

V500

Der Photoeffekt

Samuel Haefs

samuel.haefs@tu-dortmund.de

Max Koch

max.koch@tu-dortmund.de

Durchführung: 09.06.2020

Abgabe: 30.06.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	4
3.1	Aufbau	4
3.2	Photozelle	4
3.3	experimenteller Ablauf	4
4	Auswertung	5
5	Diskussion	12
	Literatur	12

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll untersucht werden wie die Wellenlänge von monochromatischem Licht das Herauslösen von Elektronen aus einem Metall beeinflusst. Dafür wird die Grenzspannung gemessen, welche den Photoelektrischen Effekt von Licht verschiedener Wellenlänge, unterdrückt.

2 Theorie

Licht hat sowohl Teilchen als auch Welleneigenschaften. Da diese beiden Eigenschaften grundlegend verschieden sind, können sie nicht durch klassische Modelle beschrieben werden. Nur durch die Quantenmechanik gibt eine Theorie die Licht ohne experimentelle Widersprüche beschreiben kann. Allerdings gibt es für die beiden Eigenschaften des Lichts auch klassische Modelle. Da dieser Versuch vor allem von der Wechselwirkung von Licht mit Materie handelt, ist das Korpuskelmodell in diesem Fall die bessere Näherung. Die Wechselwirkung zwischen Licht und Materie entspricht beim Photoeffekt, dem Herauslösen von Elektronen aus einem vom Licht bestrahltem Metall. Dieses Licht hat nach dem Korpuskel-Modell die Form von Photonen oder Lichtquanten. Dabei besteht monochromatisches Licht einer Frequenz ν aus Photonen der Energie $h\nu$ welche sich gradlinig mit der Lichtgeschwindigkeit c fortbewegen. h entspricht hierbei dem Planckschen Wirkungsquantum. Außerdem überträgt ein Photon seine Energie momentan auf ein Elektron. Die an das im Metall befindliche Elektron, abgegebene Energie teilt sich dabei in die Austrittsarbeit A_k und die kinetische Energie E_{kin} auf. Die Austrittsarbeit ist die Energie, die aufzubringen ist um das Elektron aus dem Metall zu lösen. Es gilt also

$$h\nu = E_{\text{kin}} + A_k. \quad (1)$$

Wenn also die Energie des Photons kleiner ist als die Austrittsarbeit, so wird das Elektron nicht aus dem Metall gelöst.

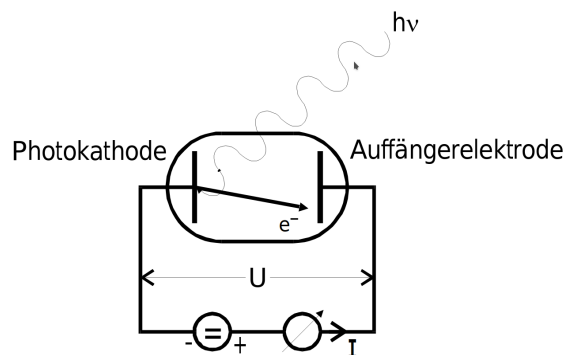


Abbildung 1: Der prinzipielle Aufbau für die Untersuchung des Photoeffekts. Grafik entnommen aus Versuchsanleitung [1].

Ein prinzipieller Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen. Es ist zu erkennen, dass auf einer

der Platten das Licht der Energie νh trifft. Zwischen den Platten wird eine Spannung angelegt, diese ist frei regulierbar. Wenn nun eine Spannung angelegt wird, die gerade so groß ist, dass die Elektronen aus dem Metall gelöst werden, aber nicht die andere Platte erreichen, kann durch

$$eU = \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (2)$$

die Energie der Elektronen berechnet werden. U entspricht dabei der angelegten Spannung, e der elementar Ladung, m der Masse des Elektrons und v der Geschwindigkeit, der schnellsten Elektronen. Es ist allerdings schwierig diese Grenzspannung zuverlässig zu bestimmen, da nicht alle Elektronen die selbe Energie besitzen. Die Energie der Elektronen entspricht viel mehr einer Verteilung von 0 bis $\frac{1}{2}mv^2$, da die Elektronen bereits im Festkörper eine Energie besitzen. Daher wird zur Berechnung der Grenzspannung U_G , die Wurzel des Stroms \sqrt{I} zwischen den beiden Platten gegen die angelegte Spannung U aufgetragen. Da teilweise mit recht Energie armen Licht gearbeitet wird, wird bei diesem eine Beschleunigungsspannung anstatt einer Bremsspannung genutzt.

