

V500

Der Photoeffekt

Julian Hochhaus
julian.hochhaus@tu-dortmund.de

Niko Salewski
niko.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 02.05.2017

Abgabe: 09.05.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	5
3.1 Theoretischer Aufbau der Messapparatur	5
3.2 Versuchsbeschreibung	6
4 Auswertung	7
4.1 Bestimmung der Grenzspannung U_G	7
4.2 Bestimmung des Verhältnis $\frac{h}{e_0}$ und der Austrittsarbeit A_K	18
4.3 Diskussion des Photostroms in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung beim gelben Licht	19
5 Diskussion	21
Literatur	21

1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen die verschiedenen Phänomene untersucht werden, die bei dem Austreten von Elektronen aus einer Metalloberfläche durch Licht zu beobachten sind.

2 Theorie

Der Photoeffekt ist ein Phänomen, das den Teilchencharakter von Lichtwellen aufzeigt. Dieses Phänomen ist zu beobachten, wenn eine Metalloberfläche mit Licht bestrahlt wird. Durch die Wechselwirkung mit den Elektronen auf der Metalloberfläche übertragen Photonen – quantisierte Teilchen – ihre Energie E_{Photon} an diese. Dies führt zu einem Austritt der Elektronen, wenn die Elektronen eine genügend große Energie besitzen, um die Austrittsarbeit A_k zu verrichten, die nötig ist, um die Bindungskräfte zu überwinden.

Die experimentellen Beobachtungen des Photoeffekts liefern drei grundlegende Ergebnisse. Zum Einen ist die Auslösefrequenz der Elektronen proportional zur Lichtintensität. Des Weiteren ist die Energie der ausgelösten Elektronen proportional zur Frequenz des Lichtes und nicht abhängig von der Lichtintensität. Und außerdem gibt es eine Lichtfrequenz, ab der – aufgrund der zu geringen Energie – kein Photoeffekt auftritt.

Diese Ergebnisse lassen sich nicht mit einem Wellenmodell erklären, bei dem die Elektronen durch das elektrische Feld der elektromagnetischen Wellen zu Schwingungen angeregt werden. Dann müsste die Anzahl der ausgelösten Elektronen von der Intensität des Lichtes abhängen und es müssten Resonanzeffekte auftreten.

Da dies nicht der Fall ist, lässt sich der Photoeffekt nur durch den Teilchencharakter des Lichtes erklären, also durch die sogenannten Lichtquanten oder Photonen. Die drei grundlegenden Ergebnisse haben drei experimentell belegte Gründe, die auf dem Teilchencharakter des Lichtes basieren.

Zum Einen besitzen Photonen – bei monochromatischem Licht – die Energie

$$E_{\text{Photon}} = h\nu, \tag{1}$$

wobei h dem Planck'schen Wirkungsquantum und ν der Frequenz des Lichtes entspricht. Des Weiteren ergibt sich die Energiebilanz zu

$$h\nu = E_{\text{kin}} + A_k, \tag{2}$$

mit der kinetischen Energie E_{kin} eines Elektrons nach dem Austritt aus der Metalloberfläche. Die Existenz einer Grenzfrequenz, ab der kein Photoeffekt mehr auftritt, folgt direkt aus Formel (2) mit

$$h\nu < A_k.$$

Die Energie der ausgelösten Elektronen wird experimentell mit einer Gegenfeldmethode bestimmt. Hierbei müssen die ausgelösten Elektronen auf dem Weg zur Anode, von wo aus sie zu einem Strommessgerät gelangen, ein durch eine variable Spannung U bedingtes Gegenfeld durchqueren. Daraus folgt, dass kein Strom gemessen werden kann, wenn die

kinetische Energie der schnellsten Elektronen der Energie entspricht, die nötig ist, um das Gegenfeld zu durchlaufen, wenn also

$$e_0 U_g = \frac{1}{2} m_0 v_{\max}^2 \quad (3)$$

gilt. Die Spannung U_g , bei der dieser Zusammenhang gegeben ist, heißt Gegenspannung. Des Weiteren entspricht das e_0 der Elementarladung und das m_0 der Ruhemasse des Elektrons. Außerdem stellt v_{\max} die maximale Geschwindigkeit der Elektronen dar. Es ergibt sich also mit Gleichung (2) die Energiebilanz der Elektronen mit der größten Geschwindigkeit zu

