

V601

# Der Franck-Hertz-Versuch

Fritz Agildere  
fritz.agildere@udo.edu

Amelie Strathmann  
amelie.strathmann@udo.edu

Durchführung: 16. Mai 2023

Abgabe: 21. Mai 2023

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>2</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>2</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>6</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1 Dampfdruck und mittlere freie Weglänge .....	6
4.2 Statistik zur graphischen Auswertung .....	7
4.3 Energiespektrum und Kontaktpotential .....	7
4.4 Anregungsenergie und Emission .....	11
<b>5 Diskussion</b>	<b>16</b>
<b>Literatur</b>	<b>16</b>
<b>Anhang</b>	<b>17</b>

## 1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es die Energiedifferenz  $E_1 - E_0$  zwischen den ersten angeregten und dem Grundzustand eines Quecksilber-Atoms zu bestimmen. Bei diesem Experiment wird zudem das Bohrsche Atom-Modell in gewissen Umfang bestätigt.

## 2 Theorie

Der Franck-Hertz Versuch zählt zu dem Elektronenstoßexperimenten, welcher zur Untersuchung von elektronenhüllen dient. Es werden Quecksilber-Atome mit Elektronen beschossen, sodass elastische und inelastische Wechselwirkungen entstehen. Wenn es zu einem inelastischen Stoß kommt wird das Quecksilber-Atom aus seinem Grundzustand  $E_0$  in den ersten Zustand  $E_1$  gehoben. Für die Differenzen lässt sich das Verhältnis

$$\frac{m_0 \cdot v_{\text{vor}}^2}{2} - \frac{m_0 \cdot v_{\text{nach}}^2}{2} = E_1 - E_0 \quad \text{label} \quad \text{diff} \quad (1)$$

aufstellen. Dabei ist  $m_0$  die Ruhemasse des Elektrons und  $v_{\text{vor}}$  und  $v_{\text{nach}}$  entsprechen den Geschwindigkeiten des Elektrons vor und nach dem Zusammenstoß.

Es wird die Gegenfeldmethode verwendet, um die Energien der der Quecksilber-Atome zu bestimmen. der dazu verwendete Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

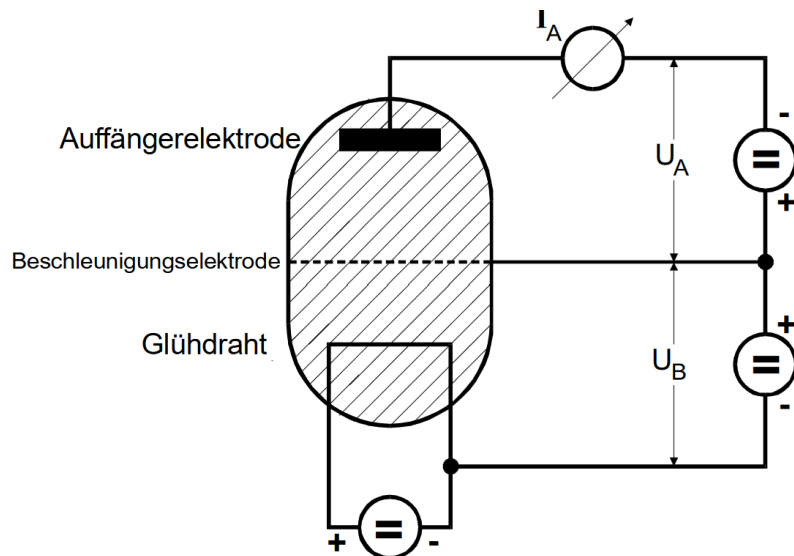


Abbildung 1: Der prinzipielle Aufbau des Frank-Hertz Versuches. [1]

Die Apperatur des Franck-Hertz Versuches besthet aus einem evakuierten Gefäß, welches winzige Tropfen Quecksilber beinhaltet. Das Quecksilber, verdampft gemäß der

Dampfdruckkurve bis sich ein Gleichgewichtsdampfdruck  $p_{\text{sät}}$  einstellt. Dieser ist von der Umgebungstemperatur  $T$  abhängig, welche zur eingestellt werden kann, sodass die Dampfdichte reguliert werden kann. In den Glaskolben wird ein Draht aus Wolfram eingeführt. An Diesen wird eine Heizspannung angelegt, sodass aufgrund des glühelektrischen Effekt Elektronrn austreten. Gegenüber des Glühdrahtes befindet sich eine netzförmige Beschleunigungunselektrode an der eine Beschleunigungsspannung  $U_B$  angelegt ist, welche die Elektronen beschleunigt. Nach Durchlaufen der Beschleunigungsstrecke besitzen die Elektronen, welche vorher eine Geschwindigkeit von  $v = 0$  hatten, eine kinetische Energie mit

$$\frac{m_0 \cdot v_{\text{vor}}^2}{2} = e_0 \cdot U_B.$$

$e_0$  entspricht dabei der Ladung eines Elektrons. Hinter der Beschleunigungunselektrode befindet sich eine Auffänerelektrode. In dem Zwischenraum beider Elektoden wird ein Gegenfeld mit der Spannung  $U_A$  angelegt. Somit wird die Auffängerelektrode ausschließlich von den Elektronen erreicht, welche die Bedingung

$$\frac{m_0}{2} v_Z^2 \geq e_0 U_A$$

erfüllen.

Es befinden sich Hg-Atome im Beschleunigungsraum, daher wechselwirken diese mit den Elektronen. dabei gibt es zwei Fälle von Wechselwirkung die auftreten können: Im ersten Fall ist die Elektronenenergie  $E$  nicht hoch, so kommt es njur zu elastischen Stößen. Aufgrund des Massenverhältnisses  $m_0/M$  ergibt sich ein vernachlässigbarer Energieverlust

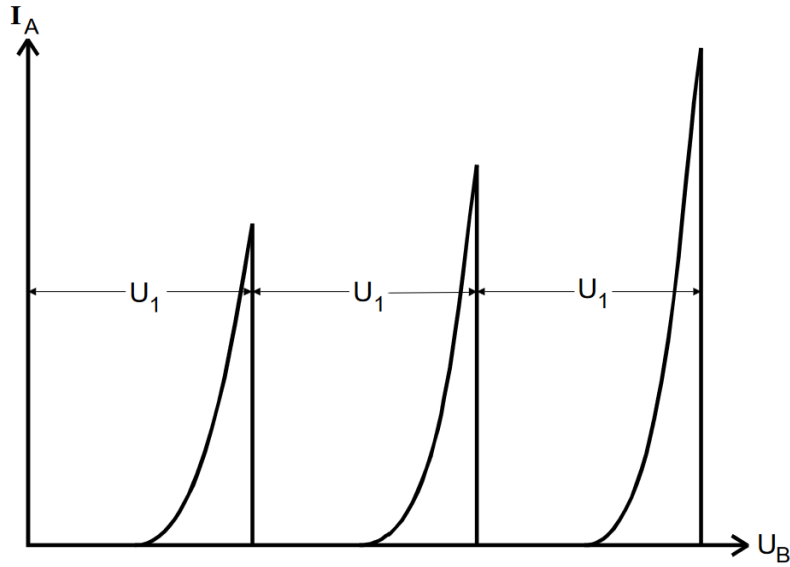
$$\Delta E = \frac{4 m_0 M}{(m_0 + M)^2} \cdot E \approx 1,1 \cdot 10^{-5} E.$$

Wichtig zu beachten ist dabei, dass die Elektronen beträchtliche Richtungsänderungen erfahren. Im zweiten Fall ist die Energie die Elektronen gleich oder größer der Energiedifferenz  $E_1 - E_0$ . Dan kommt es zu inelastischen Stößen. Auf die Quecksilber-Atome wird der Betrag der Energiedifferenz übertragen, wodurch diese angeregt werden. Daraufhin wird das Quecksilber-Atom unter Emission einer elektromagnetischen Welle wieder in den Grundzustand zurückgeführt. Der Lichtquant besitzt dabei eine Energie von

$$h\nu = E_1 - E_0,$$

wobei  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum und  $\nu$  die Frequenz der emittierten Strahlung ist.

