

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
DORTMUND

ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK

SOMMERSEMESTER  
2014

---

**V601**  
**Franck-Hertz Versuch**

**13.05.2014**

**1. ABGABE: 20.05.2014**

---

Johannes Schlüter

johannes.schlueter@udo.edu

Joshua Luckey

joshua.luckey@udo.edu

# 1 Einleitung

Im "Franck-Hertz-Versuch" V601 wird die Anregungsernergie  $E_1 - E_0$  eines Quecksilberatoms bestimmt, außerdem wird die Ionisierungsenergie eines Hg-Atoms ermittelt.

# 2 Theorie

Erhält das Elektron einen hinreichend großen Energiebetrag, wird es in einen sog. angeregten Zustand gebracht. Nach einer gewissen Zeit kehrt das Atom in seinen Ruhezustand zurück und die Energie wird als Photon einer bestimmten Wellenlänge emittiert. Weswegen es bei einem Stoß mit Elektronen dazu kommt, dass die Elektronen - solange sie nicht genug kinetische Energie haben um das Atom anzuregen - nur elastische Stöße mit dem Atom ausführen.

Besitzen jedoch die Elektronen genug kinetische Energie um das Atom anzuregen, kommt es zu unelastischen Stößen und das Atom absorbiert einen Teil oder die gesamte Energie des Elektrons.

Im Versuch wird ermittelt: Die Energiedifferenz zwischen den Anregungszuständen zweier Atome, die Energie, die nötig ist, um ein Atom zu ionisieren, daher Elektronen aus der Atomhülle herauszuschlagen und die Energieverteilung der austretenden Elektronen.

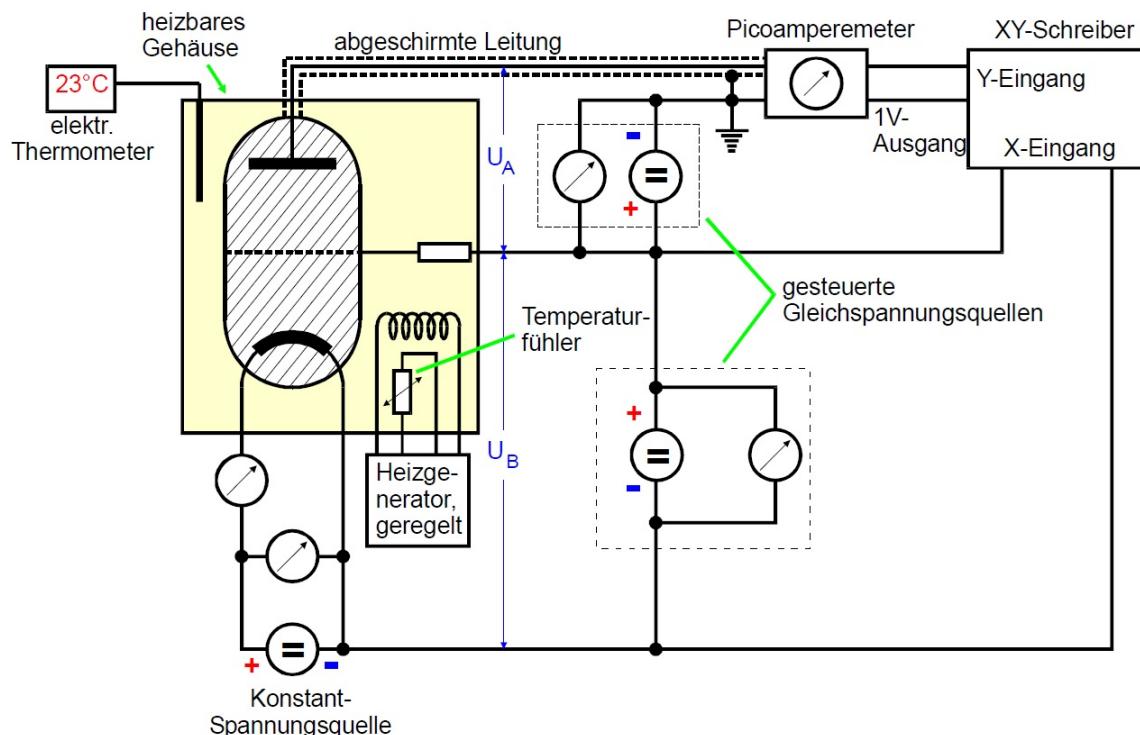


Abbildung 1: Versuchsaufbau[2]

Der Franck-Hertz-Versuch besteht grundsätzlich aus einer mit Quecksilberdampf gefüll-

ten Kammer. Man reguliert den Dampfdruck über die innerhalb der Kammer herrschende Temperatur. Diese lässt sich wiederum über einen Heizgenerator steuern.