$$h\nu = e_0 U_g + A_k. \quad (4)$$

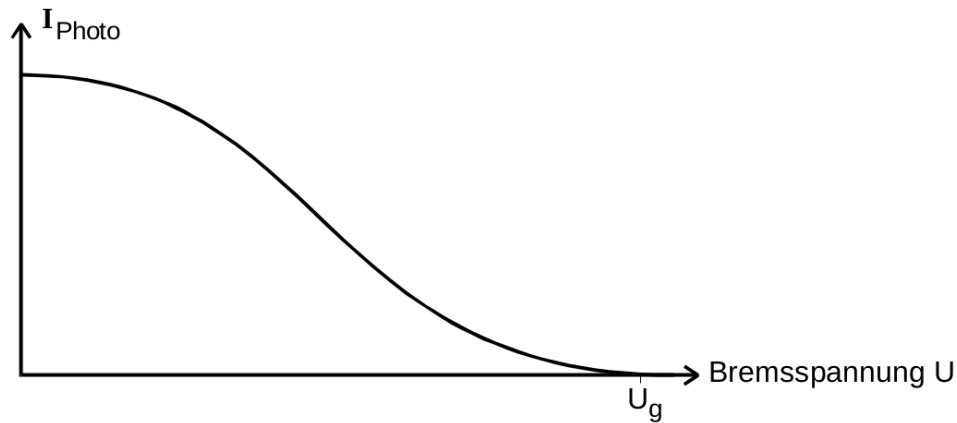


Abbildung 1: Photostrom in Abhängigkeit zur angelegten Bremsspannung für eine mit monochromatischem Licht bestrahlte Photozelle [4].

In der Realität ist allerdings kein instantaner Abfall bei einer Grenzfrequenz U_g gegeben, sondern ein parabolischer Zusammenhang zwischen dem Strom der ausgelösten Elektronen und der variablen Spannung U (vergleiche Abbildung 1), also

$$I_{\text{Ph}} \propto U^2.$$

Dies hat den Grund, dass die Elektronen eine Energieverteilung im Metall besitzen. Diese Energieverteilung wird durch die Fermi-Dirac-Statistik beschrieben, die besagt, dass die Energie der Valenzelektronen von Null bis zur Fermi-Energie (materialabhängig) verteilt ist.

Ist die benötigte Austrittsarbeit A_k zu groß gegen die Wellenlänge des Lichtes, muss ein beschleunigendes Potential angelegt werden, damit die Elektronen das Gegenfeld der Anode überqueren können (vgl. Abbildung 2).

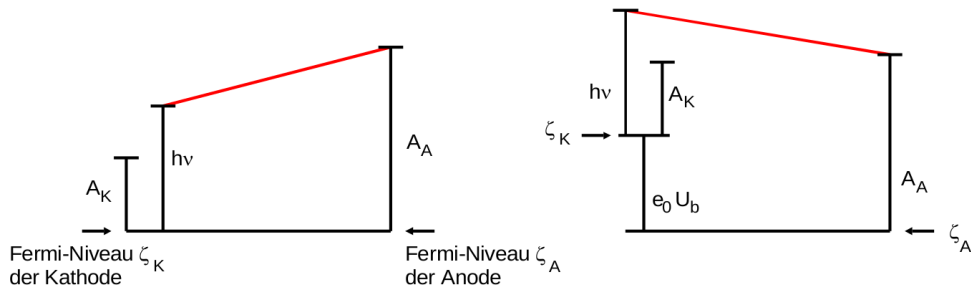
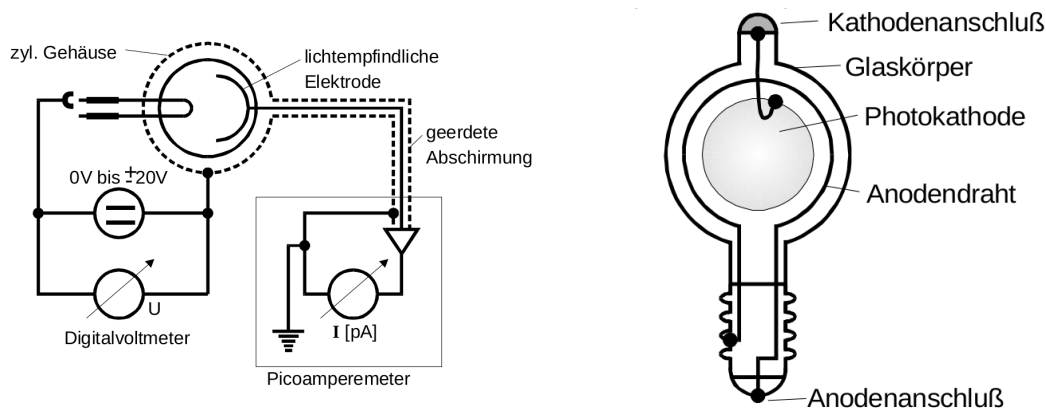


Abbildung 2: Potentialverhältnisse zwischen Kathode und Anode [4].

