

VERSUCH 601

## **Franck-Hertz Versuch**

Tabea Hacheney  
tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt  
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.05.2022

Abgabe: 24.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Aufbau und Ablauf</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
5.1	Dampfdruck und mittlere freie Weglänge . . . . .	4
5.2	Differentielle Energieverteilung der Elektronen . . . . .	5
5.2.1	Messung bei 27 Grad Celsius . . . . .	5
5.2.2	Messung bei 160 Grad Celsius . . . . .	7
5.3	Franck-Hertz-Kurven . . . . .	9
5.3.1	Franck-Hertz-Kurve bei 175 Grad Celsius . . . . .	9
5.3.2	Franck-Hertz-Kurve bei 185 Grad Celsius . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>11</b>
	<b>Literatur</b>	<b>12</b>

## 1 Zielsetzung

Es soll die Quantennatur der Elektronenhülle von Atomen gezeigt werden. Weiterhin soll ein Zusammenhang zwischen der Anregungsenergie und der Wellenlänge des emittierten Lichts hergestellt werden. Mit den daraus erhaltenen Erkenntnissen lassen sich die Bohrschen Postulate teilweise bestätigen. Außerdem wird die Energieverteilung der Elektronen bestimmt.

## 2 Theorie

Es wird Hg-Dampf mit passender Dichte mit möglichst monoenergetischen Elektronen beschossen. Dabei treten elastische und unelastische Stöße auf. Aus der Energiedifferenz der Elektronen vor und nach dem Stoß lässt sich dann die vom Hg-Atom aufgenommene Energie bestimmen. Die unelastischen Stöße werden dabei verwendet, um die Atome aus dem Grundzustand  $E_0$  in den ersten angeregten Zustand  $E_1$  zu heben. Für die Energiedifferenz gilt dann

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

Die Energien lassen sich mit der Gegenfeldmethode bestimmen.

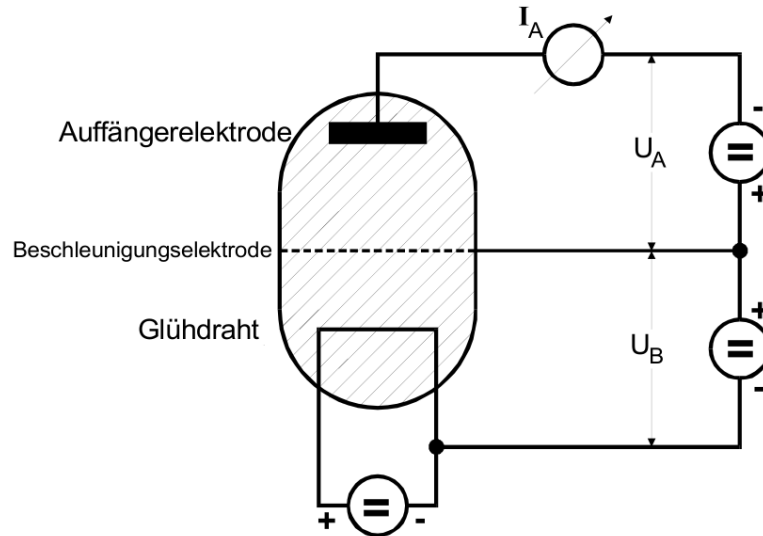
## 3 Aufbau und Ablauf

In einem evakuierten Gefäß ist ein Tropfen Quecksilber, der nach der Dampfdruckkurve verdampft. Dadurch hängt der Gleichgewichtsdampfdruck  $p_{\text{st}}$  von der Temperatur  $T$  ab. Im Gefäß wird ein Draht aus einem hochschmelzenden Metall, wie z.B. Wolfram, mittels Gleichstrom auf Rotglut erhitzt, so dass durch den glühelektrischen Effekt Elektronen frei werden, die sich wie eine Wolke um den Draht legen. Dieser Effekt wird durch ein Oxid eines Erdalkalimetalls, das auf den Draht gestrichen wurde und eine geringere Austrittsarbeit  $W$  als der Draht hat, so dass mehr Elektronen frei werden. Um die Elektronen zu beschleunigen, wird eine netzförmige Elektrode gegenüber zum Draht angebracht, an der eine Gleichspannung  $U_B$  zur Beschleunigung angelegt wird. Eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus ist in Abbildung 1 zu sehen. Nach der Beschleunigungsstrecke haben die Elektronen die Energie

