

Elektron im elektrischen Feld

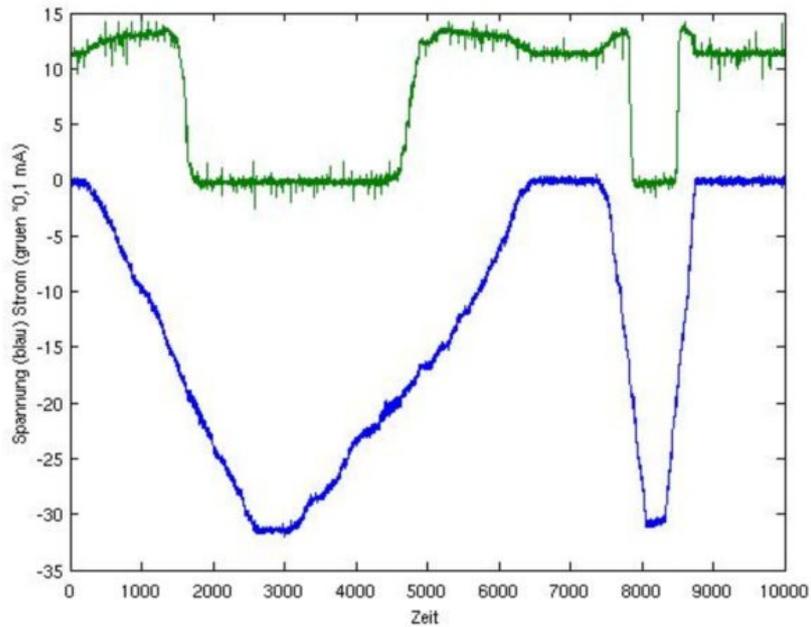


Abb. 1: Spannung (in V) und Strom (in mA) der Anode, Zeitachse in ms

Geräteliste:

Hochvakuumröhre (Pentode EF 40), Mehrfachspannungsquelle, Strommessgerät, Speicheroszilloskop

Versuchsbeschreibung:

Der Anodenstrom wird bei Vergrößerung der Gegenspannung gemessen und mit dem Speicheroszilloskop aufgenommen. Bei einer bestimmten Spannung geht der Strom auf 0A zurück. Anhand dieses Verhaltens kann das elektrische Feld als Gradient des Potentials verdeutlicht werden.

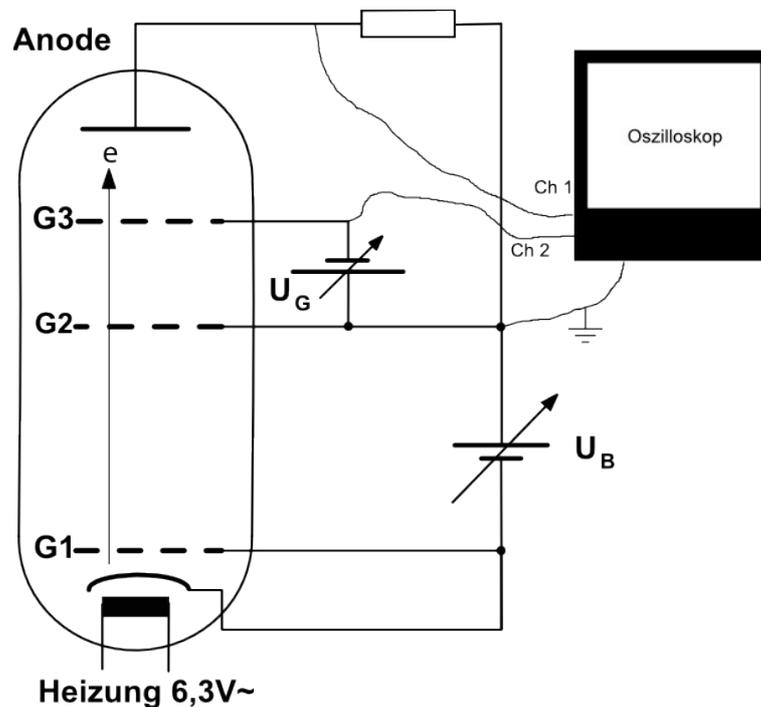


Abb. 2: Schaltplan

Bemerkungen:

An der Heizwendel der Röhre können Elektronen aus dem Leiter heraustreten, da die Wärmeenergie ausreicht um die Austrittsarbeit aufzubringen. Das Gitter 2 (G2) liegt gegenüber der Heizwendel und dem Gitter 1 (G1) auf dem positiven Potenzial von U_B . Die Elektronen werden beschleunigt und besitzen nach dem passieren von G2 eine kinetische Energie, sie fliegen weiter und sind als Anodenstrom messbar. Das Gitter 3 (G3) wird nun gegenüber dem Beschleunigungsgitter G2 negativ aufgeladen. Die Elektronen müssen nun gegen ein größer werdendes Potenzial anlaufen, sie bekommen potentielle Energie. Wird diese größer als die aufgenommene kinetische Energie, kann kein Elektron mehr die Anode erreichen, und der Strom geht auf $0 A$ zurück.

Mehrmaliges Durchfahren der Spannung wurde aufgezeichnet (Abb. 1) und gegen den Strom aufgetragen. Die Messwerte wurden mit einer „spline regression“ gefittet und ein Ausschnitt ist in Abb. 3 oben dargestellt. Die Ableitung, darunter abgebildet, zeigt eine Funktion, die die Energieverteilung der Elektronen abbildet.

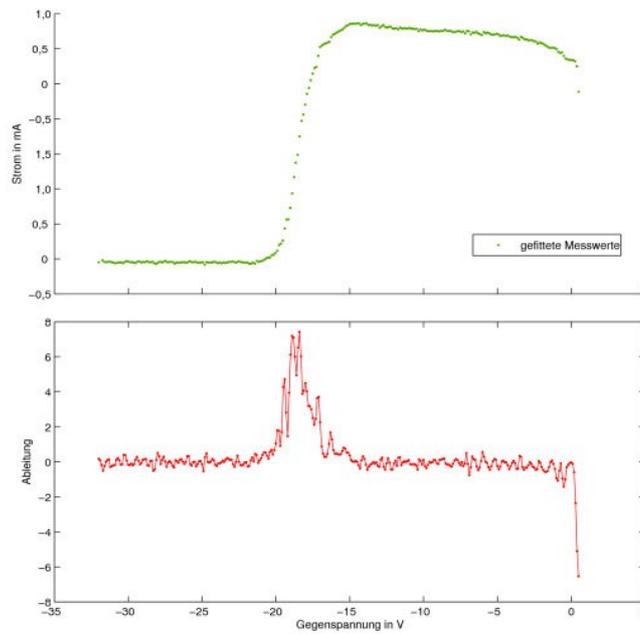


Abb. 3: Der Anodenstrom und die Ableitung $\frac{dI}{dU}$ über der Gegenspannung

Der Versuch kann auch mit dem CASSY Interface aufgebaut werden. Hier kann der Strom über der Gegenspannung aufgetragen werden (Abb. 4). Mit einem Labornetzteil können die Spannungen feiner geregelt werden als mit der Röhrenspannungsquelle von PHYWE.

0:30 V -> Beschleunigungsspannung einstellen -> Strom wird messbar
(0,5 V entsprechen ca. 0,5 mA)

0:15 V -> Gegenspannung

Input A : Strom (Spannung am 1k Widerstand)