3 Durchführung

3.1 Theoretischer Aufbau der Messapparatur



(a) Elektrisches Schaltbild der Photozelle [4].

(b) Schematischer Aufbau einer Photozelle [4].

Der prinzipielle Aufbau einer Photozelle ist in Abbildung 3b dargestellt. Diese besteht aus zwei Elektroden in einem evakuierten Glaskolben.

Eine der beiden Elektroden wird hierbei als Photokathode bezeichnet. Sie ist mit einer Metall- oder Legierungsschicht bedampft, welche vom einfallenden Licht bestrahlt werden kann.

Die Anode ist als Draht in einigen Millimetern Abstand zur Photokathode realisiert. In Abbildung 3a ist der elektrische Schaltplan der Messapparatur dargestellt.

Zwischen Kathode und Anode befindet sich ein Digitalvoltmeter, sodass eine variable Spannung U angelegt werden kann, durch die ein elektrisches Feld erzeugt werden kann, welches die Elektronen abbremst.

Mithilfe eines Picoamperemeters kann der zwischen Photokathode und Anode fließende Strom gemessen werden.

In Abbildung 4 ist der Aufbau der Messapparatur dargestellt.

Das Licht der Spektrallampe läuft zunächst durch eine Kondensorlinse. Diese dient dazu, einen möglichst großen Teil des Lichts der Spektrallampe in den Strahlengang der

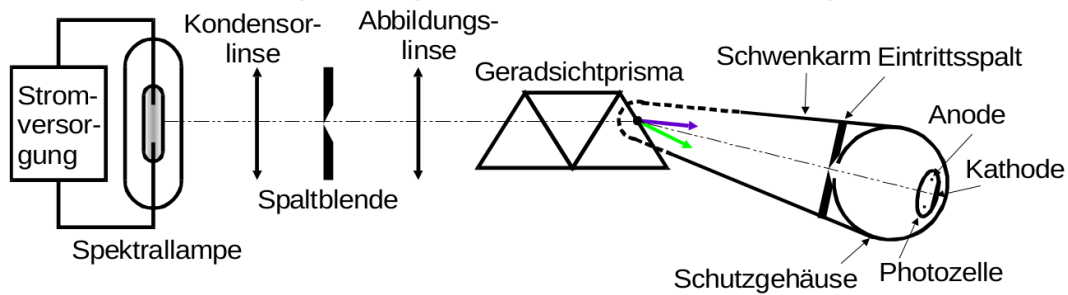


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau der Messapparatur [4].

Versuchssapparatur zu fokussieren.

Daher wird die Kondensatorlinse nahe der Spektrallampe angebracht, sodass ein Bild mit möglichst großer Intensität an der Photolinse erzeugt werden kann.

Der Lichtstrahl läuft anschließend zunächst durch eine Spaltblende und wird anschließend mittels einer Abbildungslinse auf ein Geradsichtprisma geworfen. Das Geradsichtprisma spaltet das einfallende Licht in seine Spektralfarben auf.

Mithilfe eines Schwenkarms kann die Photozelle so positioniert werden, dass jeweils nur monochromatisches Licht, also nur das Bild in einer der Spektralfarben durch den Eintrittsspalt auf die Photozelle fallen kann.

3.2 Versuchsbeschreibung

Vor Beginn der Messung muss ein möglichst scharfes Bild am Eintrittsspalt der Photozelle erzeugt werden.

Dazu wird direkt vor dem Eintrittsspalt eine Mattscheibe angebracht und die Positionen der optischen Elemente zueinander so variiert, dass ein scharfes Bild möglichst großer Intensität entsteht.

Mithilfe des Schwenkarms wird die Photozelle so ausgerichtet, dass nur monochromatisches Licht, also einfarbiges Licht mit nur einer Wellenlänge, auf den Eintrittsspalt der Photozelle fällt.