Innerhalb dieser Kammer werden nun von einer Heizkathode ausgehende Elektronen durch eine Beschleunigungsspannung  $U_B$  beschleunigt. Die Elektronen erhalten somit die kinetische Energie:

$$E_{kin} = \frac{mv^2}{2} = e_0 U_B \quad (1)$$

Am Ende der Kammer befindet sich eine Auffängerelektrode, die die dort auftreffenden Elektronen (als Strom  $I_A$ ) registriert. Vor dieser wird jedoch noch eine Gegenspannung  $U_A$  angelegt, so dass nur Elektronen, die

$$E_{kin} \geq e_0 U_A \quad (2)$$

erfüllen, die Auffängerelektrode erreichen.

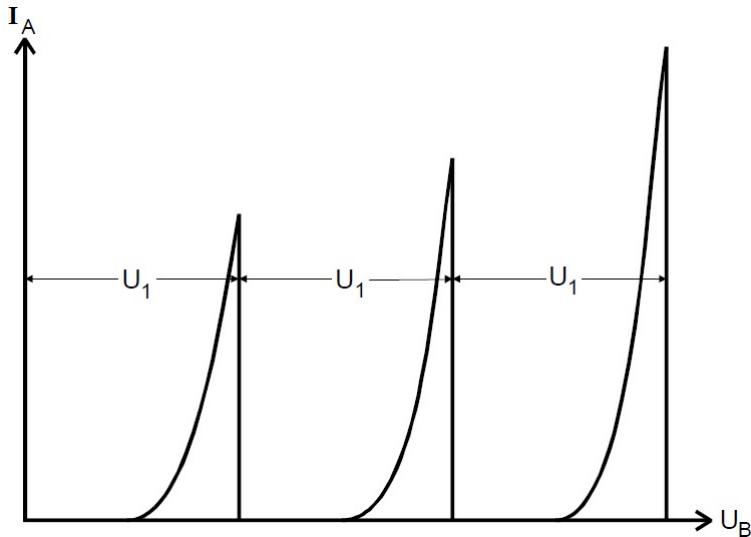
Ist die Energie der Elektronen nun kleiner als die Anregungsenergie der Hg-Atome, kommt es lediglich zu elastischen Stößen. Durch die großen Massenunterschiede der beiden Stoßpartner ist die Energieabgabe des Elektrons vernachlässigbar klein. Somit steigt der gemessene Auffängerstrom an, wenn die Beschleunigungsspannung steigt. Sobald jedoch die Anregungsenergie erreicht wird, bricht dieser somit auf 0 ein, da die Atome die Energie der Elektronen absorbieren. Auch eine weitere leichte Erhöhung der Energie führt zu keinem Anstieg von  $I_A$ , da die Energie nicht ausreicht um die Bremsspannung zu überwinden.

$$E_{kin} - E_1 \leq e_0 U_A$$

Erst bei deutlicher Erhöhung von  $U_B$  kommt es zum Ansteigen des Stroms  $I_A$ .

Nach einer weiteren Erhöhung von  $U_B$  reicht die Energie der Elektronen für zwei Anregungen, so dass die Kurve wiederum einbricht. Der Abstand  $U$  zwischen zwei Maxima gibt die Energie an, die nötig ist um das Atom von einem Zustand in den anderen zu bringen:

$$U_1 := \frac{1}{e_0}(E_1 - E_0) \quad (3)$$



**Abbildung 2:** Idealisierte Franck-Hertz-Kurve[2]

## 2.1 Einflüsse auf die Gestalt der Kurve

Es gibt allerdings noch weitere Effekte, die die vorher beschriebene, idealisierte Gestalt der Franck-Hertz-Kurve beeinflussen.

### 2.1.1 Einfluss des Kontaktpotentials

Um hohe Elektronenemissionsraten zu erreichen, verwendet man für Glühdraht und Beschleunigungselektrode Materialien, die beide unterschiedliche Austrittsarbeiten besitzen, wobei der Glühdraht die deutlich kleinere Austrittsarbeit besitzen sollte. Damit kommt es durch die verschiedenen Potentiale zu einer Verschiebung der Franck-Hertz-Kurve um das Kontaktpotential:

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

### 2.1.2 Einfluss des Energie-Spektrums der Elektronen

In Materialien besitzen nicht alle Elektronen den gleichen Energiewert, sondern eine statistische Energieverteilung, denn die Elektronen treten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bzw. kinetischen Energien, aus dem Glühdraht aus.

Dies führt dazu, dass es keine Unstetigkeiten in der Kurve gibt, sondern die Abfälle auf  $I_A = 0$  mit einer endlichen Steigung geschehen und sich einem Stromminimum nähert.

### 2.1.3 Einfluss des Dampfdrucks

Um aussagekräftige Kurven zu erhalten, ist es nötig die Stoßwahrscheinlichkeit der Elektronen mit den Hg-Atomen ausreichend hoch zu halten. Dazu ist es nötig, dass die mittlere

freie Weglänge  $\bar{w}$  klein gegen den Abstand  $a$  der Glühkathode zur Auffängerelektrode ist. Dabei hängen  $\bar{w}$  und der Sättigungsdruck über

$$\bar{w}[\text{cm}] = \frac{0,0029}{p_{\text{sät}}} \quad [p \text{ in mbar}] \quad (5)$$

zusammen.

