

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
DORTMUND

ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK  
SOMMERSEMESTER  
2014

---

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

**13.05.2014**

**1. ABGABE: 20.05.2014**

---

Johannes Schlüter  
Joshua Luckey

johannes.schlueter@udo.edu  
joshua.luckey@udo.edu

# 1 Einleitung

# 2 Theorie

# 3 Durchführung

# 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

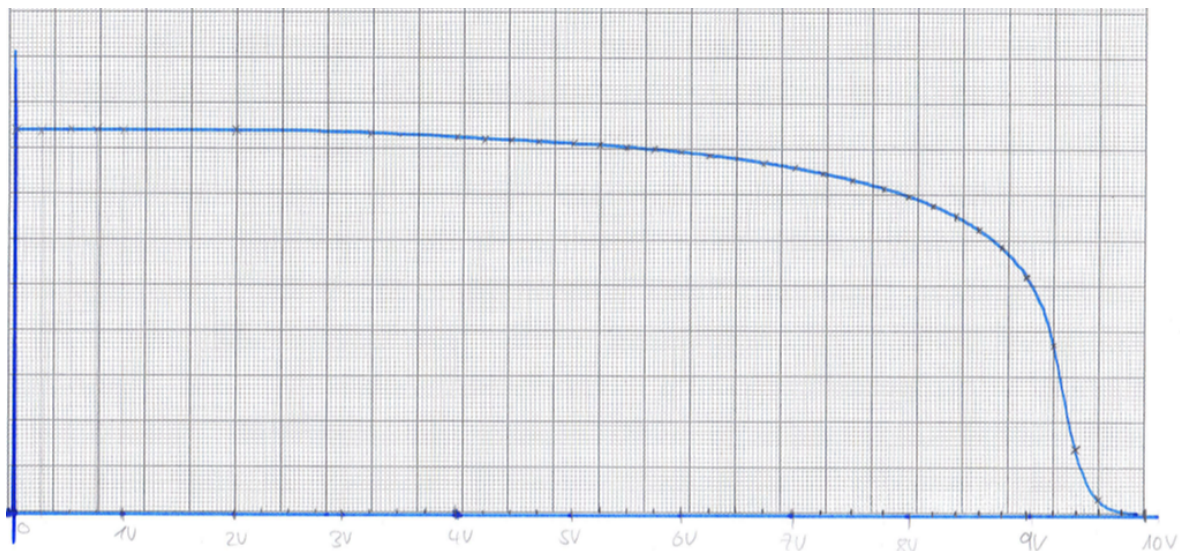
$$\sigma_{\bar{w}} = \frac{0.0029 \sigma_{p_{sat}}}{p_{sat}^2}. \quad (\text{III})$$

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 1 dargestellt. Bei der Temperatur  $T = (25,0 \pm 0,1)^\circ\text{C} = (298,2 \pm 0,1) \text{ K}$  herrscht nach ?? in der Franck-Hertz-Röhre der Dampfdruck  $p_{\text{sat}} = (0,005\,30 \pm 0,000\,04) \text{ mbar}$ . Durch ?? lässt sich daraus die mittlere freie Weglänge der Elektronen zu  $\bar{w} = (0,547 \pm 0,004) \text{ cm}$  berechnen.



**Abbildung 1:** Kurve der Integralen Energieverteilung bei Raumtemperatur

Durch grafische Differentiation, der integralen Energieverteilung erhält man die in Abbildung 2 dargestellte differentielle Energieverteilung der Elektronen. Die dafür aus Abbildung 1 genommenen Werte befinden sich in Tabelle 1. Der Wert des Auffängerstoms ist dabei in der Anzahl der Kästchen über der x-Achse angegeben.

