W_R(r) = \Phi - \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 r}$$

Des weiteren liefert das angelegte elektrische Feld der Feldstärke E das Potential $W_E(r)$

$$W_E(r) = -\epsilon q r$$

dadurch ergibt sich also für das Gesamtpotential:

$$W_{ges}(r) = \Phi - \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 r - \epsilon q r}$$

Aus der Bedingung $\frac{dW_{ges}(r)}{dr} = 0$ folgt, dass für den Abstand $r_0 = \sqrt{\frac{q}{16\pi\epsilon_0 E}}$ die effektive Austrittsarbeit

$$\Phi_{eff} = W_g es(\sqrt{\frac{q}{16\pi\epsilon_0 E}}) = \Phi_0 - \sqrt{\frac{Eq^3}{4\pi\epsilon_0}}$$

ihr Maximum erreicht und damit abhängig von der angelegten Feldstärke deutlich kleiner wird.

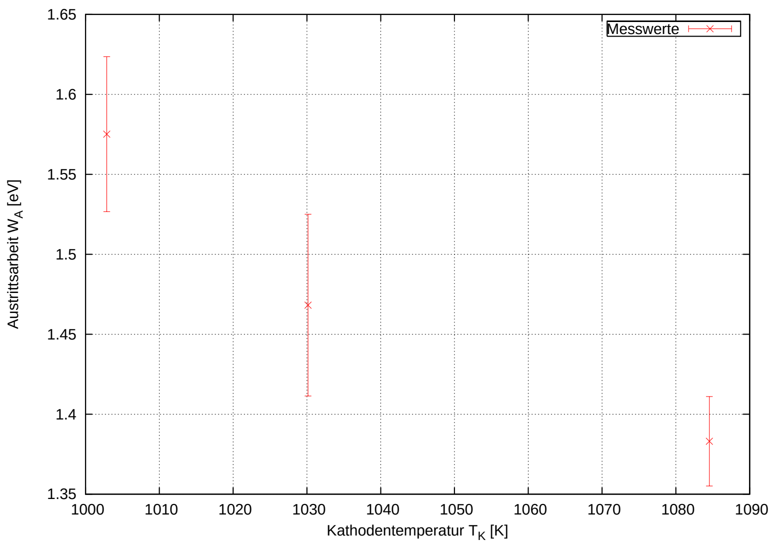
Anodenaustrittsarbeit

Für die Anodenaustrittsarbeit gilt:

$$W_A = k_B T \left(\ln(A_0 F T^2) - b\right) \qquad \sigma_{W_A} = \sqrt{\left(k_B \ln(A_0 F T^2) - k_B b + 2k_B \sigma_T\right)^2 + \left(k_B T \sigma_b\right)^2}$$

Hier ist $b = I_A(0, T)$ wieder wie oben der y-Achsenabschnitt der Gerade. Für die Arbeit bekommen wir also:

$$W_{I=450mA} = (1.575 \pm 0.0485)\text{eV}$$
$$W_{I=500mA} = (1.468 \pm 0.0568)\text{eV}$$
$$W_{I=550mA} = (1.383 \pm 0.0280)\text{eV}$$



Emissionswirkungsgrad η

Für den Emissionswirkungsgrad η gilt:

$$\eta = \frac{\text{Emissionsstrom}}{\text{Heizleistung}} = \frac{I_S}{P_H}$$

Der Emissionsstrom entspricht hier dem Sättigungsstrom (TE.3)

$$I_S(T) = A_0 F T^2 \cdot \ e^{\frac{-W_K}{k_B T}}$$

Die Heizleistung kann mit der nach dem Stefan-Boltzmann Gesetz abgestrahlten Leistung mal Fläche gleichgesetzt werden. Es handelt es sich nicht um einen schwarzen Körper sondern um einen grauen *Lambert*-Strahler

$$P_H = \epsilon(T) \cdot \sigma \cdot F \cdot T^4$$

Wäre der Emissionsgrad temperaturabhängig, so wäre wegen der zusätzlichen Temperaturabhängigkeit die gesamte Strahlungsleistung nicht mehr proportional zu T^4, deswegen gehen wir hier von einem festen Emissionsgrad $\epsilon_1 = 0.29, \epsilon_2 = 0.19$ aus. $\sigma = 5.6705 \cdot 10^{-12} \frac{W}{cm^2 K^4}$ ist die Konstante des Stefan-Boltzmann Gesetzes. Also gilt für den Emissionswirkunsgrad η:

$$\eta = \frac{I_S}{P_H} = \frac{A_0 F T^2 e^{-\frac{W_K}{k_B T}}}{\epsilon \sigma F T^4} = \frac{A_0}{\epsilon \sigma T^2} e^{-\frac{W_K}{k_B T}}$$

W_K und $A_0 = A_R$ sind bekannt, wir müssen also nur noch die Temperatur T berechnen. Formt man die Richardson-Gleichung um, so kann man über die Stromdichte die Temperatur berechnen:

$$I_S(T) = A_R F T^2 \cdot \ e^{\frac{-W_K}{k_B T}}$$

$$j_S(T) = A_R T^2 \cdot \ e^{\frac{-W_K}{k_B T}}$$

Daraus erhält man:

$$0 = \ln A_R + 2 \ln T - \frac{W_K}{k_B T} - \ln j_s = f(T)$$

und somit :

$$T_{\text{Wolfram}} = 2565.85\text{K} \qquad \eta_{\text{Wolfram}} = 0.0070 \frac{\text{A}}{\text{W}}$$

$$T_{\text{Oxid}} = 1183.476\text{K} \qquad \eta_{\text{Oxid}} = 0.23657 \frac{\text{A}}{\text{W}}$$