Wobei gilt

$$p_{\text{sät}}(T) = 5,5 \cdot 10^7 \exp(-6876/T) \quad [p \text{ in mbar}, T \text{ in K}] \quad (6)$$

$\bar{w}$  sollte dabei um einen Faktor 1000 bis 4000 kleiner sein als der Abstand  $a$ .

### 3 Durchführung

#### 3.1 Energieverteilung der beschleunigten Elektronen

Zur Messung der integralen Energieverteilung der beschleunigten Elektronen, wird der Auffängerstrom  $I_A$  in Abhängigkeit von der Bremsspannung  $U_A$  gemessen.

Die Beschleunigungsspannung  $U_B$  wird bei +11 V konstant gehalten.

Es wird jeweils eine Messung bei  $T \approx 20^\circ\text{C}$  und zwischen  $T = 140^\circ$  und  $160^\circ\text{C}$  durchgeführt. Das Ergebnis wird mit einem XY-Schreiber festgehalten (X-Eingang: Beschleunigungsspannung, Y-Eingang: Auffängerstrom).

#### 3.2 Aufnahme von Franck-Hertz-Kurven

Für drei unterschiedliche Temperaturen zwischen  $160^\circ$  und  $200^\circ\text{ C}$  werden mit Hilfe eines XY-Schreibers (X-Eingang:  $U_B$ , Y-Eingang:  $I_A$ ) Franck-Hertz-Kurven aufgenommen.

Als Bremsspannung  $U_A$  wird 1 V gewählt, während  $U_B$  von 0V auf 60V steigt bzw. aufgetragen wird.

#### 3.3 Ionisierungsspannung von Hg-Atomen

Zur Bestimmung der Ionisierungsspannung wird mit einem XY-Schreiber (X-Eingang:  $U_B$ , Y-Eingang:  $I_A$ ) bei einer Temperatur zwischen  $100^\circ\text{C}$  und  $110^\circ\text{C}$  der Auffängerstrom  $I_A$  in Abhängigkeit von der Beschleunigungsspannung  $U_B$  aufgenommen. Die Bremsspannung  $U_A$  liegt bei -30V.

## 4 Auswertung

Im folgenden Abschnitt sind die während des Versuchs aufgenommenen Daten und die daraus berechneten Ergebnisse tabellarisch und graphisch dargestellt. An entsprechender Stelle sind Erklärungen zu den Berechnungen und Ergebnissen gegeben. Die Fehler der Messwerte wurden allgemein als die kleinste Skaleneinheit des jeweiligen Messgeräts angenommen.

### 4.1 Fehlerrechnung

In diesem Abschnitt sind die in der Auswertung zur Berechnung der Messfehler verwendeten Fehlergleichungen zu finden. Diese wurden mit Hilfe der gaußschen Fehlerrechnung bestimmt.

Der allgemeine gaußsche Fehler eines Mittelwerts ergibt sich nach

$$\sigma_M = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{x_i}^2}. \quad (\text{I})$$

Den Fehler des Dampfdruckes  $p_{sat}$  erhält man vereinfacht aus

$$\sigma_p = 3,8 \cdot 10^{11} \cdot \frac{\exp\left(\frac{-6876}{T}\right)}{T^2} \cdot \sigma_T. \quad (\text{II})$$

Für die mittlere freie Wegstrecke  $\bar{w}$  erhält man den Fehler durch

$$\sigma_{\bar{w}} = \frac{0.0029\sigma_{p_{sat}}}{p_{sat}^2}. \quad (\text{III})$$

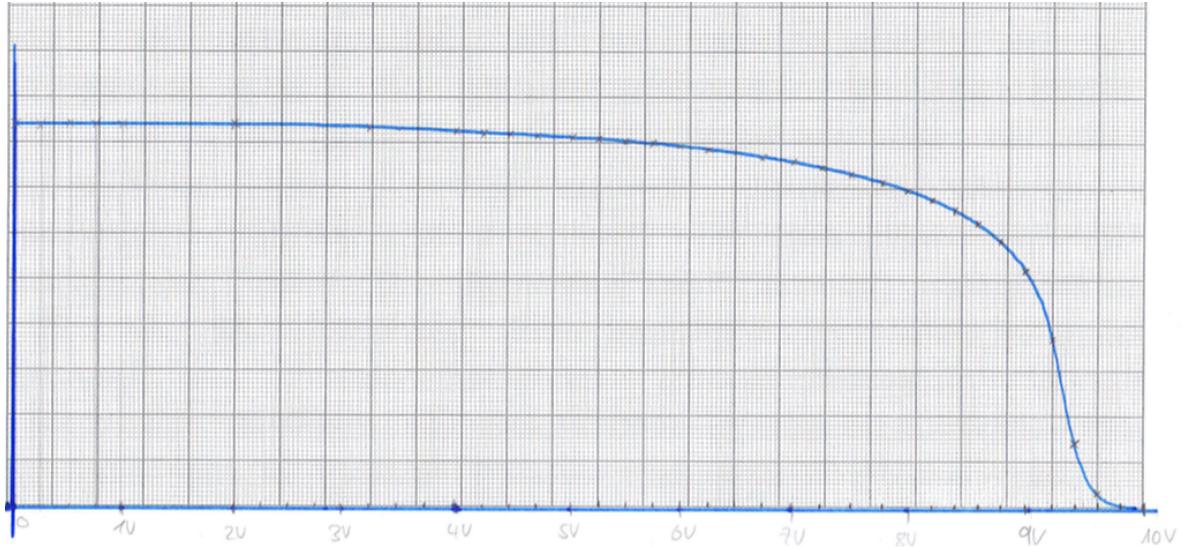
Die Wellenlänge  $\lambda$  hat den Fehler