$$\frac{m_0 v_{\text{vor}}^2}{2} = e_0 U_B \quad (2)$$

solange sie vor der Beschleunigung die Geschwindigkeit 0 hatten. Hinter der Beschleunigungselektrode befindet sich eine Auffängerelektrode an der mit einem geeigneten Messgerät der Auffängerstrom  $I_A$  messbar ist. Da die Auffängerelektrode eine geringere Spannung  $U_A$  als die Beschleunigungselektrode hat, müssen die Elektronen, damit sie an der Auffängerelektrode ankommen, die Ungleichung

$$\frac{m_0}{2} v_z^2 \geq e_0 U_A \quad (3)$$



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau der Franck-Hertz Apparatur.

erfüllen. Im Beschleunigungsraum befinden sich nun die Hg-Atome, so dass die Elektronen mit ihnen zusammenstoßen. Bei geringer Elektronenenergie treten nur elastische Stöße auf. Da das Massenverhältnis von Elektron und Hg-Atom etwa  $\frac{1}{1836 \cdot 201}$  beträgt, ergibt sich eine relativ geringe Energieabgabe von

$$\Delta E = \frac{4m_0M}{(m_0 + M)^2} E \approx 1,1 \cdot 10^{-5} E. \quad (4)$$

Die dabei vollzogenen Richtungsänderungen können dabei aber beträchtlich sein. Haben die Elektronen mindestens die Energiedifferenz, die es braucht ein Hg-Atom aus dem Grundzustand in den ersten angeregten Zustand zu bringen, stoßen sie nicht mehr elastisch sondern unelastisch. Dabei behalten sie die Energie  $E - (E_1 - E_0)$ , d.h. sie geben nur die Energie ab, um ein Hg-Atom anzuregen. Das emittierte Lichtquant hat dann die Energie

$$h\nu = E_1 - E_0. \quad (5)$$

Dabei ist  $h$  das Plancksche Wirkungsquantum und  $\nu$  die Frequenz des Lichtquants.

## 4 Durchführung

## 5 Auswertung

### 5.1 Dampfdruck und mittlere freie Weglänge

Zunächst wird mithilfe von !...! und !...! der Dampfdruck  $p_{\text{sät}}$  und die mittlere freie Weglänge  $\bar{w}$  in Abhängigkeit der Temperatur  $T$  bestimmt und anschließend mit dem Abstand  $a$  der Kathode und der Beschleunigungselektrode verglichen, welcher etwa 1 cm

beträgt.

$T/^{\circ}\text{C}$	$T/\text{K}$	$p_{\text{sät}}/\text{mbar}$	$\bar{w}/\text{cm}$	$\frac{a}{\bar{w}}$
27	300,15	0,0061	0.46891	2,13
160	433,15	7,0177	0.00041	2419,9
175	448,15	11,939	0.00024	4116,72
185	458,15	16,688	0.00017	5754,3

**Tabelle 1:** Dampfdruck  $p_{\text{sät}}$  und mittlere freie Weglänge  $\bar{w}$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$ .

Damit eine ausreichende Stoßwahrscheinlichkeit gegeben ist, muss  $\bar{w}$  etwa um den Faktor 1000 bis 4000 größer sein als der Abstand  $a$ . Das ist bei allen gemessenen Temperaturen außer den 27 °C gegeben. Hier ist das Verhältnis zu gering, als dass man eine aussagekräftige Frank-Hertz-Kurve aufnehmen könnte.

## 5.2 Differentielle Energieverteilung der Elektronen

Mithilfe eines X-Y-Schreibers wurden jeweils für 27 °C und 160 °C der Auffängerstrom  $I_A$  in Abhängigkeit der Bremsspannung  $U_A$  bei einer konstanten Beschleunigungsspannung von  $U_B = +11\text{V}$  aufgenommen.