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

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

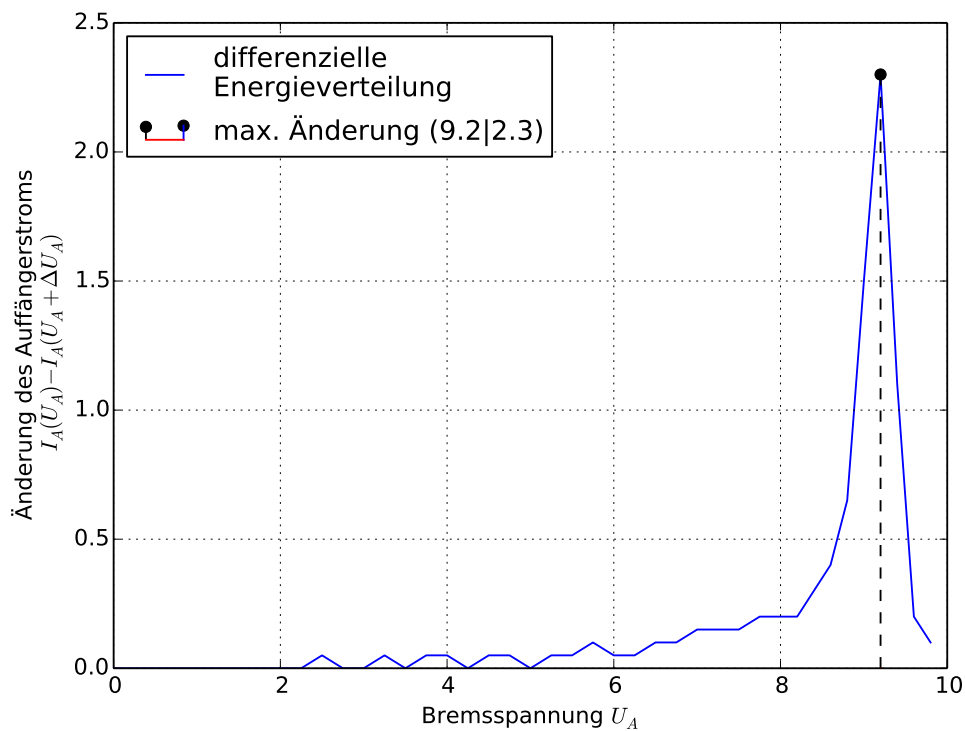
## 4.3 Messung der integralen Energieverteilung bei 150°C

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 3 zu finden. Bei diesen Temperaturen sind die Werte für Dampfdruck und mittlere freie Weglänge  $p_{\text{sat}} = (4,82 \pm 0,02) \text{ mbar}$  und  $\bar{w} = (0,000\,601 \pm 0,000\,002) \text{ cm}$ .

Aus dieser Kurve wurden zur grafischen Differentiation Werte entnommen die in Tabelle 3 gelistet sind. Die grafische Darstellung selbst befindet sich in Abbildung 4.

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



**Abbildung 2:** Kurve der differentiellen Energieverteilung bei Raumtemperatur

## 4.4 Bestimmung der Anregungsenergie des Quecksilbers

Zur Bestimmung der Anregungsenergie des Quecksilbers wurde die in ?? 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 ?? eingetragen. Diese Messung wurde bei einer Temperatur  $T =$