3 Durchführung

3.1 Aufbau

Zur Untersuchung der Photoeffekts wird zunächst eine Photonenquelle benötigt. Die Photonenquelle, welche für den Versuch genutzt wird ist eine Quecksilberdampflampe. Das Licht der Lampe trifft zunächst auf eine Kondensorlinse, danach auf eine Spaltblende und darauf auf eine Abbildungslinse. Durch die Kondensorlinse wird das Licht zunächst gebündelt und die Abbildungslinse entwirft ein Bild der Spaltblende. Danach trifft das Licht auf einen Geradsichtsprisma wodurch die Spektrallinien des Licht räumlich getrennt werden. Diese Trennung wird gebraucht, da nur Licht einer bestimmten Spektrallinie in die Photoelektrode treffen soll.

3.2 Photozelle

Die Photozelle wird von einem Schutzgehäuse umgeben, welches nur einen kleinen Einlassspalt aufweist. In dem Gehäuse befindet sich eine evakuiertes Glaskörper, der zwei Elektroden enthält. Die Photokathode besteht aus einer aufgedampften Metall- oder Legierungsschicht. Auf diese trifft das Licht, welches durch den Spalt fällt. Die Anode bildet ein kreisförmiger Draht, dieser verläuft in einigen Millimeter Abstand parallel zur Kathode. Zwischen Kathode und Anode kann eine Spannung angelegt werden.

3.3 experimenteller Ablauf

Zunächst muss die Hg-Lampe eingeschaltet werden. Es dauert einige Zeit bis das Licht die gewünschte Intensität erreicht. Nachdem die Intensität der Lampe ausreichend ist, werden die Spektrallinien der Lampe sichtbar. Da es leichter ist die Spektrallinie zu finden, die eine starke Intensität aufweisen, werden in dem Versuch nur solche gemessen.

Die Spektrallinie mit entsprechender Intensität und höchster Wellenlänge ist gelb mit $\lambda_{gelb} = 577,579\text{nm}$. Die Photozelle wird so ausgerichtet, das nur das gelbe Licht in den Spalt trifft. Nun wird die Spannung zwischen Photokathode und Anode auf den Wert gebracht, bei dem gerade kein Strom zwischen diesen messbar ist. Diese Spannung wird notiert und die Spannung wird um 2V erhöht. Nun ist ein Strom messbar, die Stärke der Stroms wird nun in Abhängigkeit zur Spannung notiert. Die Spannung wird wieder um 2V erhöht und die beiden Werte werden aufgenommen, dieser Prozess wird bis zu einer Spannung von 20V wiederholt.

Nachdem die gewünschten Messwerte der gelben Spektrallinie aufgenommen wurden, wird die Photozelle erneut ausgerichtet. Die zu messende Wellenlänge des Spektrums entspricht nun dem grünen Licht mit $\lambda_{grn} = 546\text{nm}$. Bei dieser Messung wird genauso wie bei der Messung des gelben Spektrums vorgegangen. Zuletzt wird die Photozelle auf das violette Licht $\lambda_{viol} = 434\text{nm}$ ausgerichtet. Auch bei dieser Messung wird genauso vorgegangen wie zuvor bei dem gelben und grünen Licht.

4 Auswertung

In Tab. 1 befindet sich die gemessene Photospannung bei varrierter Beschleunigungsspannung (bzw. Bremsspannung) für die Farbspektren Gelb, Grün und Violett.