Um die Anregungsenergie der Hg-Atome zu bestimmen wird der Auffängerstrom  $I_A$  in Abhängigkeit zur Beschleunigungsspannung  $U_B$  betrachtet. Der idealisierte Verlauf ist in Abbildung 2 dargestellt.



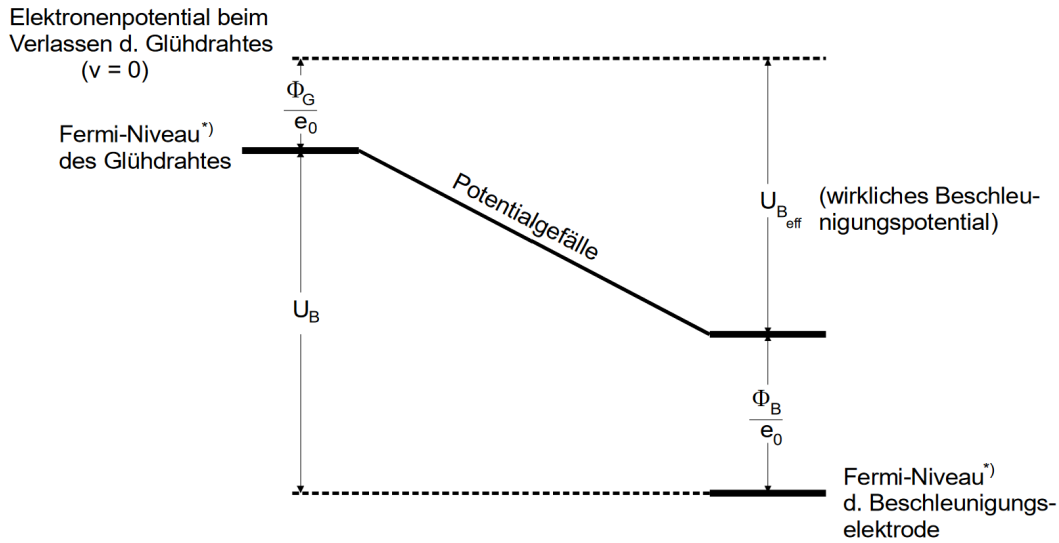
**Abbildung 2:** Der idealisierte Verlauf des Auffängerstroms  $I_A$  in Abhängigkeit zur Beschleunigungsspannung  $U_B$ . [1]

Es kann beobachtet werden, dass eine periodische Zu- und Abnahme des Auffängerstroms bei wachsender Beschleunigungsspannung passiert. Wenn durch das Erhöhen von  $U_B$  die Elektronenenergie  $E_1 - E_0$  erreicht oder übertrifft, treten unelastische Stöße auf. Dabei geben die Elektronen immer die Energiedifferenz  $E_1 - E_0$  ab. Der Abstand  $U_1$  zweier aufeinander folgender Maxima muss dem 1. Anregungspotential entsprechen

$$U_1 := \frac{(E_1 - E_0)}{e_0} . \quad (2)$$

Es gibt drei wichtige Nebeneffekte die beachtet werden müssen bei der realen Franck-Hertz Kurve. Diese sieht nicht aus wie in Abbildung 2 gezeigt.

Das reale Beschleunigungspotential zwischen dem Glühdraht und der Beschleunigungselektrode ist von der außen angelegten Spannung  $U_B$  verschieden. Wenn beide Elektroden aus Materialien bestehen, die eine unterschiedliche Austrittsarbeit für Elektronen besitzen. Es wird für den Glühdraht ein Material ausgewählt, dessen Austrittsarbeit  $\phi_G$  viel kleiner als die Austrittsarbeit  $\phi_B$  der Beschleunigungselektrode ist. Das Potentialverhältnis ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abbildung 3:** Potentialverhältnis zwischen Glühkathode und Beschleunigungselektrode. [1]

Für das eigentliche Beschleunigungspotential  $U_{B,\text{eff}}$  gilt

$$U_{B,\text{eff}} = U_B - \frac{1}{e_0} (\Phi_B - \Phi_G) . \quad (3)$$

Der Ausdruck

$$K = \frac{(\Phi_B - \Phi_G)}{e_0} \quad (4)$$

entspricht dem Kontaktpotential. Die gemessene Franck-Hertz Kurve ist dabei um den Wert  $K$  verschoben.

Zunächst wurde die Annahme getroffen, dass die Elektronen nach Durchlauf des Beschleunigungsraumes alle eine einheitliche Energie besitzen. Diese Annahme ist jedoch unzutreffend. Die Leitungselektronen besitzen in Inneren eines Metalles bereits ein Energiespektrum, welches als Fermi-Dirac-Verteilung bezeichnet wird. Die unelastischen Stöße setzten bei einem sich erstreckten endlichen Einsatzbereich ein. Das führt dazu, dass sich die Franck-Hertz Kurve in ihren Anstieg bei Annäherung an ein Maximum verringern und nicht mehr unstetig auf den Wert 0 abfallen.

### 3 Durchführung

### 4 Auswertung

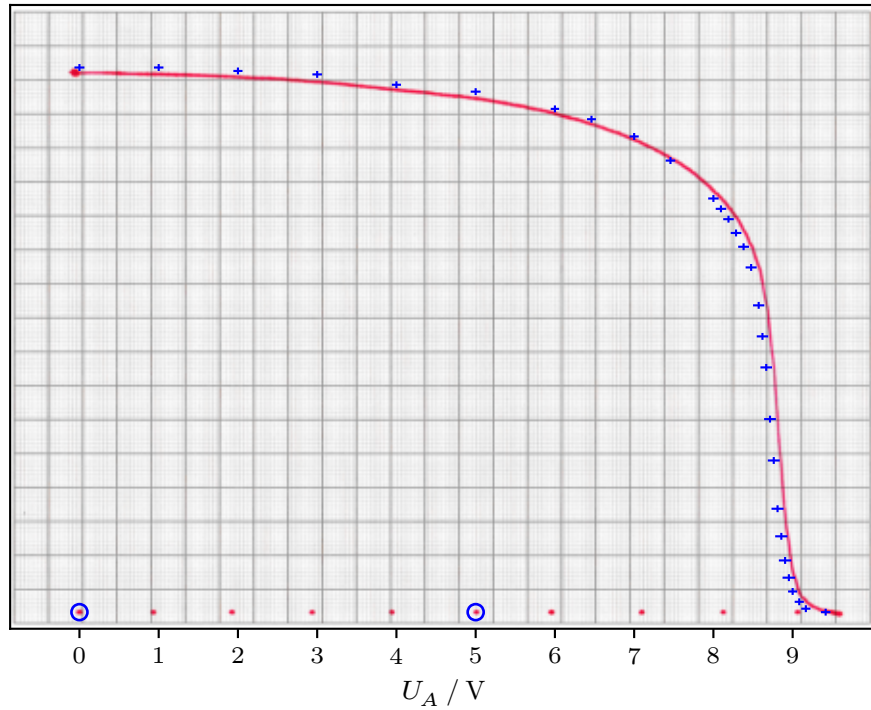
#### 4.1 Dampfdruck und mittlere freie Weglänge

**Tabelle 1:** Zu Temperatur  $T$  herrschender Dampfdruck  $p$  und entsprechende mittlere freie Weglänge  $\bar{w}$  sowie das Verhältnis  $a/\bar{w}$  bei  $a = 1 \text{ cm}$ .