$$\sigma_\lambda = \frac{hc\sigma_E}{E^2}. \quad (\text{IV})$$

### 4.2 Messung der integralen Energieverteilung bei Raumtemperatur

Die Mittels XY-Schreiber aufgenommenen Kurve der Integralen Energieverteilung ist in Abbildung 3 dargestellt. Bei der Temperatur  $T = (25,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (298,2 \pm 0,1)\text{ K}$  herrscht nach (6) in der Franck-Hertz-Röhre der Dampfdruck  $p_{sat} = (0,00530 \pm 0,00004)\text{ mbar}$ . Durch (5) lässt sich daraus die mittlere freie Weglänge der Elektronen zu  $\bar{w} = (0,547 \pm 0,004)\text{ cm}$  berechnen.

Durch grafische Differentiation der integralen Energieverteilung erhält man die in Abbildung 4 dargestellte differentielle Energieverteilung der Elektronen.



**Abbildung 3:** Kurve der Integralen Energieverteilung bei Raumtemperatur

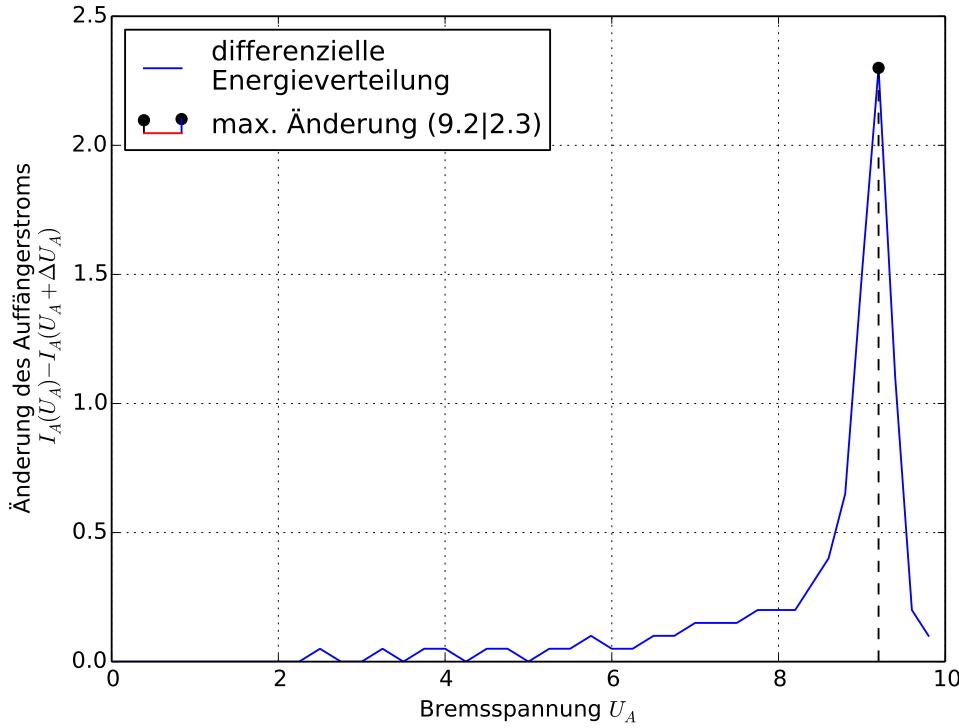
Die dafür aus Abbildung 3 genommenen Werte befinden sich in Tabelle 1. Der Wert des Auffängerstroms ist dabei in der Anzahl der Kästchen über der x-Achse angegeben.