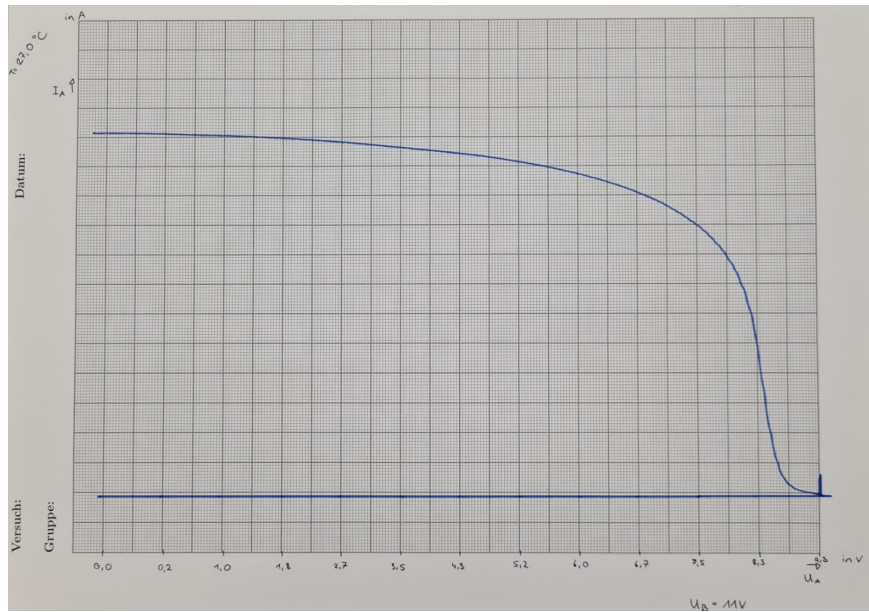
### 5.2.1 Messung bei 27 Grad Celsius

Die bei 27 °C abgelesenen Werte sind in Tabelle 2 zu finden, das Originalbild des X-Y-Schreibers ist in Abbildung 2 dargestellt.

$U_A/\text{V}$	$\Delta U_A/\text{V}$	$\Delta I_A/\text{A}$	$U_A/\text{V}$	$\Delta U_A/\text{V}$	$\Delta I_A/\text{A}$
0,2	0,2	0,1	5,2	0,9	3
1,0	0,8	1	6,0	0,8	5
1,8	0,8	1	6,7	0,7	6
2,7	0,9	2	7,5	0,8	11
3,5	0,8	2	8,3	0,8	40
4,3	0,8	3	8,8	0,5	46
4,3	0,8	3	9,3	0,5	5

**Tabelle 2:** Lokale Auffängerstromänderung  $\Delta I_A$  in den Intervallen  $\Delta U_A$  bei 27 °C

Um die differentielle Energieverteilung der Elektronen zu bestimmen, werden in der aufgenommenen Graphik jeweils für bestimmte Intervalle  $\Delta U_A$  und  $\Delta I_A$  aufgenommen,