Messung	$T / \text{K}$	$p / \text{bar}$	$\bar{w} / \text{m}$	$a/\bar{w}$
1	$297,45 \pm 0,00$	$(5,02 \pm 0,00) \cdot 10^{-6}$	$(5,77 \pm 0,00) \cdot 10^{-3}$	$(1,73 \pm 0,00) \cdot 10^0$
2	$418,15 \pm 5,00$	$(3,97 \pm 0,78) \cdot 10^{-3}$	$(7,30 \pm 1,44) \cdot 10^{-6}$	$(1,37 \pm 0,27) \cdot 10^3$
3 4	$433,15 \pm 5,00$	$(7,02 \pm 1,29) \cdot 10^{-3}$	$(4,13 \pm 0,76) \cdot 10^{-6}$	$(2,42 \pm 0,44) \cdot 10^3$
5 6	$453,15 \pm 5,00$	$(1,41 \pm 0,24) \cdot 10^{-2}$	$(2,05 \pm 0,34) \cdot 10^{-6}$	$(4,88 \pm 0,82) \cdot 10^3$

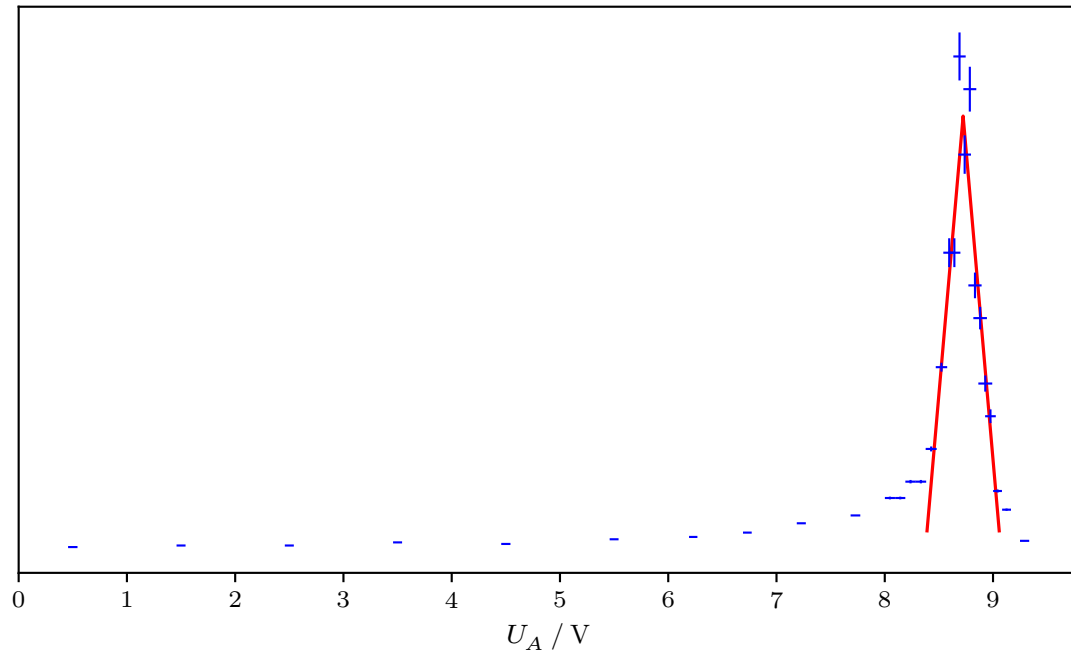
## 4.2 Statistik zur graphischen Auswertung

## 4.3 Energiespektrum und Kontaktpotential



**Abbildung 4a:** Integrale Energieverteilung der mit  $U_B = 11$  V beschleunigten Elektronen bei  $T = 297,45$  K.

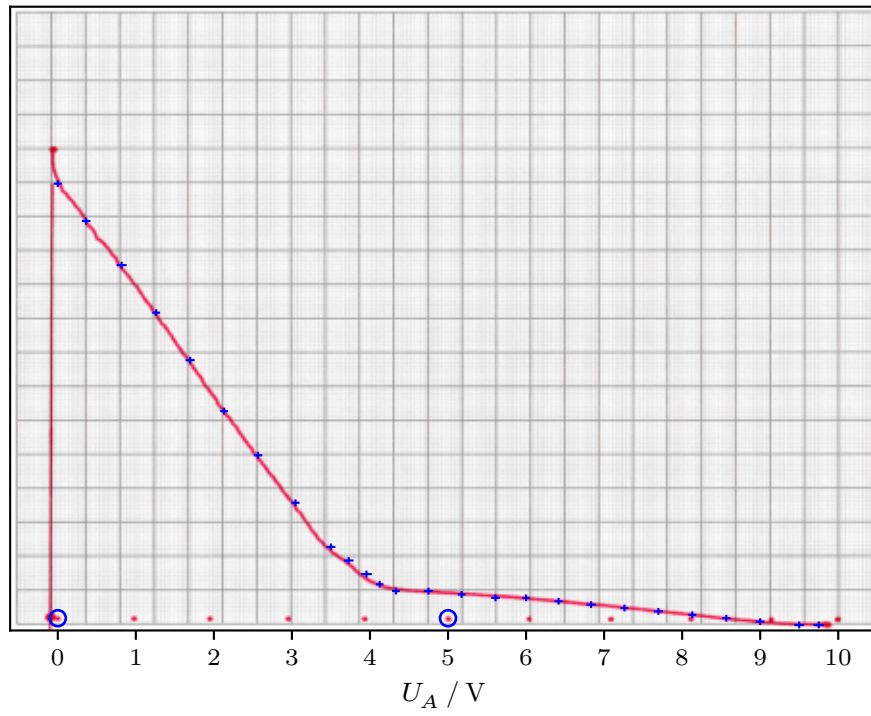




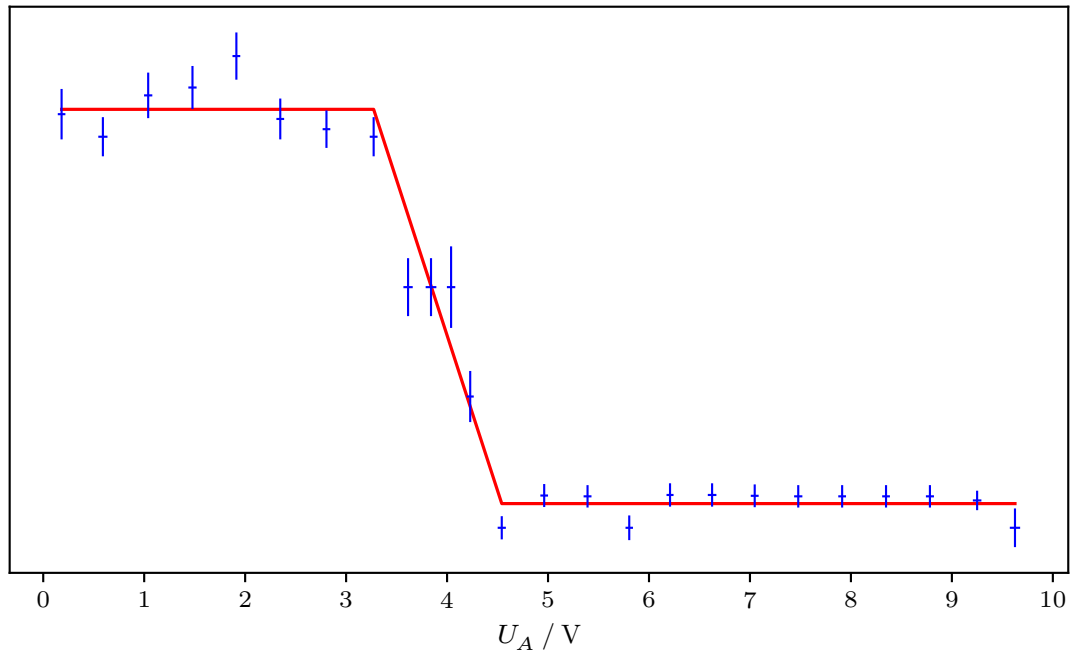
**Abbildung 4b:** Differentielle Energieverteilung der mit  $U_B = 11 \text{ V}$  beschleunigten Elektronen bei  $T = 297,45 \text{ K}$ .