Bremsspannung $U_A$ [V]	$\Delta$ Bremsspannung $\Delta U_A$ [V]	Auffängerstrom $\propto I_A(U_A)$	$\Delta$ Auffängerstrom $\propto \Delta I_A(U_A)$	Bremsspannung $U_A$ [V]	$\Delta$ Bremsspannung $\Delta U_A$ [V]	Auffängerstrom $\propto I_A(U_A)$	$\Delta$ Auffängerstrom $\propto \Delta I_A(U_A)$
0,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	5,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1
0,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	5,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,0 ± 0,1	0,1 ± 0,1
0,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	6,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,9 ± 0,1	0,1 ± 0,1
0,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	6,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,8 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	6,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,8 ± 0,1	0,1 ± 0,1
1,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	6,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,7 ± 0,1	0,1 ± 0,1
1,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	7,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,6 ± 0,1	0,1 ± 0,1
1,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	7,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,5 ± 0,1	0,2 ± 0,1
2,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	7,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1
2,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,0 ± 0,1	7,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	7,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1
2,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,4 ± 0,1	0,1 ± 0,1	8,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	7,0 ± 0,1	0,2 ± 0,1
2,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1	8,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	6,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1
3,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1	8,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	6,5 ± 0,1	0,3 ± 0,1
3,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1	8,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	6,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1
3,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1	8,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	5,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1
3,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1	9,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	5,2 ± 0,1	1,5 ± 0,1
4,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	9,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,7 ± 0,1	2,3 ± 0,1
4,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1	9,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	1,4 ± 0,1	1,1 ± 0,1
4,50 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1	9,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1
4,75 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	9,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1
5,00 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,1 ± 0,1	0,0 ± 0,1	10,00 ± 0,05	-	0,0 ± 0,1	-
5,25 ± 0,05	0,25 ± 0,07	8,1 ± 0,1	0,0 ± 0,1	-	-	-	-

**Tabelle 1:** Messwerte zur Bestimmung der differentiellen Energieverteilung bei Raumtemperatur

Aus der Lage des Maximums der differentiellen Energieverteilung  $U_{A,max} = (9,20 \pm 0,05)$  V ergibt sich mit dem Wert der eingestellten Beschleunigungsspannung  $U_B = (11 \pm 1)$  V das Kontaktpotential der Elektroden zu

$$K = U_B - U_{A,max} = (2 \pm 1) \text{ V}. \quad (7)$$



**Abbildung 4:** Kurve der differentiellen Energieverteilung bei Raumtemperatur

### 4.3 Messung der integralen Energieverteilung bei 150°C

Die für die Temperatur  $T = (150,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (423,2 \pm 0,1)\text{ K}$  aufgenommene integrale Energieverteilung ist in Abbildung 5 zu finden. Bei diesen Temperaturen sind die Werte für Dampfdruck und mittlere freie Weglänge  $p_{sat} = (4,82 \pm 0,02)\text{ mbar}$  und  $\bar{w} = (0,000\,601 \pm 0,000\,002)\text{ cm}$ .

Aus dieser Kurve wurden zur grafischen Differentiation Werte entnommen die in Tabelle 2 gelistet sind. Die grafische Darstellung selbst befindet sich in Abbildung 6.

Bremsspannung $U_A$ [V]	$\Delta$ Bremsspannung $\Delta U_A$ [V]	Auffängerstrom $\propto I_A(U_A)$	$\Delta$ Auffängerstrom $\propto \Delta I_A(U_A)$	Bremsspannung $U_A$ [V]	$\Delta$ Bremsspannung $\Delta U_A$ [V]	Auffängerstrom $\propto I_A(U_A)$	$\Delta$ Auffängerstrom $\propto \Delta I_A(U_A)$
0,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	14,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	3,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	4,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1
0,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	14,1 ± 0,1	0,4 ± 0,1	3,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	4,0 ± 0,1	0,0 ± 0,1
0,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	13,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	4,0 ± 0,1	0,4 ± 0,1
0,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	13,1 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1
0,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	12,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,3 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	11,8 ± 0,1	0,5 ± 0,1	4,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	11,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	10,7 ± 0,1	0,6 ± 0,1	5,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	10,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	5,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
1,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	9,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	5,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
2,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	9,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1	5,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
2,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	8,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	5,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
2,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	7,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1	6,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
2,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	7,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1	6,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
2,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	6,6 ± 0,1	0,4 ± 0,1	6,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
3,00 ± 0,05	0,20 ± 0,07	6,2 ± 0,1	0,6 ± 0,1	6,60 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
3,20 ± 0,05	0,20 ± 0,07	5,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1	6,80 ± 0,05	0,20 ± 0,07	3,2 ± 0,1	0,0 ± 0,1
3,40 ± 0,05	0,20 ± 0,07	5,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	7,00 ± 0,05	-	3,2 ± 0,1	-