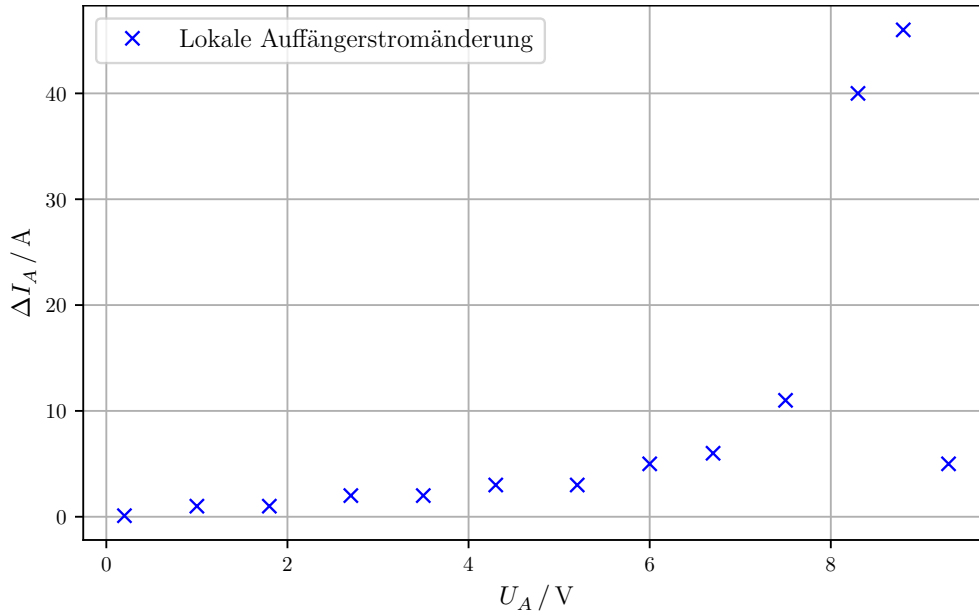


**Abbildung 2:** Auffängerstrom in Abhängigkeit der Bremsspannung bei  $T = 27^\circ\text{C}$ .

also jeweils kleine einzelne Steigungsdreiecke. Die Größe von den  $\Delta I_A$ 's sind anhand der einzelnen Kästchen des Millimeterpapiers frei bestimmt. 1 LE = 1 Kästchen.

Die gewählten Intervalle für  $\Delta U_A$  sind in Abbildung 2 und in Tabelle 2 abzulesen.

Die Werte für  $\Delta I_A$  werden nun gegen  $\Delta U_A$  geplottet. Der entstehende Verlauf beschreibt die differentielle Energieverteilung.



**Abbildung 3:** Differentielle Energieverteilung der Elektronen bei  $T = 27^\circ\text{C}$ .

Es lässt sich erkennen, dass die lokale Änderungsrate des Auffängerstroms bei  $U_A = 8,8\text{V}$  ein Maximum annimmt und danach wieder sinkt. Das heißt, dass die meisten Elektronen eine Energie von circa  $E_Z = e_0 \cdot U_A = (14,0976 \cdot 10^{-19})\text{J}$  haben.

Das Kontaktpotential ergibt sich aus der Differenz der Beschleunigungsspannung  $U_B$  und der Spannung des Maximums der Kurve:

$$K = U_B - U_{A,\max} = 2,2\text{V} \quad (6)$$

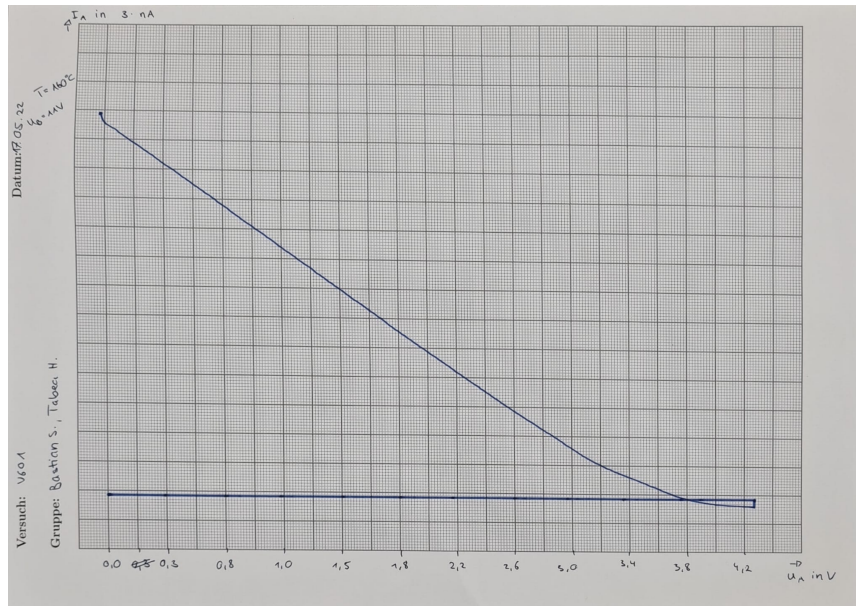
### 5.2.2 Messung bei 160 Grad Celsius

Die Auswertung für  $160^\circ\text{C}$  erfolgt analog zu der für  $27^\circ\text{C}$ . Die jeweiligen Messwerte und das Originalbild lassen sich in Tabelle 3 und Abbildung 4 finden.