$$I_A \sim |U_A - a| \cdot b + c$$

$$a = (8,724 \pm 0,007) \text{ V}$$



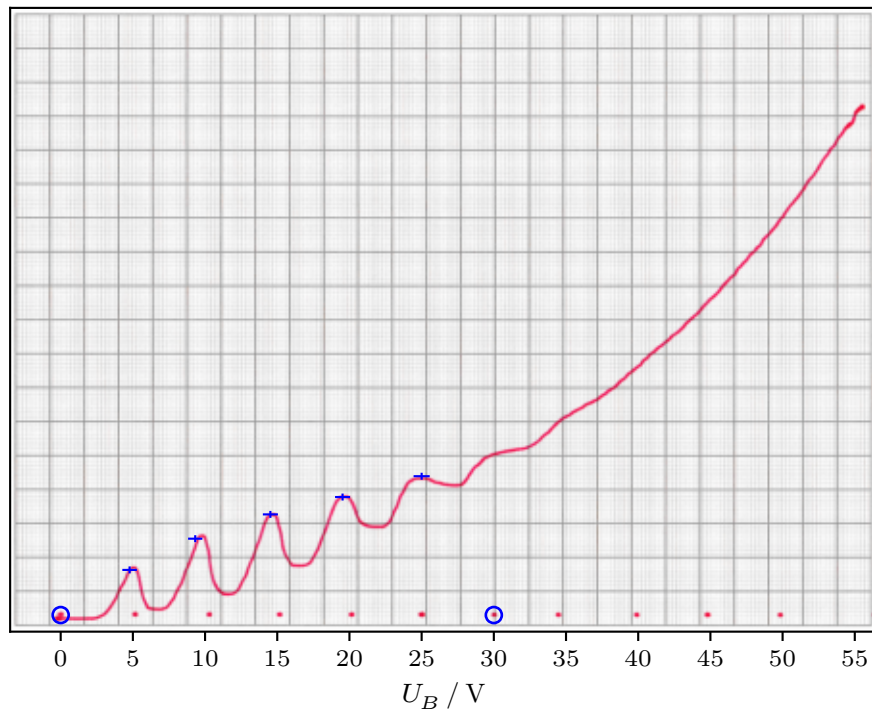
**Abbildung 5a:** Integrale Energieverteilung der mit  $U_B = 11 \text{ V}$  beschleunigten Elektronen bei  $T = (418,15 \pm 5,00) \text{ K}$ .

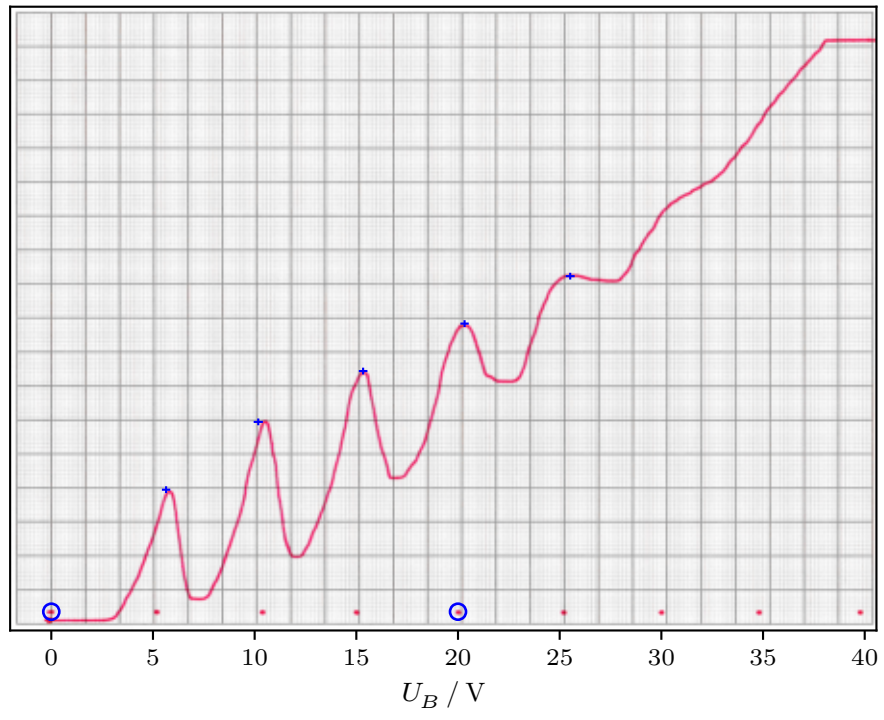


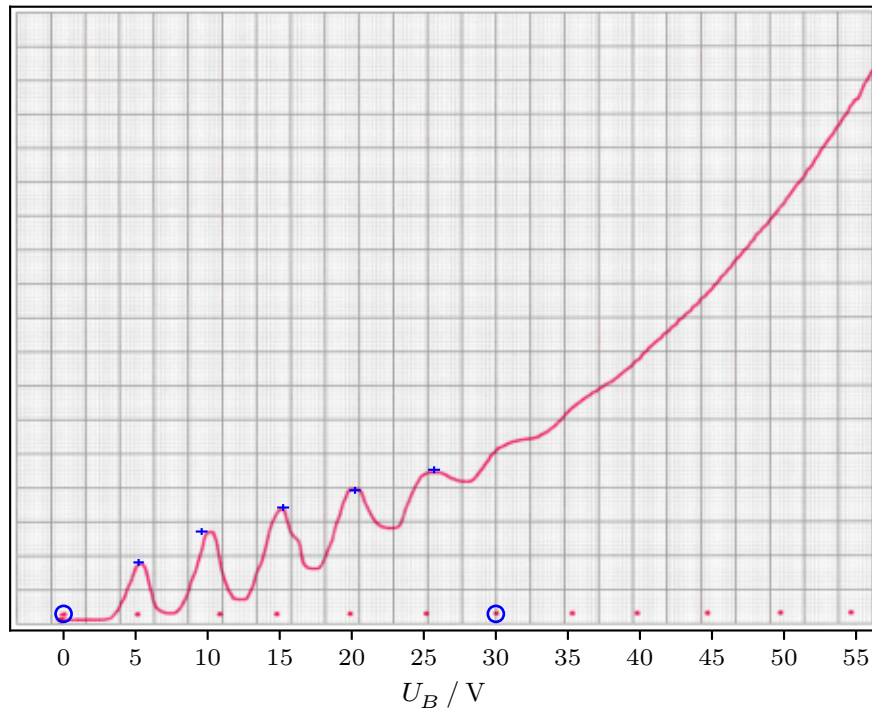
**Abbildung 5b:** Differentielle Energieverteilung der mit  $U_B = 11 \text{ V}$  beschleunigten Elektronen bei  $T = 297,45 \text{ K}$ .