**Tabelle 2:** Messwerte zur Bestimmung der differentiellen Energieverteilung bei 150 °C

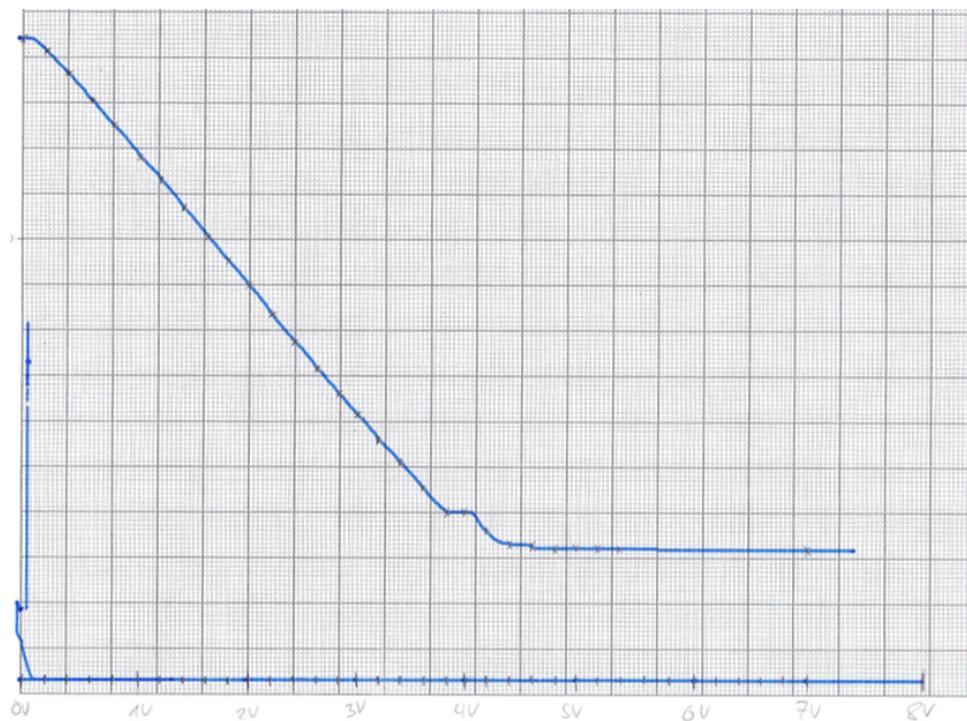


Abbildung 5: Kurve der Integralen Energieverteilung bei  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$

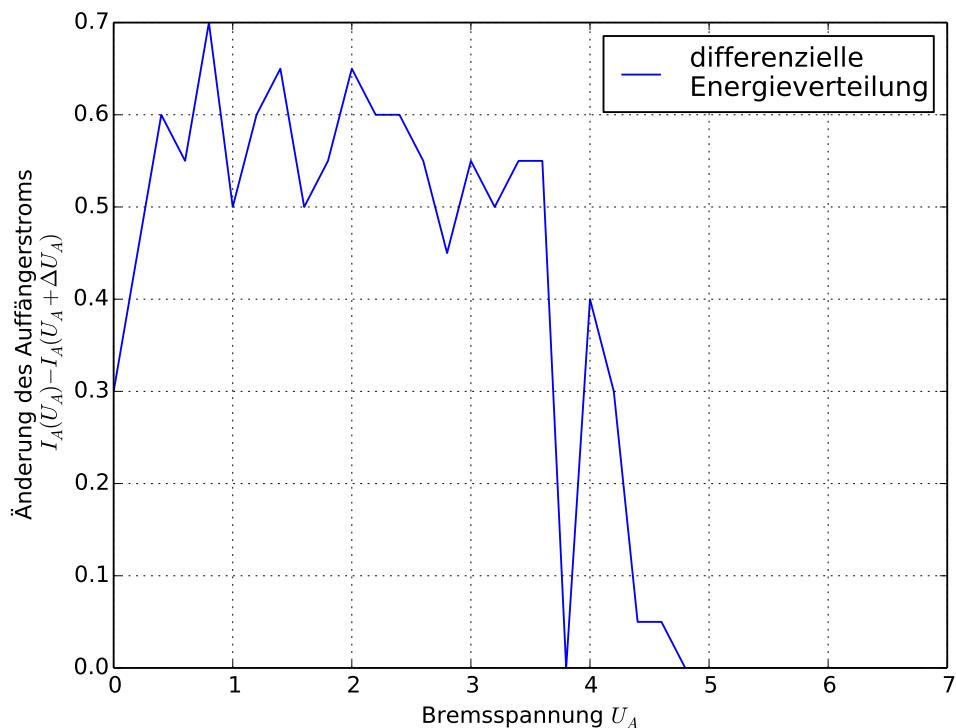
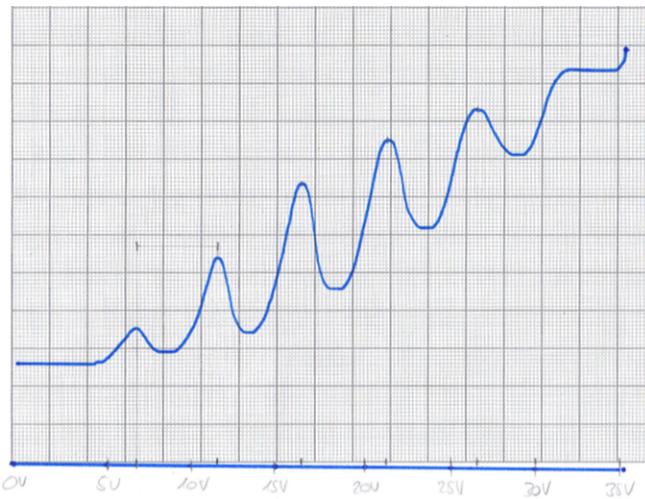