Die anliegende variable Gegenspannung wird schrittweise erhöht, bis kein Photostrom mehr am Pikometer abgelesen wird. Es werden etwa 10-15 Datenpaare aus angelegter Gegenspannung und Photostrom notiert.

Ebenso wird mit allen Spektrallinien verfahren, welche zu Beginn auf der Mattscheibe sichtbar waren.

Für niedrige Photoenergien, also recht langwelliges Licht, kann es nötig sein, ebenso beschleunigte Spannungen anzulegen, um eine genügend große Anzahl an Datenpaaren aus Spannung und Photostrom aufnehmen zu können.

Anschließend wird für die Spektrallinie $\lambda = 578 \text{ nm}$, also gelbes Licht, sowohl mit beschleunigendem als auch bremsenden Potential der Photostrom gemessen. Die angelegte Spannung wird hierfür von $U = 20 \text{ V}$ als beschleunigendes Potential bis zum bremsenden Potential, bei welchem der Photostrom verschwindet, gemessen. Es werden etwa 40

Datenpaare aus anliegendem Potential und dem Photostrom notiert.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Grenzspannung U_G

Zunächst wird die Grenzspannung U_G für die jeweiligen Spektrallinien bestimmt. Dazu wird die Wurzel des gemessenen Stroms I gegen die zugehörige Bremsspannung U_B aufgetragen.

Es wird ein linearer Zusammenhang angenommen, daher wird mittels scipy/python [5] eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Die Ausgleichsgerade ist gegeben durch

$$y = a \cdot x + b. \quad (5)$$

Die Grenzspannung U_G ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Ausgleichsgerade mit der U_B -Achse, also aus dem Verhältnis $U_G = \frac{-b}{a}$.

In den Tabellen 2 bis 7 sind die gemessenen Bremsspannungen U_B sowie die Photoströme I samt der zugehörigen Wurzeln der Photoströme \sqrt{I} aufgetragen.

In den Abbildungen 5 bis 10 wurde jeweils die Wurzel des Photostroms \sqrt{I} gegen die Bremsspannung U_B aufgetragen, sowie, wie zuvor beschrieben, eine Regressionsgrade 5 eingezeichnet.

Die verschieden großen Unsicherheiten ergeben sich hierbei durch die jeweils verwendete Messskala zur Messung des Photostroms.

Der Ablesefehler wurde jeweils auf den halben Abstand zwischen zwei Markierungen der Messskala geschätzt.

Der Ablesefehler wird daher auch in den Abbildungen als verschieden hohe Fehlerbalken berücksichtigt.

Für große Wellenlängen (grüne und gelbe Spektrallinie) mussten zum Teil beschleunigende Potentiale angelegt werden, um eine ausreichende Anzahl an Messwerten aufnehmen zu können. Der lineare Zusammenhang zwischen der Wurzel des Photostroms und der Bremsspannung gilt nicht für große beschleunigende Potentiale.

Für die lineare Regression wurden daher bei der grünen Spektrallinie die ersten drei Datentupel ebenso wenig berücksichtigt, wie für die gelbe Spektrallinie lediglich die letzten zehn Datentupel verwendet wurden.

In Tabelle 1 sind errechneten Geradenparameter der Regressionsgraden sowie die daraus bestimmten Grenzspannungen U_G zu den jeweiligen Spektrallinien eingetragen.

Tabelle 1: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G .

Farbe d. Spektrallinie	$a \cdot 10^{-5} / \frac{\sqrt{A}}{V}$	$b \cdot 10^{-5} / \sqrt{A}$	U_G/V
Violett 1	(-4.76 ± 0.07)	(6.31 ± 0.06)	1.32 ± 0.02
Violett 2	(-5.11 ± 0.05)	(8.61 ± 0.05)	1.69 ± 0.02
Violett 3	(-6.91 ± 0.09)	(7.82 ± 0.06)	1.13 ± 0.02
Blaugrün	(-1.64 ± 0.06)	(1.48 ± 0.03)	0.90 ± 0.04
Grün	(-8.5 ± 0.2)	(4.22 ± 0.05)	0.50 ± 0.01
Gelb	(-6.3 ± 0.2)	(2.23 ± 0.04)	0.35 ± 0.01