U_{gelb} / V	I_{gelb} / nA	$U_{grün} / \text{V}$	$I_{grün} / \text{nA}$	$U_{violett} / \text{V}$	$I_{violett} / \text{nA}$
-0,5	0,0	-0,53	0	-1	0
1,5	14,0	1,5	27	0	22
2,5	19,5	3,5	51	2	62
4,5	26,0	5,5	64	4	110
6,5	31,0	7,5	73	6	140
8,5	35,0	9,5	80	8	160
10,5	38,0	11,5	87	10	180
12,5	40,0	13,5	92	12	200
14,5	42,0	15,5	96	14	210
16,5	44,0	17,5	100	16	225
18,5	44,5	19,5	100	18	240
20,0	46,0	0	0	20	245

Tabelle 1: Der gemessene Photostrom I in Abhängigkeit der Spannung U für drei verschiedene Farbspektren (gelb, grün, violett).

Mithilfe einer linearen Ausgleichsrechnung der Form

$$\sqrt{I} = a \cdot U + b \quad (3)$$

kann die Grenzspannung

$$U_g = -\frac{b}{a} \quad (4)$$

bestimmt werden:

$$\begin{aligned}\text{Gelb:} \quad a &= (7,2 \pm 1,6) \cdot 10^{-6} \frac{\sqrt{A}}{V} \\ b &= (9,9 \pm 1,9) \cdot 10^{-5} \sqrt{A} \\ U_g &= (-14 \pm 4) \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Grün:} \quad a &= (1,17 \pm 0,27) \cdot 10^{-5} \frac{\sqrt{A}}{V} \\ b &= (13,8 \pm 3,1) \cdot 10^{-5} \sqrt{A} \\ U_g &= (-12 \pm 4) \text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Violett:} \quad a &= (1,93 \pm 0,31) \cdot 10^{-5} \frac{\sqrt{A}}{V} \\ b &= (18 \pm 4) \cdot 10^{-5} \sqrt{A} \\ U_g &= (-9,5 \pm 2,4) \text{ V}\end{aligned}$$

In den Abb. 2, 3, 4 ist die Wurzel des gemessenen Photostroms \sqrt{I} gegen die angelegte Spannung U aufgetragen. Eine positive Spannung U entspricht einer Beschleunigungsspannung. Zudem ist die Ausgleichsgerade (3) eingezeichnet.

Als nächstes wird der Zusammenhang der Grenzspannungen U_g der einzelnen Farbspektren und die Frequenz $\nu = \frac{c}{\lambda}$ untersucht. Die Frequenz der einzelnen Farbspektren [1, S. 9] entnommen. Konstanten wie die Lichtgeschwindigkeit c und das planksche Wirkungsquantum h werden der Literatur [2] entnommen. In Tab. 2 befinden sich die durch die Ausgleichsrechnung bestimmten Grenzspannungen. Eine lineare Ausgleichsrechnung

Farbspektrum	λ / nm	ν / THz	U_g / V
Gelb	577	519.57	-14 ± 4
Grün	546	549.07	-12 ± 4
Violett	434	690.77	$-9,5 \pm 2,4$

Tabelle 2: Grenzspannung U_g verschiedener Farbspektren mit Wellenlänge λ und Frequenz ν aufgelistet.