Abbildung 6: Kurve der differentiellen Energieverteilung bei Raumtemperatur

#### 4.4 Bestimmung der Anregungsenergie des Quecksilbers

Zur Bestimmung der Anregungsenergie des Quecksilbers wurde die in Abbildung 7 dargestellte Franck-Hertz-Kurve aufgenommen. Aus den Abständen der Maxima lässt sich die zur Anregung nötige Beschleunigungsspannung  $U_B$  und daraus die Anregungsenergie bestimmen, diese sind in Tabelle 3 eingetragen. Diese Messung wurde bei einer Temperatur  $T = (165,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (438,2 \pm 0,1)\text{K}$  und daraus folgend unter einem Dampfdruck von  $p_{sat} = (8,41 \pm 0,03)\text{ mbar}$  und einer mittleren freien Weglänge der Elektronen von  $\bar{w} = (0,000\,344 \pm 0,000\,001)\text{ cm}$  durchgeführt.



**Abbildung 7:** Franck-Hertz-Kurve zur Bestimmung der Anregungsenergie von Quecksilber

maximal Stellen $U_{A,max}^{(i)} [\text{V}]$	$\Delta$ maximal Stellen $U_{A,max}^{(i+1)} - U_{A,max}^{(i)} [\text{V}]$	Anregungsenergie $E [\text{eV}]$
$7,2 \pm 0,4$	$4,6 \pm 0,6$	$4,6 \pm 0,6$
$11,8 \pm 0,4$	$4,9 \pm 0,6$	$4,9 \pm 0,6$
$16,7 \pm 0,4$	$4,9 \pm 0,6$	$4,9 \pm 0,6$
$21,7 \pm 0,4$	$5,2 \pm 0,6$	$5,2 \pm 0,6$
$26,9 \pm 0,4$	-	-

**Tabelle 3:** Messwerte zur Bestimmung der differentiellen Energieverteilung bei  $150^\circ\text{C}$

Der Mittelwert Anregungsenergien hat damit den Wert

$$\langle E \rangle = (4,9 \pm 0,1)\text{ eV}. \quad (8)$$

Über die Energiegleichung des Photons  $E = hc\lambda^{-1}$  lässt sich aus der erhaltenen, gemittelten Energie, die Wellenlänge  $\lambda$  des nach der Anregung emittierten Photons zu

$$\lambda = (252 \pm 6)\text{ nm} \quad (9)$$

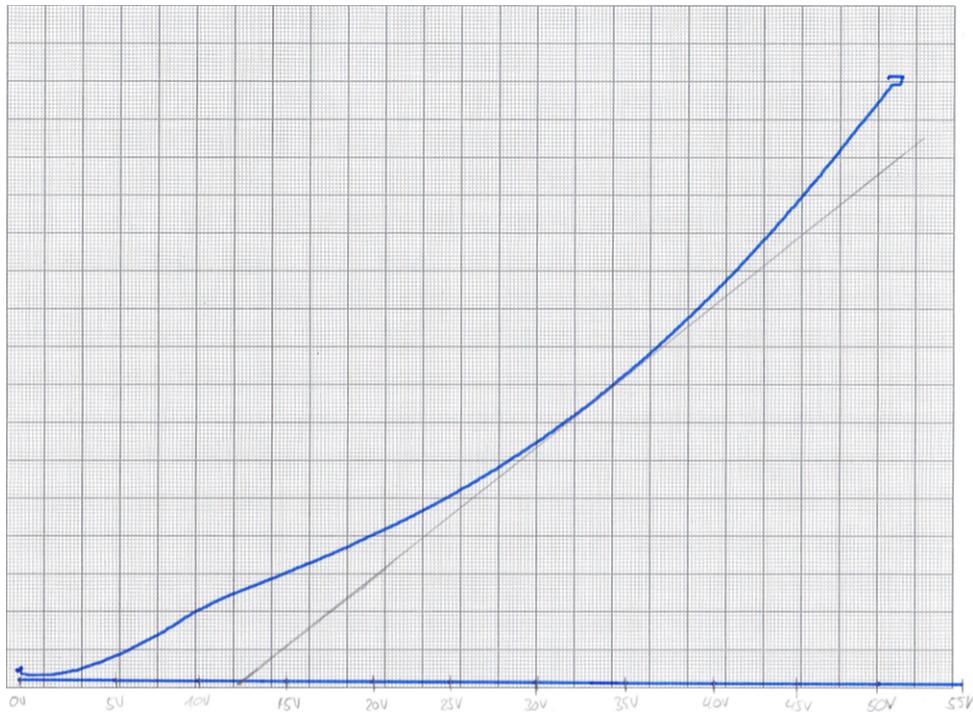
bestimmen.