Tabelle 2: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der ersten, violetten Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5} / \sqrt{A}$
1.68	0.0	0.0
1.5	0.12 ± 0.01	1.10 ± 0.05
1.4	0.22 ± 0.01	1.48 ± 0.03
1.3	0.38 ± 0.01	1.95 ± 0.03
1.2	0.60 ± 0.01	2.45 ± 0.02
1.1	0.88 ± 0.01	2.97 ± 0.02
1.0	1.1 ± 0.1	3.3 ± 0.2
0.9	1.6 ± 0.1	4.0 ± 0.1
0.8	2.1 ± 0.1	4.6 ± 0.1
0.7	2.6 ± 0.1	5.1 ± 0.1
0.5	3.7 ± 0.1	6.08 ± 0.08
0.3	5.0 ± 0.1	7.07 ± 0.07
0.15	6.0 ± 0.1	7.75 ± 0.06
0.02	7.4 ± 0.1	8.60 ± 0.06

Abbildung 5: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der ersten violetten Spektrallinie.

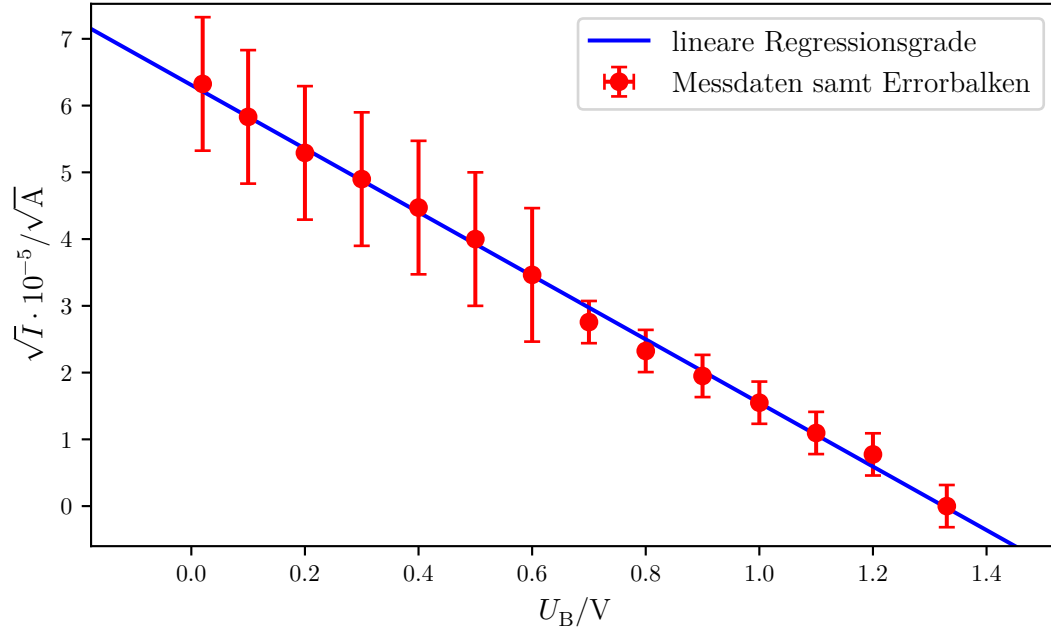


Tabelle 3: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der zweiten violetten Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5}/\sqrt{A}$
1.33	0.0	0.0
1.2	0.06 ± 0.01	0.77 ± 0.06
1.1	0.12 ± 0.01	1.10 ± 0.05
1.0	0.24 ± 0.01	1.55 ± 0.03
0.9	0.38 ± 0.01	1.95 ± 0.03
0.8	0.54 ± 0.01	2.32 ± 0.02
0.7	0.76 ± 0.01	2.76 ± 0.02
0.6	1.2 ± 0.1	3.5 ± 0.1
0.5	1.6 ± 0.1	4.0 ± 0.1
0.4	2.0 ± 0.1	4.5 ± 0.1
0.3	2.4 ± 0.1	4.9 ± 0.1
0.2	2.8 ± 0.1	5.29 ± 0.09
0.1	3.4 ± 0.1	5.83 ± 0.09
0.02	4.0 ± 0.1	6.32 ± 0.08

Abbildung 6: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der zweiten violetten Spektrallinie.