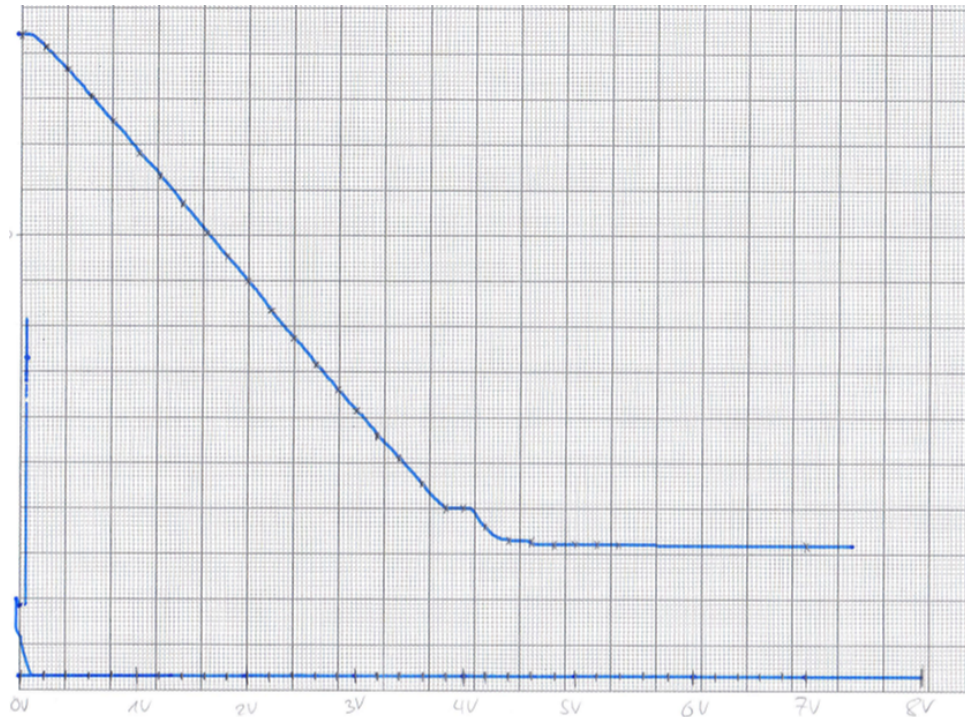


Abbildung 3: Kurve der Integralen Energieverteilung bei 150 °C

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

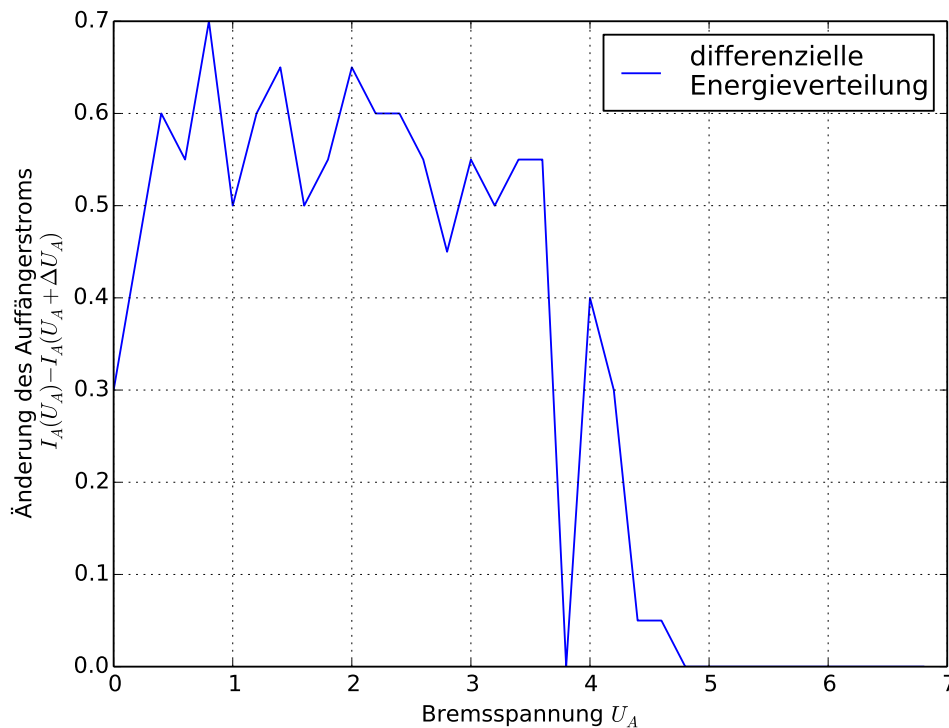
$(165,0 \pm 0,1) ^\circ\text{C} = (438,2 \pm 0,1) \text{K}$  und daraus folgend unter einem Dampfdruck von  $p_{\text{sat}} = (8,41 \pm 0,03) \text{mbar}$  und einer mittleren freien Weglänge der Elektronen von  $\bar{w} = (0,000\,344 \pm 0,000\,001) \text{cm}$  durchgeführt.