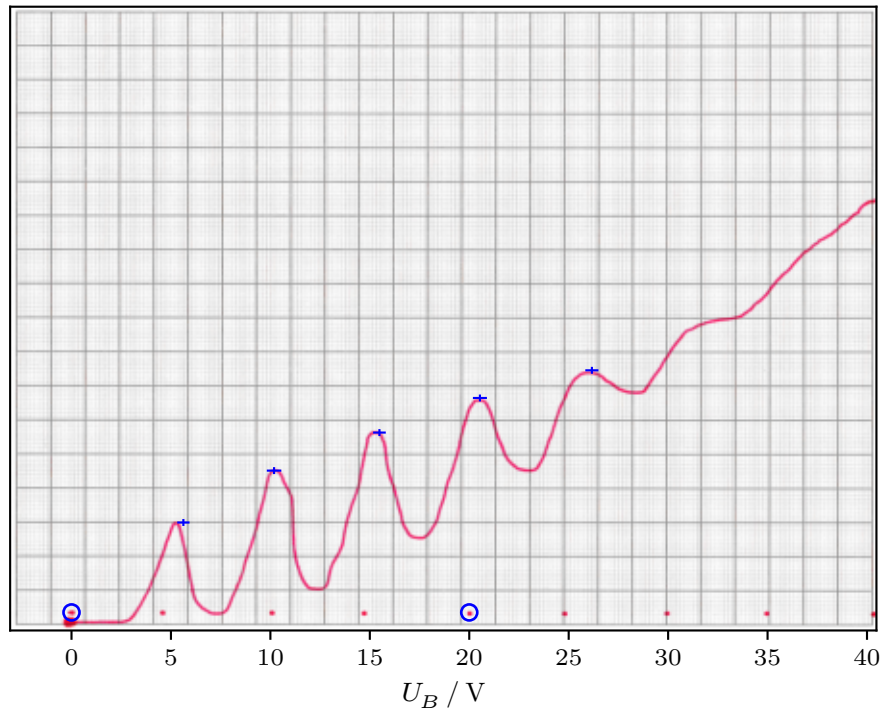
$$s = (3,273 \pm 0,039) \text{ V}$$

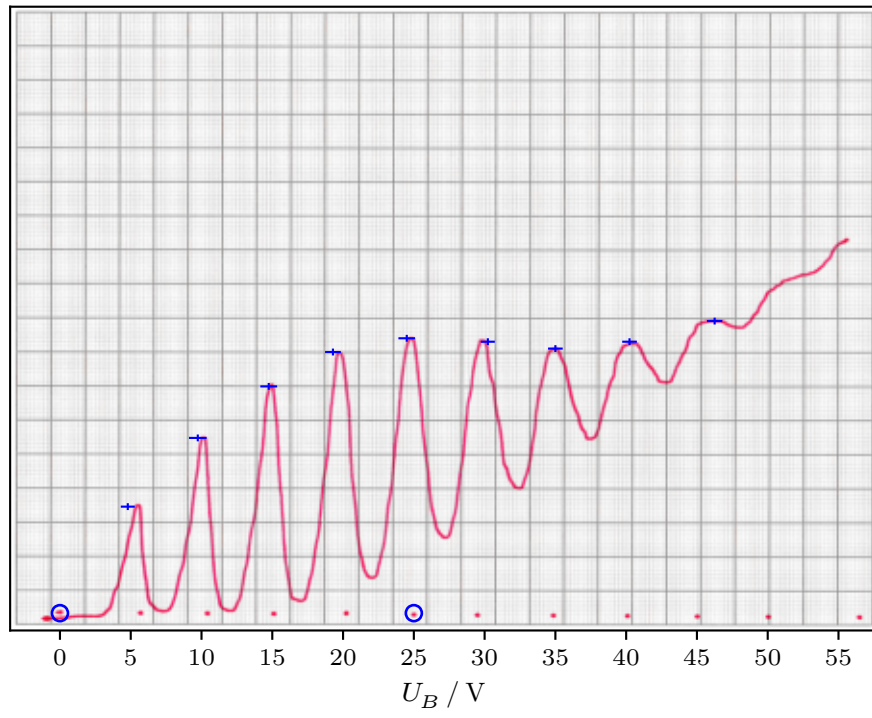
#### 4.4 Anregungsenergie und Emission



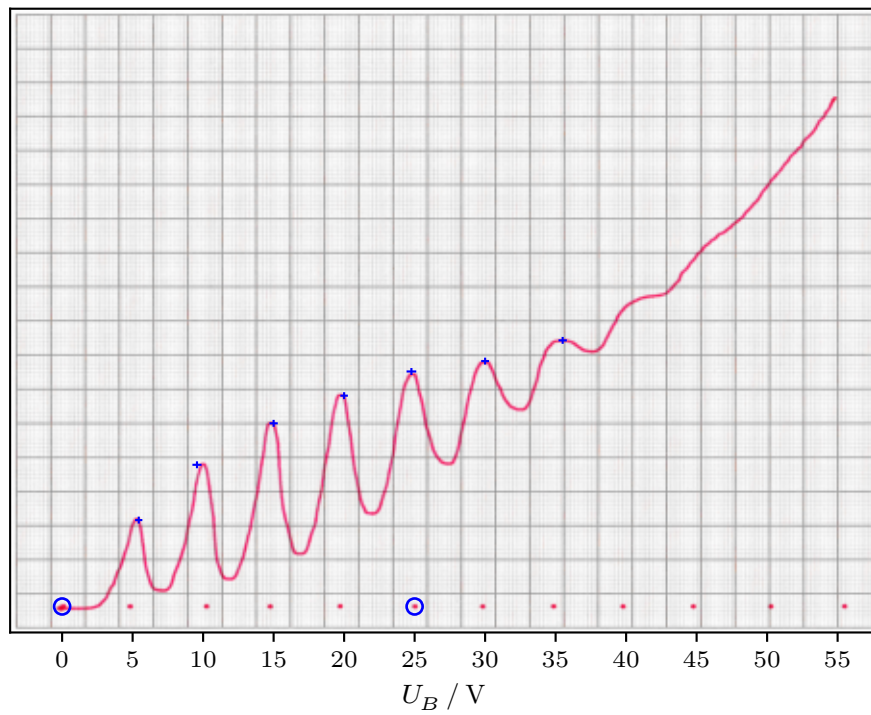












## 5 Diskussion

### Literatur

- [1] *Anleitung zu Versuch 601, Der Franck-Hertz Versuch.* TU Dortmund, Fakultät Physik. 2023.

## Anhang

Versuch: U60A

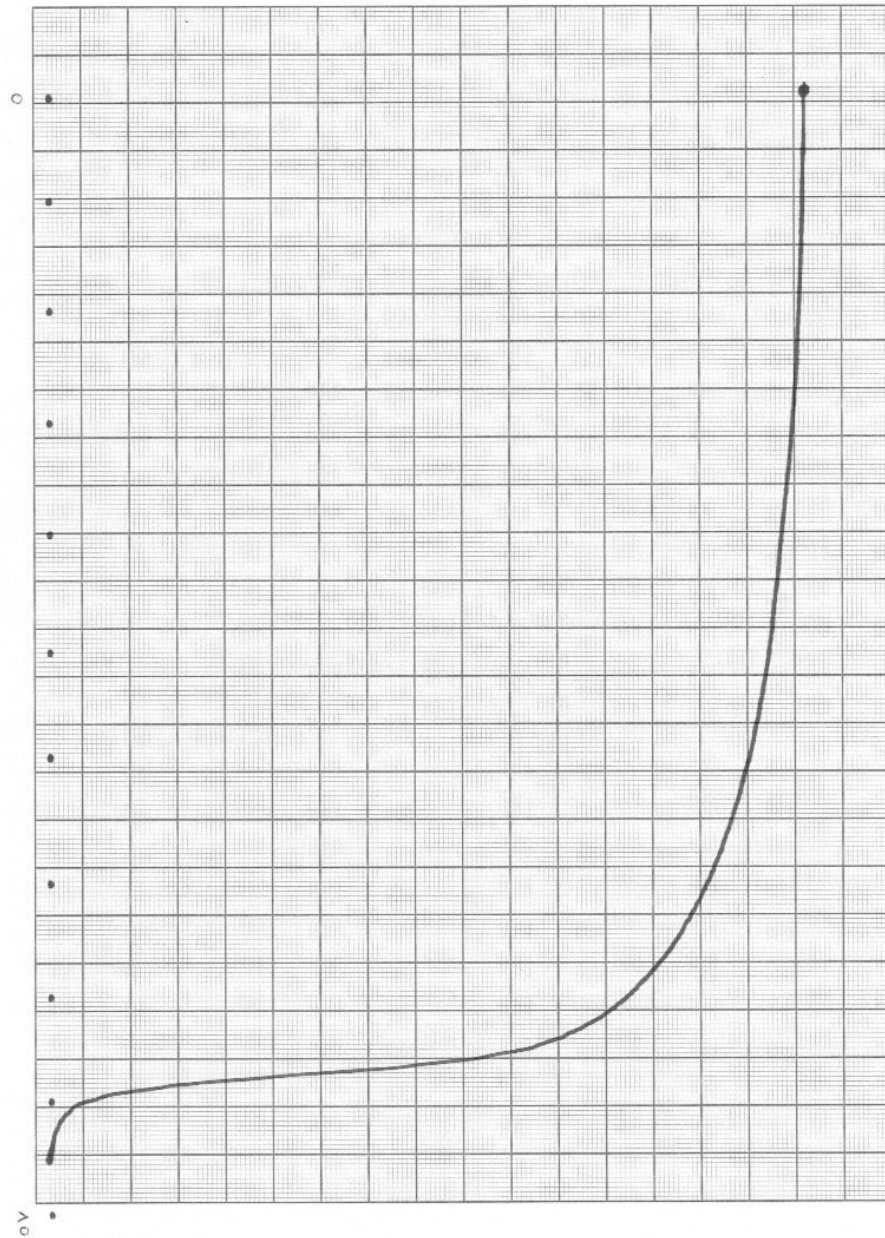
$r = 24,3$

Datum:

Gruppe:

$U_0 = 11\text{ V}$

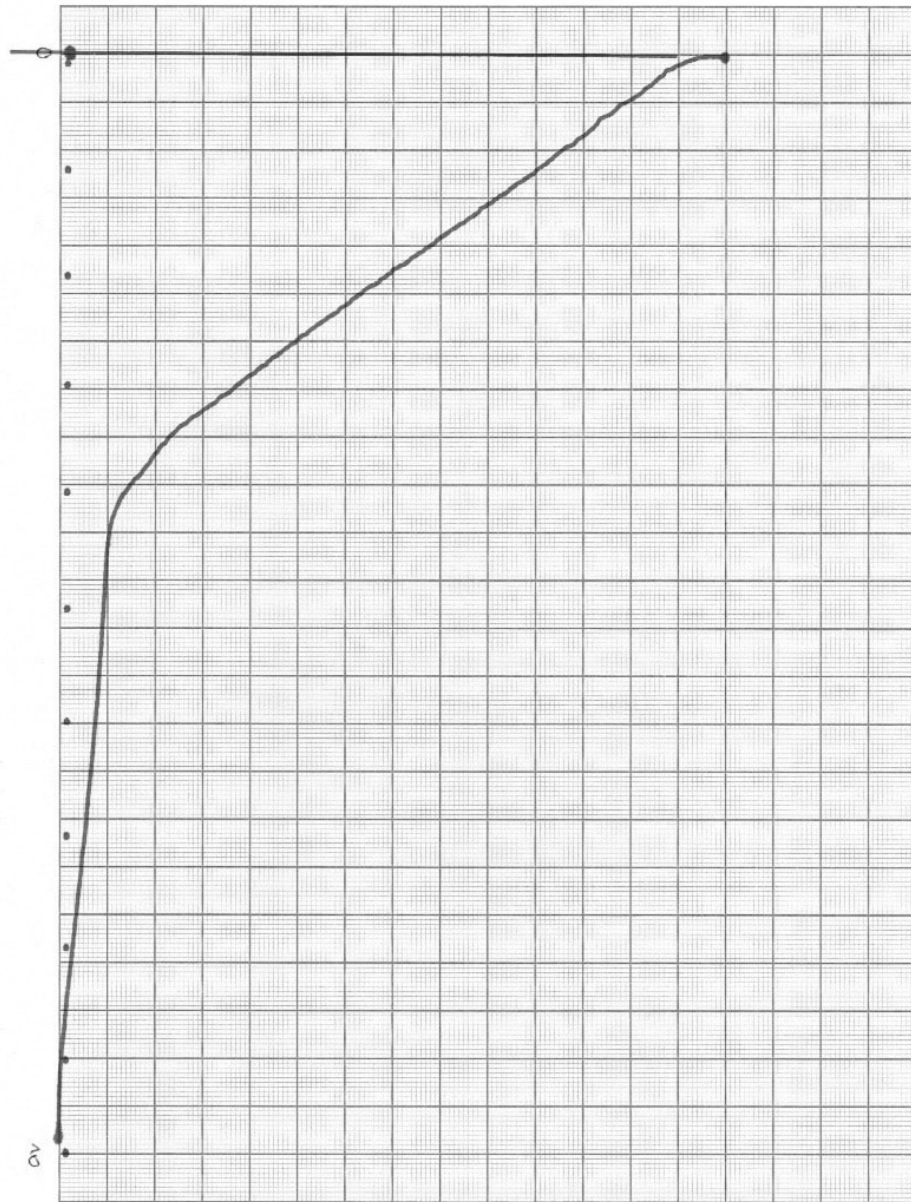
$I = 0,01\text{ mA}$



Versuch: V60.1  $T = 145 \pm 5$

Datum:

Gruppe:  $U_B = 10_{\mu V}$   $I_A = 1.5 nA$



T

Versuch:

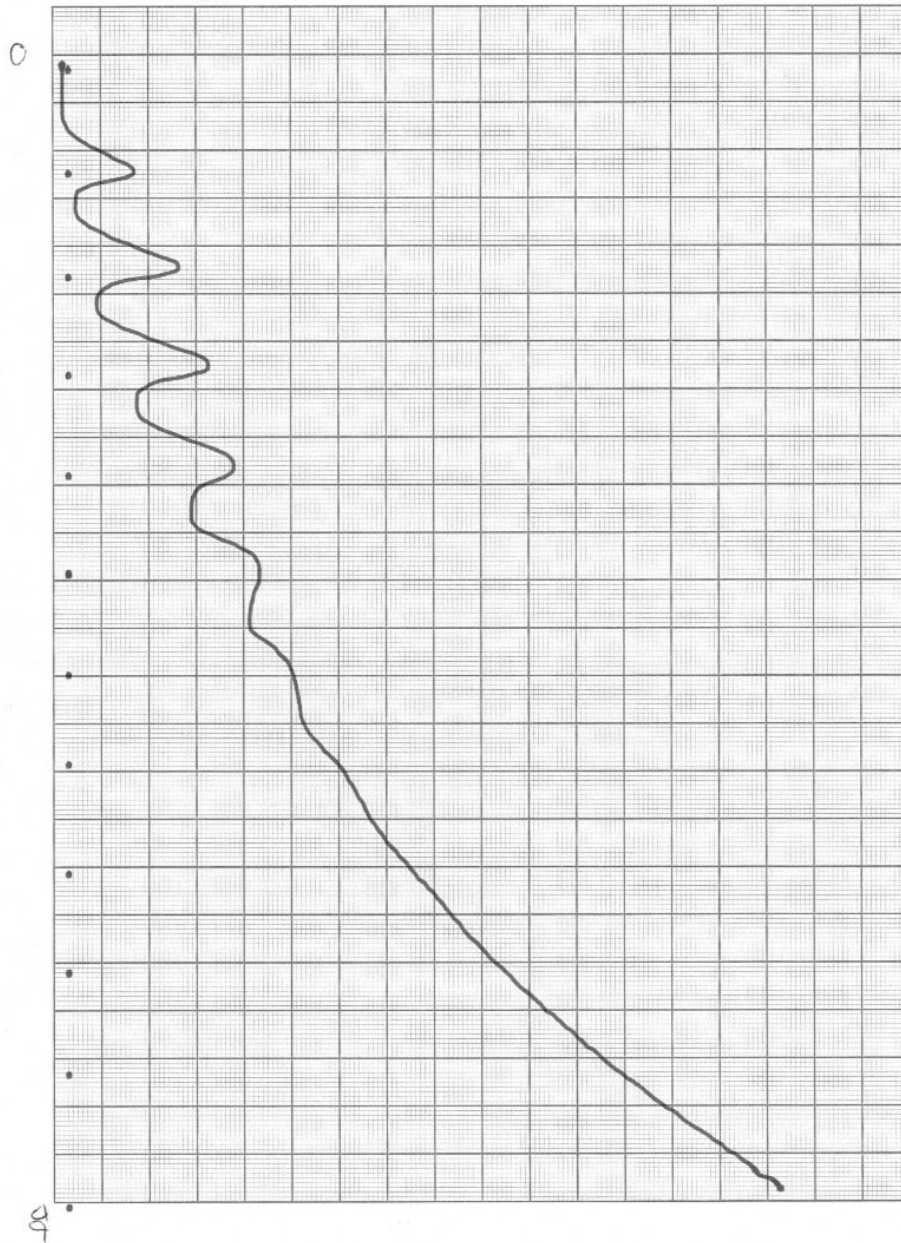
$$U = 1 \text{ V}$$

Datum:

Gruppe:

$$T = 160 \pm 5$$

$$I_r = 120 \text{ A}$$



Versuch:

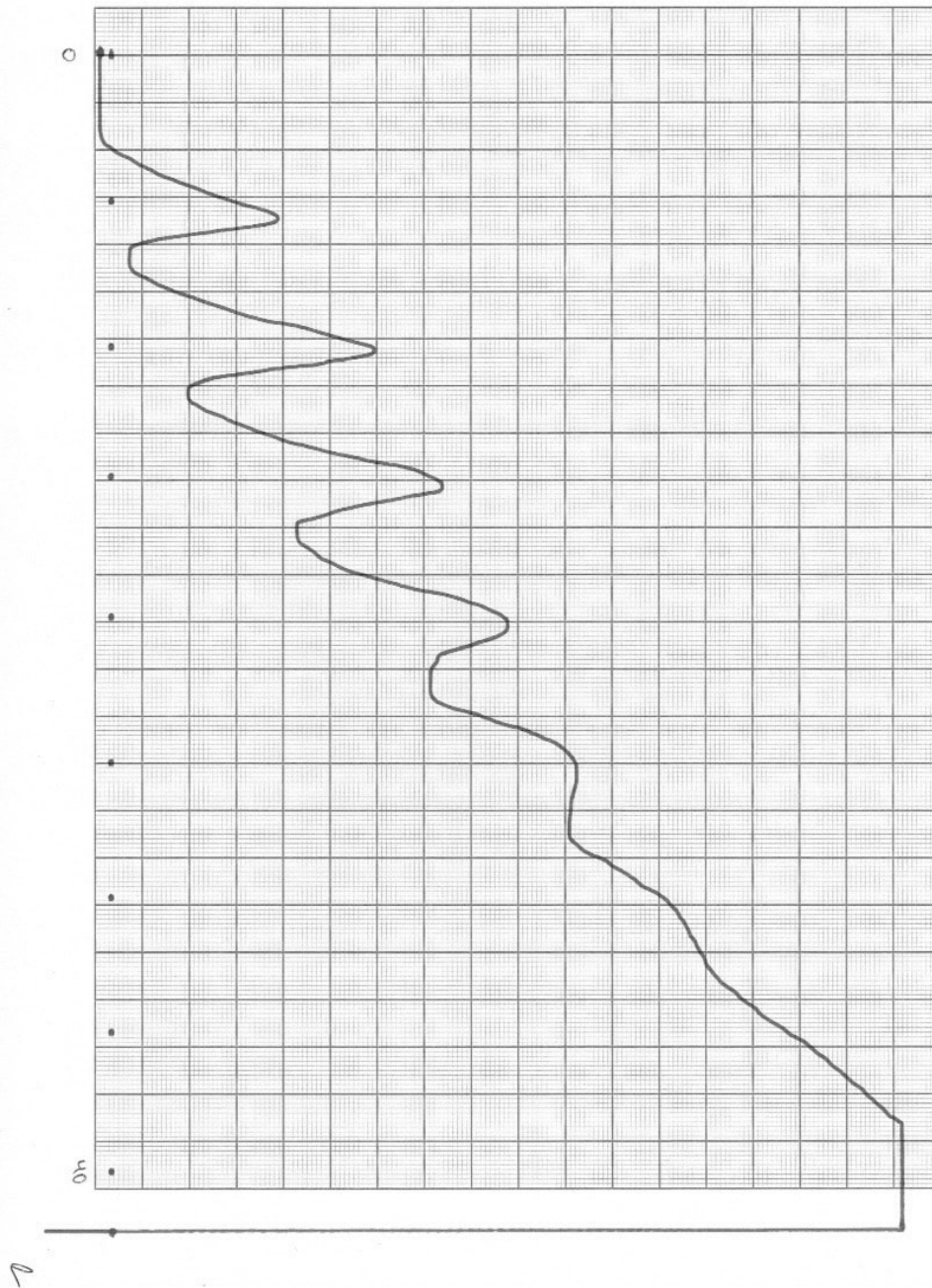
$T = 160 \pm 5$

Datum:

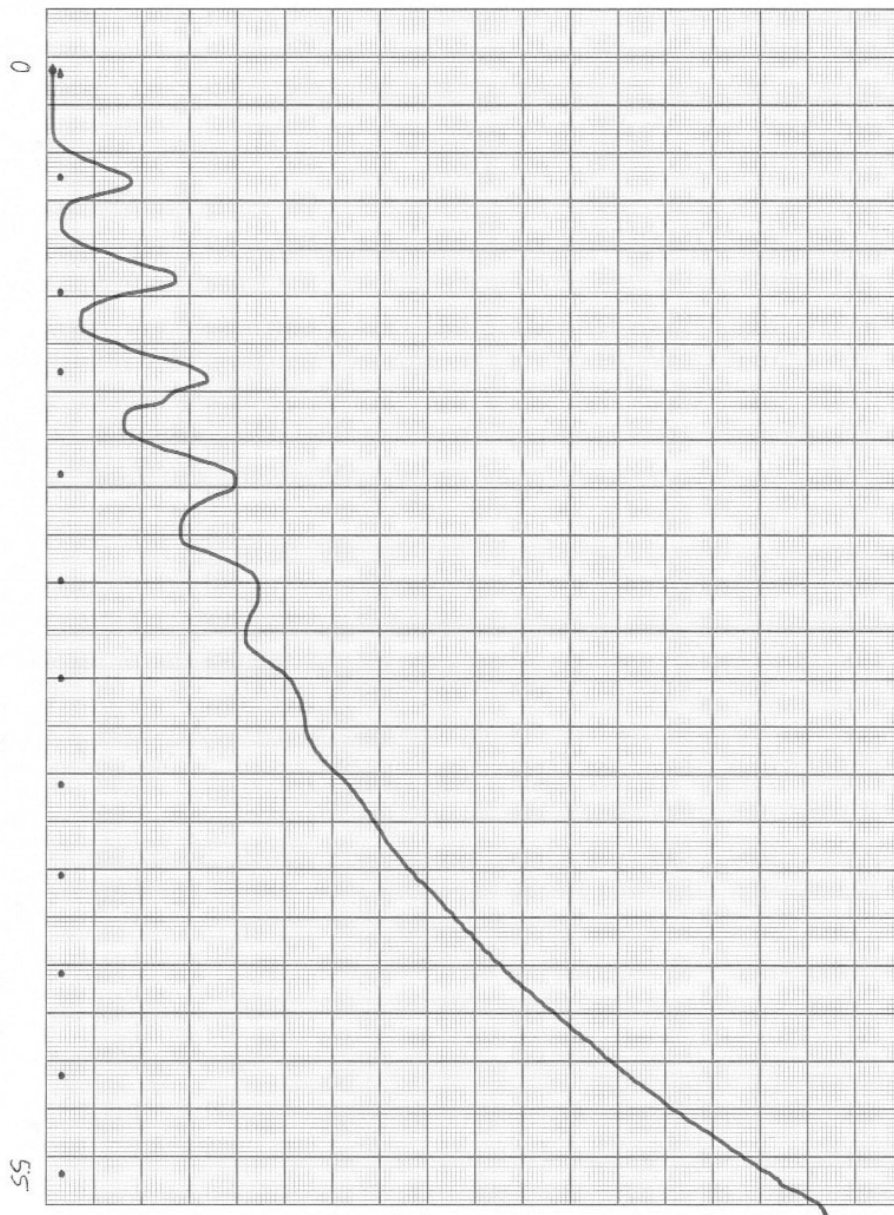
Gruppe:

$I_A = 1,2 \text{ nA}$

$U = 1$



Versuch:  $U = 2\text{V}$   $T = 160 \pm 5$  Datum:  
Gruppe:  $I = 116\text{ nA}$