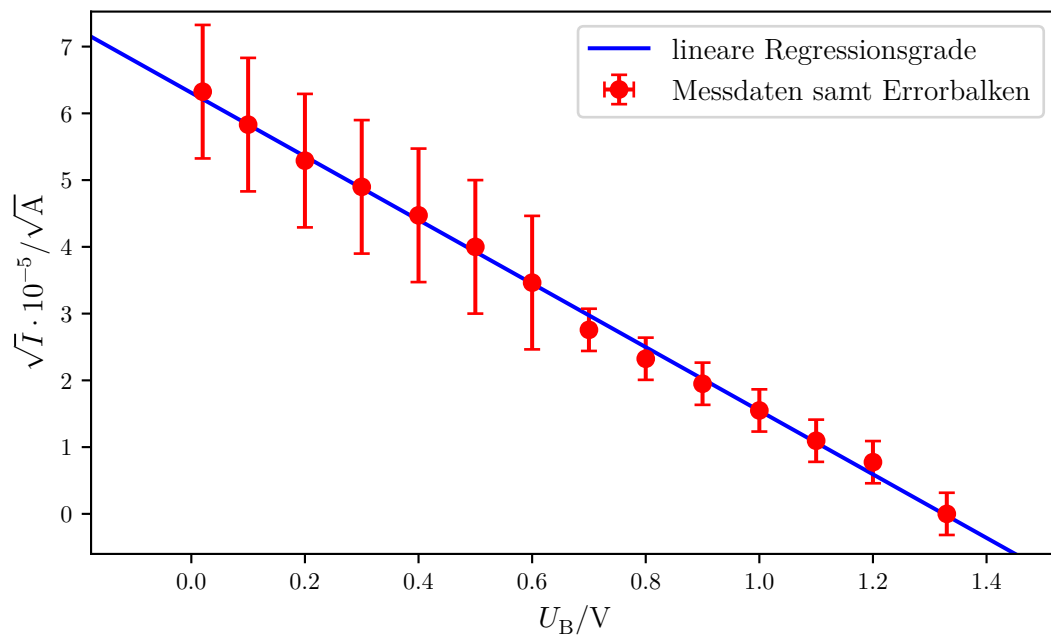


Tabelle 4: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der dritten violetten Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5}/\sqrt{A}$
1.12	0.0	0.0
1.1	0.02 ± 0.01	0.5 ± 0.1
1.0	0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
0.9	0.24 ± 0.01	1.55 ± 0.03
0.8	0.46 ± 0.01	2.15 ± 0.02
0.7	0.86 ± 0.01	2.93 ± 0.02
0.6	1.2 ± 0.1	3.5 ± 0.1
0.5	2.0 ± 0.1	4.5 ± 0.1
0.4	2.6 ± 0.1	5.1 ± 0.1
0.35	3.0 ± 0.1	5.48 ± 0.09
0.3	3.4 ± 0.1	5.83 ± 0.09
0.2	4.2 ± 0.1	6.48 ± 0.08
0.1	5.0 ± 0.1	7.07 ± 0.07
0.02	5.9 ± 0.1	7.68 ± 0.07

Abbildung 7: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der dritten violetten Spektrallinie.