$$U_g = \nu \cdot \frac{h}{e_0} - \frac{A_k}{e_0}$$

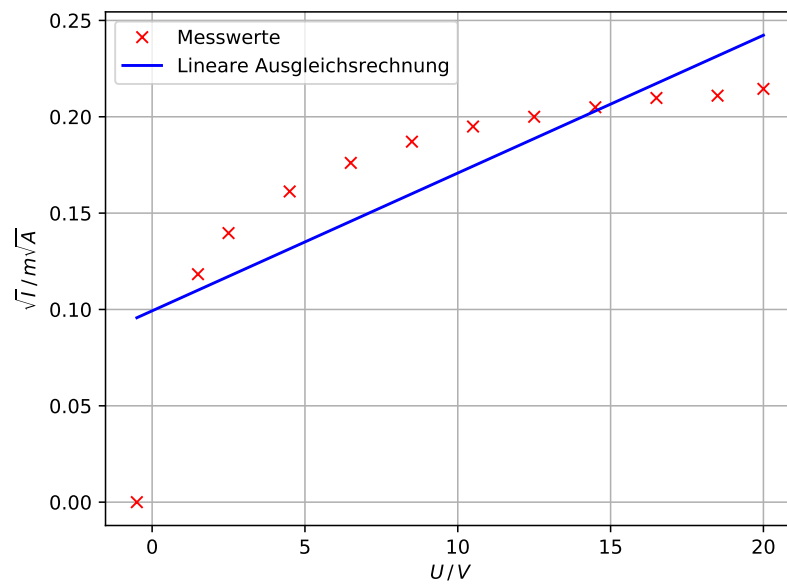


Abbildung 2: Wurzel des Photostroms \sqrt{I} in Abhängigkeit der Brems- bzw. Beschleunigungsspannung und eine Ausgleichsgerade für das gelbe Farbspektrum graphisch dargestellt. [3][4][6]

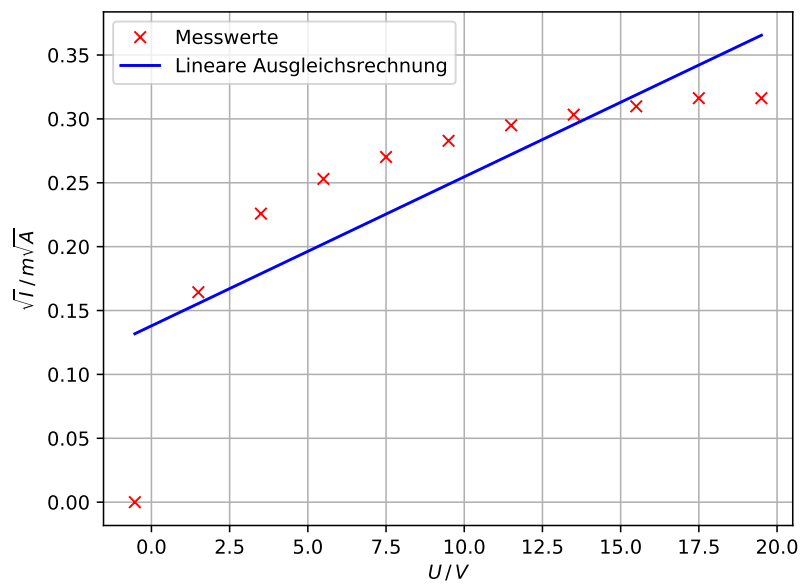


Abbildung 3: Wurzel des Photostroms \sqrt{I} in Abhängigkeit der Brems- bzw. Beschleunigungsspannung und eine Ausgleichsgerade für das grüne Farbspektrum graphisch dargestellt. [3][4][6]