Der Mittelwert Anregungsenergien hat damit den Wert

$$\langle E \rangle = (4,9 \pm 0,1) \text{eV}. \quad (2)$$

Über die Energiegleichung des Photons ?? lässt sich aus der erhaltenen, gemittelten Energie, die Wellenlänge  $\lambda$  des nach der Anregung emittierten Photons zu

$$\lambda = (252 \pm 6) \text{nm} \quad (3)$$



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

maximal Stellen $U_{A,max}^{(i)}$ [V]	$\Delta$ maximal Stellen $U_{A,max}^{(i+1)} - U_{A,max}^{(i)}$ [V]	Anregungsenergie $E$ [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 °C

bestimmen.

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

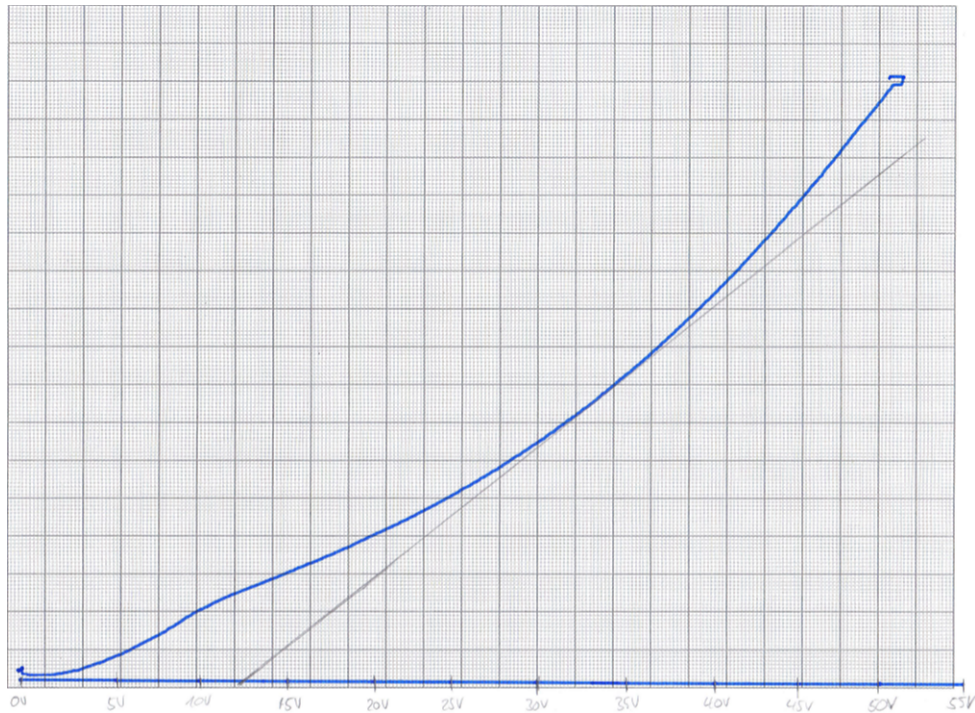
$$K = (2,3 \pm 0,6) \text{ V.} \quad (4)$$

## 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 tangentielle Gerade an die aufgenommenen Kurve, in Abbildung 5 gelegt.



**Abbildung 5:** 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 5 bestimmten Wert  $U_0 = (12,5 \pm 0,2) \text{ V}$  errechnet sich, unter Verwendung des Mittelwerts

$$\langle K \rangle = (2,0 \pm 0,6) \text{ V} \quad (5)$$

aus (1) und (4), die Ionisierungsspannung zu

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

## 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 andres 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 (2), 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 (5) 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).