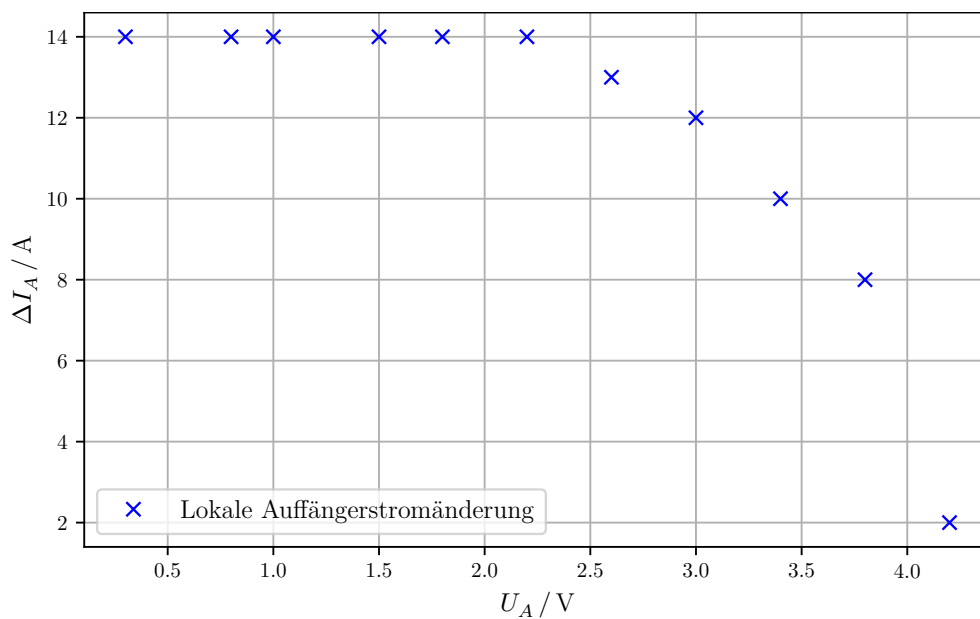
$U_A/V$	$\Delta U_A/V$	$\Delta I_A/A$	$U_A/V$	$\Delta U_A/V$	$\Delta I_A/A$
0,3	0,3	14	2,6	0,4	13
0,8	0,5	14	3,0	0,4	12
1,0	0,2	14	3,4	0,4	10
1,5	0,5	14	3,8	0,4	8
1,8	0,3	14	4,2	0,4	2
2,2	0,4	14			

**Tabelle 3:** Lokale Auffängerstromänderung  $\Delta I_A$  in den Intervallen  $\Delta U_A$  bei  $160^\circ\text{C}$

Die Werte werden erneut gegeneinander geplottet. Die entstandene Kurve ist in Abbildung 5 zu sehen.



**Abbildung 4:** Auffängerstrom in Abhängigkeit der Bremsspannung bei  $T = 160^\circ\text{C}$ .



**Abbildung 5:** Differentielle Energieverteilung der Elektronen bei  $T = 160^\circ\text{C}$ .

Es ist zu erkennen, dass der Auffängerstrom konstant abfällt bis dieser einen Wert Null erreicht.

Aufgrund der wesentlich höheren Temperatur finden mehr elastische Stöße zwischen den



Elektronen und dem Quecksilber-Dampf, bestehend aus Hg-Atomen statt. Durch die elastischen Stöße werden die Elektronen gestreut und haben dadurch einen geringeren Anteil an kinetischer Energie in Feldrichtung. Der Grund dafür, dass die Verteilung ab ca 4,8 V Null bleibt, ist dass die Anregungsenergie des Quecksilberatoms nach dem berechneten Wert im nächsten Aufgabenteil ca. 4,9 eV beträgt. Wenn nun Elektronen mit dieser oder größerer Energie auf ein Hg-Atom treffen, wird diese Anregungsenergie an die äußeren Elektronen des Atoms übertragen. Leider lässt sich der Bereich nach 4 V nicht mehr in der Abbildung beobachten. Es ist jedoch stark anzunehmen, dass aufgrund vorheriger Erklärung der Auffängerstrom nicht wieder ansteigt.

### 5.3 Franck-Hertz-Kurven

Zur Bestimmung der Anregungsenergie des Hg-Atoms werden jeweils eine Franck-Hertz-Kurve bei  $T = 175^\circ\text{C}$  und  $T = 185^\circ\text{C}$  ausgewertet und aus diesem Wert die Wellenlänge der beim Übergang in den Grundzustand emittierten Strahlung bestimmt. Es wird die Beschleunigungsspannung  $U_B$  variiert und die Bremsspannung  $U_A$  konstant auf 1 V gehalten.