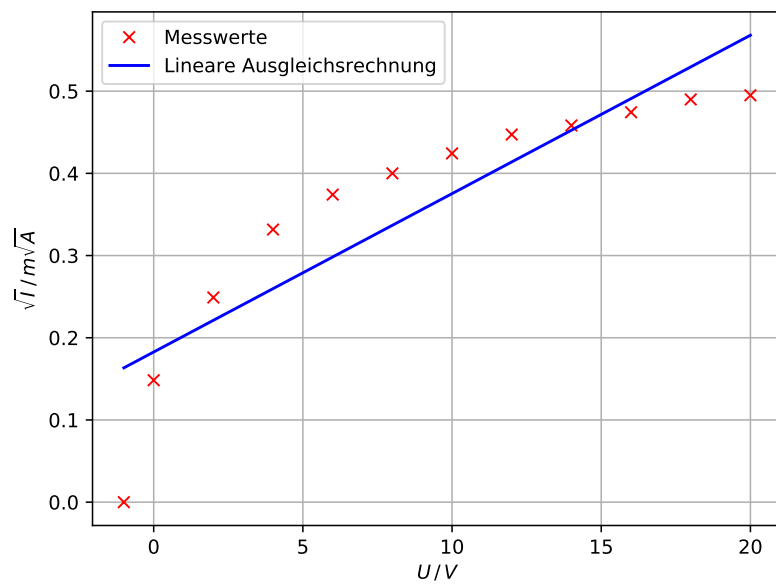


Abbildung 4: Wurzel des Photostroms \sqrt{I} in Abhängigkeit der Brems- bzw. Beschleunigungsspannung und eine Ausgleichsgerade für das violette Farbspektrum graphisch dargestellt. [3][4][6]

ergibt folgende Parameter:

$$\frac{h}{e_0} = (2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{-14} \frac{\text{J}}{\text{A}}$$

$$A_k = (25,4 \pm 3,5) \text{ eV}$$

Die lineare Ausgleichsrechnung und die zugehörigen Messwerte sind in Abb. 5 graphisch dargestellt.

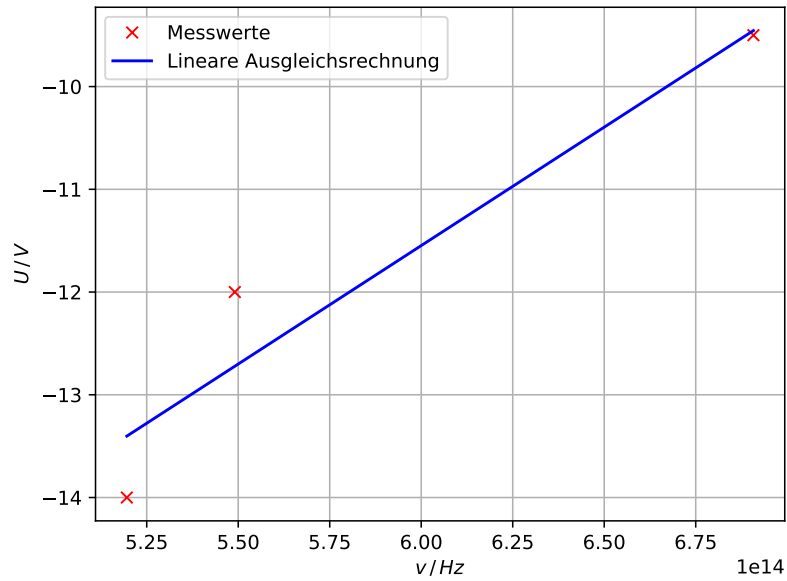


Abbildung 5: Messwerte und eine lineare Ausgleichsgerade der Messwerte graphisch dargestellt. [3][4][6][5]

Der erste Messwert U jedes Farbspektrums entspricht der experimentell bestimmten Grenzspannung $U_{g,2}$. Die Spannung wird zuerst so variiert, dass kein Photostrom gemessen wird (1. Messwert) und dann in konstanten Schritten erhöht. Eine lineare Ausgleichsrechnung mit $U_{g,2} = 1.$ Messwert (siehe Tab. 3) ergibt folgende Parameter:

$$\frac{h}{e_0} = (-3,05 \pm 0,33) \cdot 10^{-15} \frac{\text{J}}{\text{A}}$$

$$A_k = (1,11 \pm 0,20) \text{ eV}$$

Die lineare Ausgleichsrechnung ist in Abb. 6 zu sehen. Der Literaturwert [2] liegt bei

$$\frac{h}{e_0} = -4,14 \cdot 10^{-15} \frac{\text{J}}{\text{A}}.$$

Farbspektrum	λ / nm	ν / THz	$U_{g,2} / \text{V}$
Gelb	577	519.57	-0.50
Grün	546	549.07	-0.53
Violett	434	690.77	-1.00

Tabelle 3: Grenzspannung $U_{g,2}$ verschiedener Farbspektren mit Wellenlänge λ und Frequenz ν aufgelistet.