Durch Subtraktion des Mittelwertes der Anregungsenergie, von der Energie des ersten Maximums ergibt sich für das Kontaktpotential der Elektroden der Wert

$$K = (2,3 \pm 0,6) \text{ V}. \quad (10)$$

#### 4.5 Bestimmung der Ionisierungsspannung des Quecksilbers

Die Messung zur Bestimmung der Ionisierungsspannung  $U_{ion}$  des Quecksilbers wurde mit einer Temperatur von  $T = (100,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (373,2 \pm 0,1) \text{ K}$  bei dem Dampfdruck  $p_{sat} = (0,547 \pm 0,003) \text{ mbar}$  durchgeführt. Unter diesen Bedingungen beträgt die mittlere freie Weglänge der Elektronen  $\bar{w} = (0,00531 \pm 0,00003) \text{ cm}$ . Zur Bestimmung der Ionisierungsspannung  $U_{ion}$  wird eine tangentiale Gerade an die aufgenommenen Kurve, in Abbildung 8 gelegt.



**Abbildung 8:** Grafische Bestimmung der Ionisierungsspannung

Die Nullstelle dieser Geraden hat den Wert  $U_0 = U_{ion} + K$ , wobei  $K$  das zuvor berechnete Kontaktpotential der beiden Elektroden ist. Mit dem aus Abbildung 8 bestimmten Wert  $U_0 = (12,5 \pm 0,2) \text{ V}$  errechnet sich, unter Verwendung des Mittelwerts

$$\langle K \rangle = (2,0 \pm 0,6) \text{ V} \quad (11)$$

aus (7) und (10), die Ionisierungsspannung zu

$$U_{ion} = (10,5 \pm 0,6) \text{ V}. \quad (12)$$

## 5 Diskussion

In folgendem Abschnitt werden die in Abschnitt 4 erhaltenen Ergebnisse noch einmal abschließend diskutiert und dabei auf ihre Plausibilität hin überprüft.

Die Verläufe der bei  $T_1 = 25^\circ\text{C}$  und  $T_2 = 150^\circ\text{C}$  aufgenommenen ( $U_A|I_A$ ) Kurven lassen sich qualitative durch den, in der in der Franck-Hertz-Röhre herrschenden Dampfdruck und die daraus resultierende mittlere freie Weglänge begründen.

Für  $T_1$  ist der Quotient aus mittlerer freier Weglänge  $\bar{w}$  und der Beschleunigungsstrecke  $s = 1 \text{ cm}$ , mit  $\bar{w}_1/s = 0,547 \pm 0,004$  um 3 Größenordnungen größer als der selbe Quotient bei  $T_2$ ,  $\bar{w}_2/s = 0,000\,601 \pm 0,000\,002$ . Durch die wesentlich kleinere Stoßwahrscheinlichkeit der Elektronen für den kälteren Fall, ist die für diese Temperatur aufgenommene Kurve über einen großen Bremsspannungsbereich nahezu konstant und fällt erst ab, wenn der Wert der Bremsspannung den Wert der effektiven Beschleunigungsspannung  $U_{B,eff}$  überschreitet. Das Einbrechen des Stromes ist in diesem Fall auf die hohe Bremsspannung und nicht auf Stöße mit den Quecksilberatomen zurückzuführen.

Ein anderes Verhalten ist bei der Temperatur  $T_2$  zu beobachten, hier ist die Stoßwahrscheinlichkeit wesentlich höher, wodurch der schon bei geringen Bremsspannungen abfallende Auffängerstrom zu begründen ist. Der nach dem Abfall anschließende nahezu konstante Verlauf ist mit dem Verlauf der Kurve bei  $T_1$  zu vergleichen, somit wird dieser Strom durch Elektronen hervorgerufen, die ohne Stöße an der Auffängeranode ankommen.

Die aus der Lage der Maxima der Franck-Hertz-Kurve bestimmte Mittelwert der Anregungsenergie (8), stimmt mit dem Literaturwert  $E_{lit} = 4,9 \text{ eV}$  der Herren Franck und Hertz überein [1], wodurch dieser als Plausibel angesehen werden kann. Eine Berücksichtigung der Energieverluste durch elastische Stöße der Elektronen mit dem Quecksilberatomen ist nicht nötig, da diese Energiedifferenzen noch unter dem Fehler der durchgeführten Messungen liegen.

Das aus der Franck-Hertz-Kurve bestimmte Kontaktpotential  $K$  hat einen im Rahmen der Messgenauigkeit mit dem, aus der Messung bei  $T_1$  zu vergleichenden Wert und auch der Mittelwert (11) aus beiden ist in seiner Höhe plausibel.

## Literatur

- [1] Gustav Hertz James Franck. *Auszug aus: Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben.* URL: <http://www.dpg-physik.de/presse/veranstaltungen>tagungen/2014/pdf/Franck-Hertz-Experiment-VH1914.pdf> (besucht am 19.05.2014).
- [2] *Versuchsanleitung. V701 Franck-Hertz-Versuch.* URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V601.pdf> (besucht am 18.05.2014).