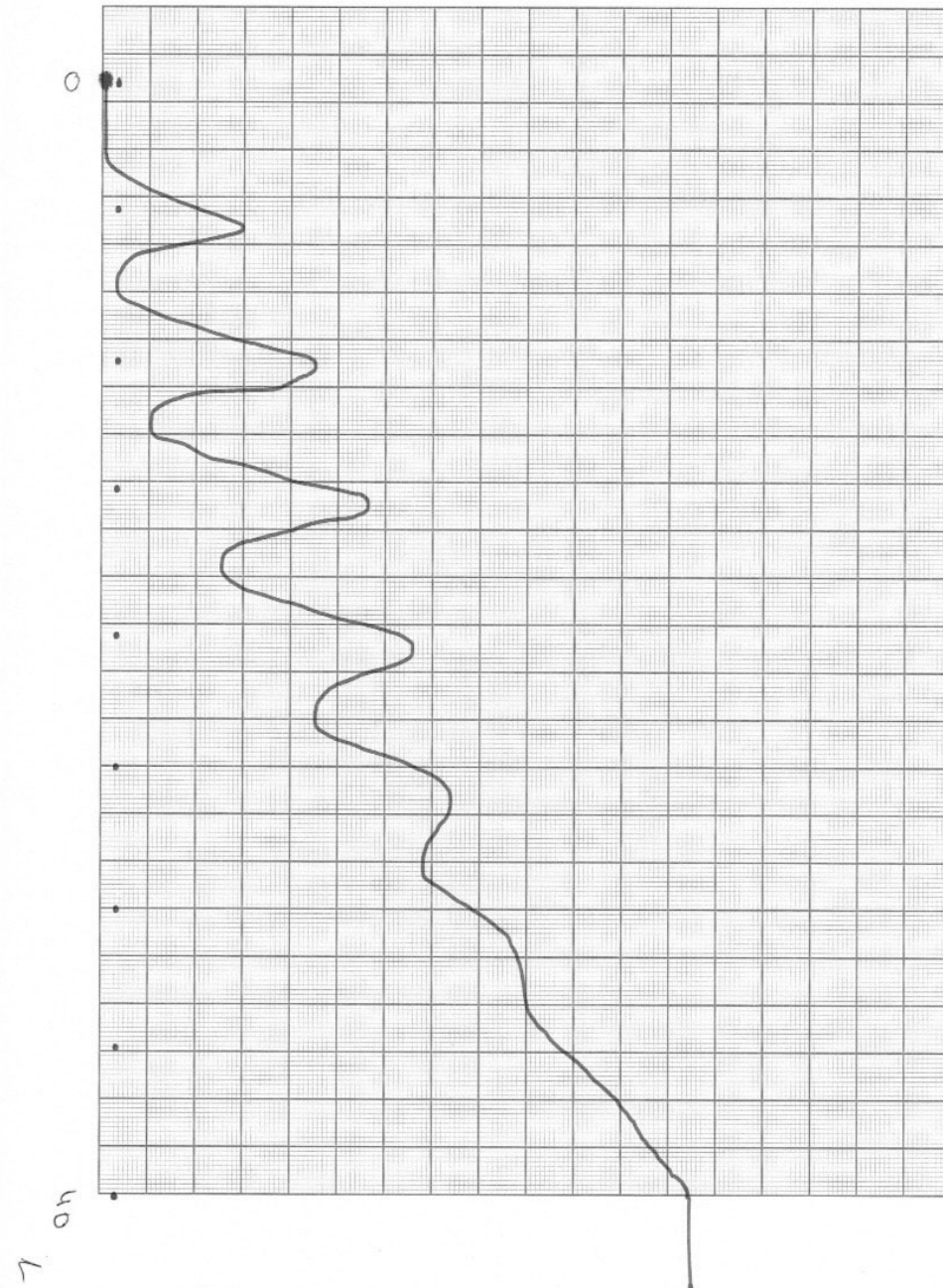
Versuch:

$$U_B = 2\text{ V}$$

Datum:

Gruppe:

$$T = 160 \pm 10$$



Versuch:

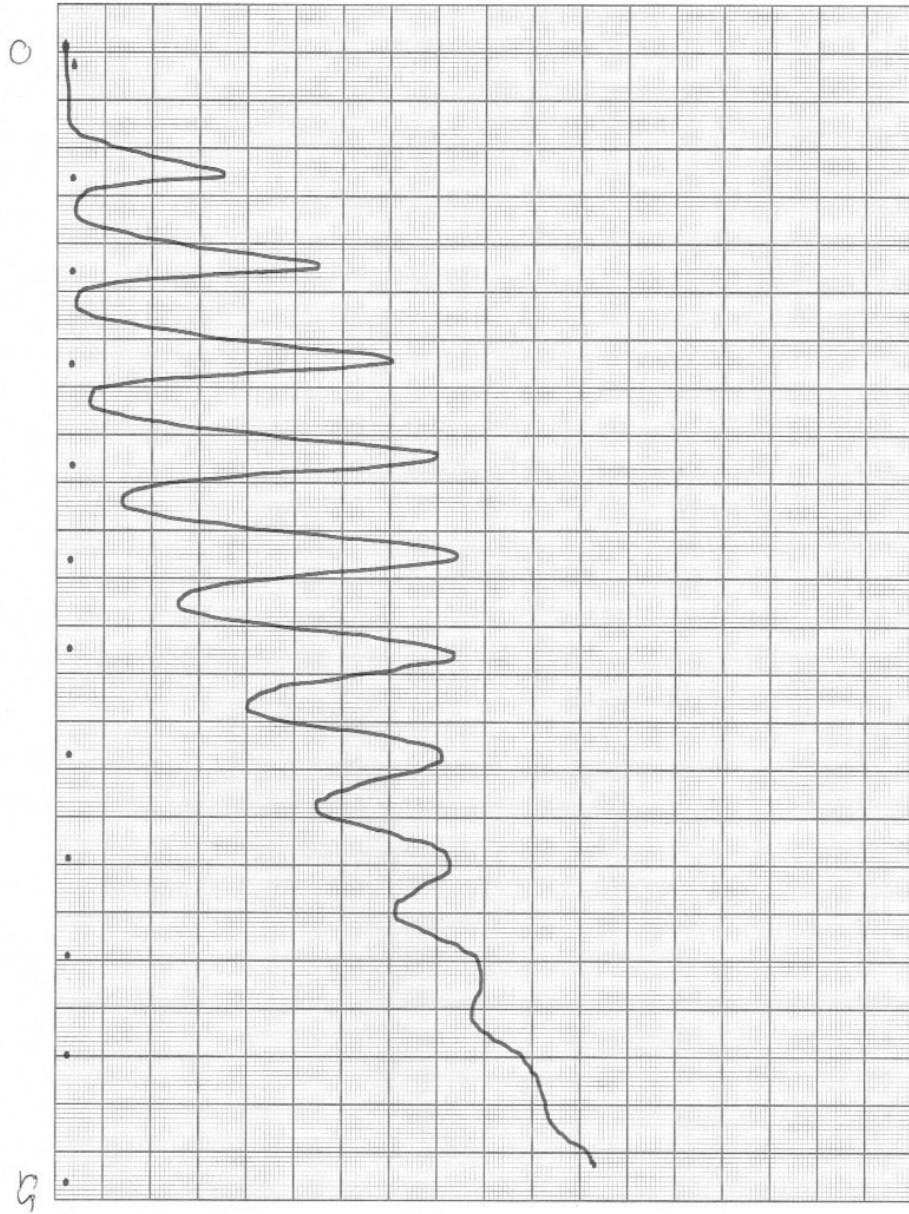
$$T = 180 \pm 5$$

Datum:

Gruppe:

$$I = 0,15 \text{ nA}$$

$$Z = U_B$$





Versuch:

$T = 180 \pm 5$   $U = 1$

Datum:

Gruppe:

I 0,4 n 1