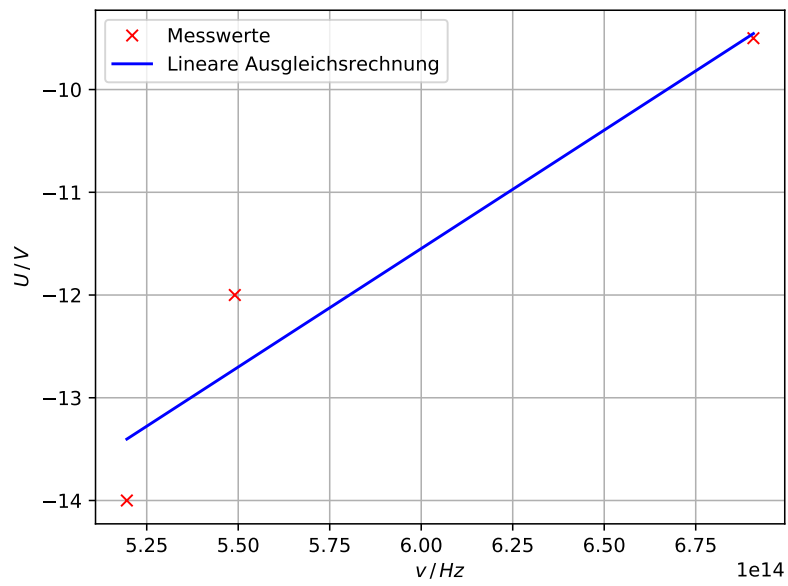


Abbildung 6: Messwerte und eine lineare Ausgleichsgerade der Messwerte graphisch dargestellt. [3][4][6][5]

5 Diskussion

Auffällig ist, dass zwischen der Wurzel des gemessenen Photostroms \sqrt{I} und der angelegten Spannung U für alle Farbspektren kein linearer Zusammenhang besteht (siehe Abb. 2, 3, 4). Grund ist ein zu großes Messintervall und damit eine zu hohe Beschleunigungsspannung.

Der gemessene Photostrom nähert sich bei wachsender Spannung einem Grenzwert an und stellt somit keinen linearen Zusammenhang dar.

Allgemein ist der Versuch stark Fehleranfällig und die Messwerte können durch kleinste äußere Lichteinflüsse (Öffnen der Tür, Verschieben der Lampe) beeinflusst werden. Zudem können sich die Linsen und dadurch die Spektrallinien durch Erschütterungen des Tisches verschieben.

In Tab. 4 werden die experimentell bestimmten Verhältnisse $\frac{h}{e_0}$ mit dem Theoriewert [2] verglichen.

Messung	$\frac{h}{e_0} / \frac{\text{J}}{\text{Å}}$	Abw. / %
Theoriewert	$-4,14 \cdot 10^{-15}$	-
Ausgleichsrechnung	$(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^{-14}$	660
1. Messwert	$(-3,05 \pm 0,33) \cdot 10^{-15}$	26

Tabelle 4: Das zu bestimmende Verhältnis $\frac{h}{e_0}$ im Vergleich zum Literaturwert [2].

Das Verhältnis, welches über die lineare Ausgleichsrechnung bestimmt wird, hat eine hohe Abweichung zum Theoriewert. Die Grenzspannungen U_g , die direkt gemessen wurden (1. Messwert) können zur Bestimmung des Verhältnissen $\frac{h}{e_0}$ verwendet werden. Die Abweichung zum Literaturwert liegt bei 26 %.

Um geeignete Messwerte zu erhalten, muss bei einer niedrigen Brems- bzw. Beschleunigungsspannung der Photostrom gemessen werden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *V500 - Der Photoeffekt*. 2014.
- [2] *Fundamentale Physikalische Konstanten - Gesamtliste*. URL: <http://www.uni-due.de>.
- [3] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [4] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [5] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.

- [6] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.