Input B : Gegenspannung

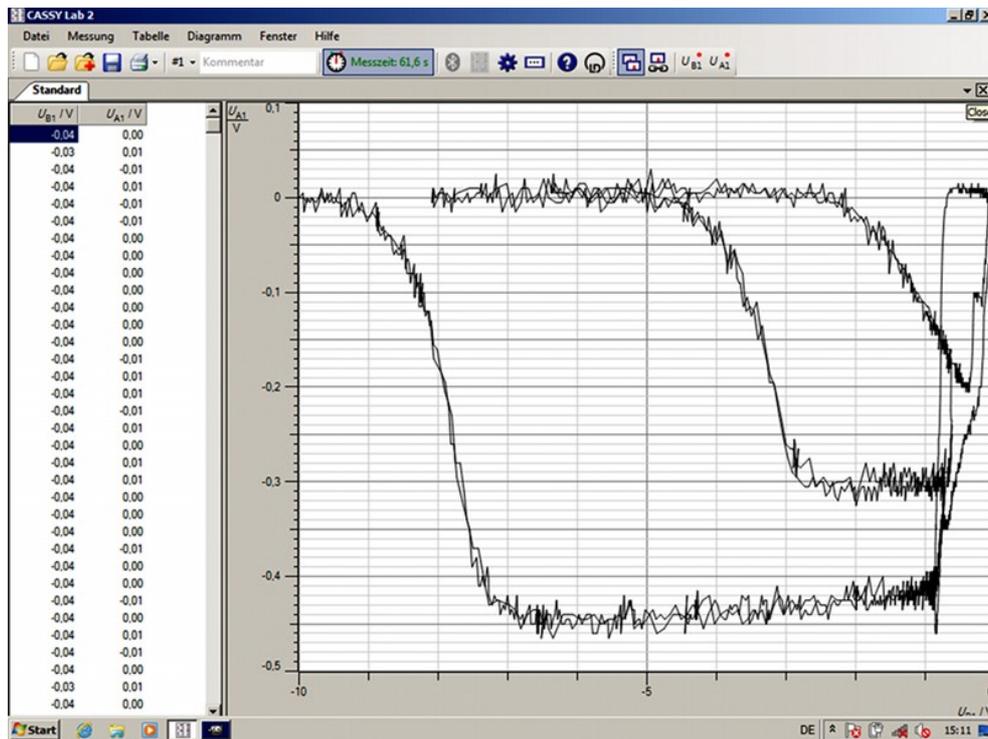


Abb. 4: Der (negative) Strom zeigt eine ausgeprägte Stufe bei Vergrößerung der Gegenspannung.

Der Knick markiert in etwa die Höhe der Gegenspannung (negativ). Die Stufe hat eine endliche Steigung. Die Elektronen besitzen eine leicht unterschiedliche kinetische Energie wenn sie aus dem Metall austreten.

Der Strom fließt in Abhängigkeit von der Gegenspannung. Die Darstellung liefert negative Spannungen, da für die Messung von 2 Verschiedenen Spannungen ein gemeinsames Potenzial genutzt werden muss.

Da die Gitter der verwendeten Elektronenröhre bauartbedingt nicht die gleiche Stabdichte aufweisen, sind die erwarteten Effekte hier ein wenig gestört. Die gemessenen Spannungen können nicht genau mit dem Potenzial in Verbindung gebracht werden, es gibt also nur eine qualitative, verschobene Stufe.

Trotzdem ist zu sehen, dass es eine Stufe gibt, ab der die Elektronen die Anode nicht mehr erreichen können, wobei die Genauigkeit der Stufe mit den leichten unterschieden in der Geschwindigkeit der Elektronen zusammenhängt.

Das Elektrische Feld als Gradient des Potentials schreibt sich

$$\vec{E}(\vec{r}) = -\nabla\varphi = -\left(\frac{\partial\varphi(\vec{r})}{\partial x}, \frac{\partial\varphi(\vec{r})}{\partial y}, \frac{\partial\varphi(\vec{r})}{\partial z}\right)$$

somit wird die Kraft \vec{F} , die auf eine Ladung q wirkt, zu

$$\vec{F}(\vec{r}) = q \cdot \vec{E}(\vec{r}) = -q \cdot \vec{\nabla}\varphi(\vec{r}) = q \cdot \frac{U_j - U_i}{d}$$

mit der Spannungsdifferenz (Potentialunterschied) $U_j - U_i$ und dem Abstand der Gitter i und j . Das Potential Φ wird von den Elektronen durchlaufen und sie erfahren

entlang des Gradienten ($\vec{E} = -\vec{\nabla} \Phi$) eine Kraft die sie beschleunigt.

Der Strom kann mit einem gut für die Zuschauer sichtbaren Messgerät gezeigt werden.
Die Daten wurden mit dem Oszilloskop aufgezeichnet und später mit Matlab ausgewertet.
Das Datenblatt zu der Röhre befindet sich in den Unterlagen.