#### 5.3.1 Franck-Hertz-Kurve bei 175 Grad Celsius

Es werden jeweils die Abstände der Peaks zueinander bestimmt und dann der Mittelwert dessen Werte. Die Abstände  $\Delta U_B$  sind in Tabelle 4 aufgelistet.

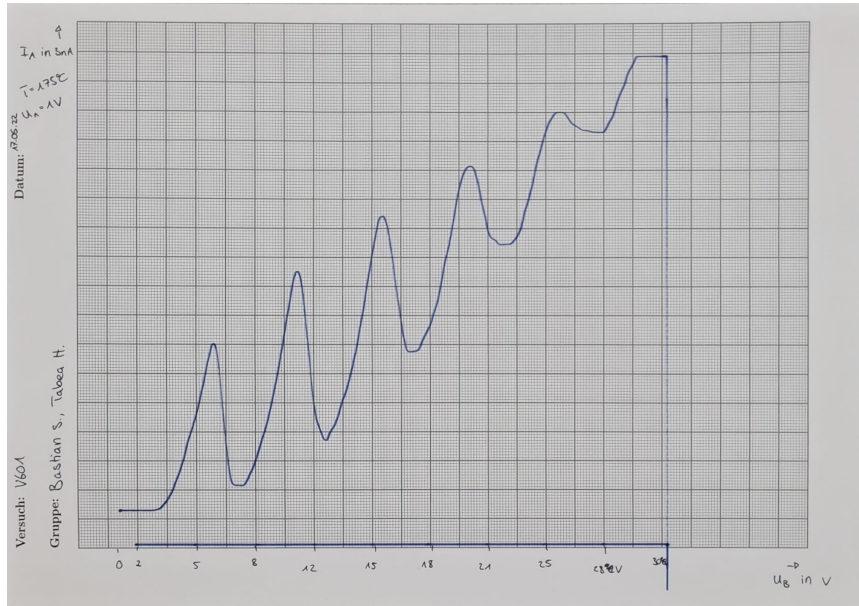
Nr.Peak	$U_A/\text{V}$	$\Delta U_A/\text{V}$
1	5,7	
2	10,9	5,2
3	15,5	4,6
4	20	4,7
5	25,5	5,5

**Tabelle 4:** Abstände der Maxima des Auffängerstroms bei  $175^\circ\text{C}$

Mittels der Python Uncertainties Bibliothek [2] ergibt sich der Mittelwert der Abstände der Peaks, also die Anregungsenergie zu  $E_1 = (5,0 \pm 0,4) \text{ eV}$ .

Mit !...! ergibt sich anschließend auch die Wellenlänge der beim Übergang in den Grundzustand emittierten Strahlung mit  $\lambda_1 = (248 \pm 18) \text{ nm}$ .

Das mittels X-Y-Schreibers aufgenommene Bild ist in Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 6:** Franck-Hertz-Kurve bei  $T = 175^\circ\text{C}$ .

### 5.3.2 Franck-Hertz-Kurve bei 185 Grad Celsius

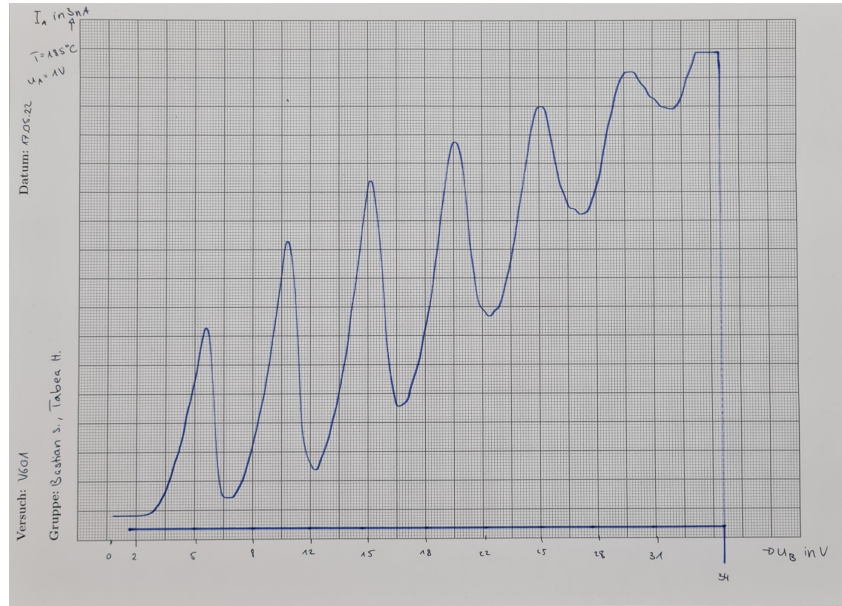
Für die Franck-Hertz-Kurve bei  $185^\circ\text{C}$  wird genau gleich vorgegangen. Die Abstände der Peaks lassen sich in Tabelle 5 wiederfinden.

Nr.Peak	$U_A/\text{V}$	$\Delta U_A/\text{V}$
1	5,8	
2	10,5	4,7
3	15,2	4,7
4	20,1	4,9
5	25,1	5,0
6	29,8	4,7

**Tabelle 5:** Abstände der Maxima des Auffängerstroms bei  $185^\circ\text{C}$

Mithilfe Python ergibt sich nun erneut die Anregungsenergie und die Wellenlänge der emittierten Strahlung zu  $E_2 = (4,8 \pm 0,13) \text{ eV}$  und  $\lambda_2 = (259 \pm 7) \text{ nm}$ .

Das aufgezeichnete Bild lässt sich in Abbildung 7 betrachten.



**Abbildung 7:** Franck-Hertz-Kurve bei  $T = 185^\circ\text{C}$ .

Anders als im vorherigen Versuchsteil beeinflussen die vielen elastischen Stöße hier nicht die Qualität der Messergebnisse, da lediglich die Höhe der Peaks und nicht die Abhängigkeit von  $U_B$  beeinflusst wird.

## 6 Diskussion

Da alle Messwerte nach Augenmaß abgelesen werden, sind bei den abgelesenen Messwerten bereits ein Messfehler vorliegend. Dieser lässt sich allerdings nicht genau bestimmen. Es ist jedoch sicher anzunehmen, dass dadurch das Kontaktpotential einen unbekannt großen Messfehler beinhaltet.

Anhand der Messergebnisse der aufgenommenen Kurve bei  $160^\circ\text{C}$ , lässt sich die Theorie der vermehrt vorkommenden elastischen Stöße bestätigen. Zudem lässt sich dadurch, dass die Kurve nach  $4,9\text{ V}$  nicht mehr ansteigt, die berechnete Anregungsenergie zur Genüge bestätigen.

Mittels den zwei Franck-Hertz-Kurven konnten unterschiedliche Werte für die Anregungsenergie bestimmt werden:

$$\bar{E}_1 = (5,0 \pm 0,4) \text{ eV}$$

$$\bar{E}_2 = (4,8 \pm 0,13) \text{ eV}.$$

Diese zwei Werte besitzen jeweils eine Abweichung von 4% zueinander und eine Abweichung von jeweils 2% zum Literaturwert  $E_{\text{lit}} = 4,9\text{ eV}$ [1].

Da die Messunsicherheiten und Abweichungen hinreichend klein sind, lässt sich der Literaturwert verifizieren.

Neben der Anregungsenergie wurde zudem die Wellenlängen für die Übergänge der Grundzustände berechnet:

$$\lambda_1 = (248 \pm 18) \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = (259 \pm 7) \text{ nm}.$$

Die zwei Werte haben eine Abweichung von 4,44% zueinander und eine Abweichung von 2,37% und 1,98% zu dem Literaturwert  $\lambda_{\text{lit}} = 253 \text{ nm}$ [1].

Da die Abweichungen und Messunsicherheiten abermals gering genug sind, lässt sich auch dieser Literaturwert bestätigen.

## Literatur

- [1] chemie.de. *Literaturwerte Anregungsenergie und Wellenlänge*. URL: <https://www.chemie.de/lexikon/Franck-Hertz-Versuch.html> (besucht am 21.05.2022).
- [2] pythonhosted.org. *Uncertainties package*. URL: <https://pythonhosted.org/uncertainties/> (besucht am 26.04.2022).