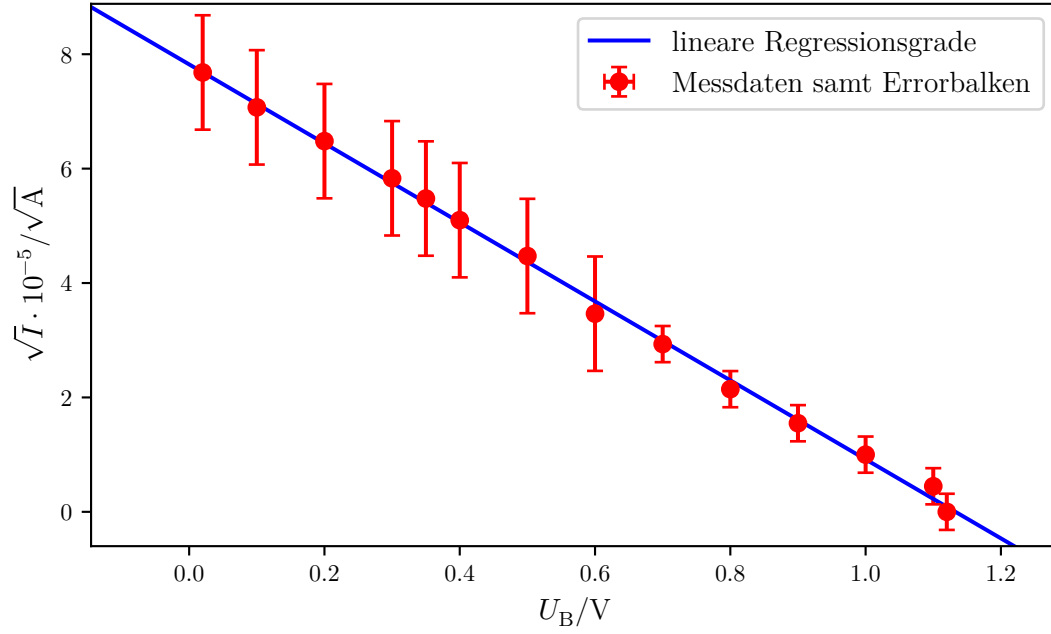


Tabelle 5: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der vierten blaugrünen Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5}/\sqrt{A}$
0.9	0.0	0.0
0.8	0.01 ± 0.01	0.3 ± 0.2
0.7	0.01 ± 0.01	0.3 ± 0.2
0.6	0.02 ± 0.01	0.5 ± 0.1
0.55	0.03 ± 0.01	0.55 ± 0.09
0.5	0.04 ± 0.01	0.63 ± 0.08
0.45	0.05 ± 0.01	0.71 ± 0.07
0.4	0.06 ± 0.01	0.77 ± 0.06
0.35	0.08 ± 0.01	0.89 ± 0.06
0.3	0.10 ± 0.01	1.00 ± 0.05
0.25	0.12 ± 0.01	1.10 ± 0.05
0.2	0.14 ± 0.01	1.18 ± 0.04
0.1	0.18 ± 0.01	1.34 ± 0.04
0.02	0.22 ± 0.01	1.48 ± 0.03

Abbildung 8: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der blaugrünen Spektrallinie.

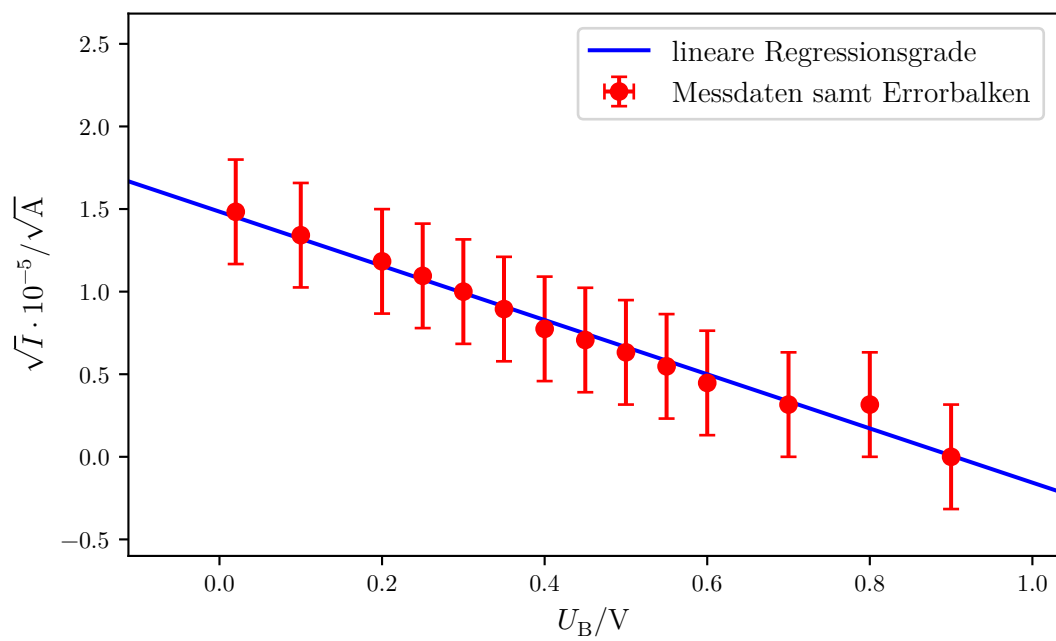


Tabelle 6: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der fünften, grünen Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5}/\sqrt{A}$
-0.6	6.6 ± 0.1	8.12 ± 0.06
-0.5	5.8 ± 0.1	7.62 ± 0.07
-0.4	5.5 ± 0.1	7.42 ± 0.07
-0.3	4.6 ± 0.1	6.78 ± 0.07
-0.2	3.6 ± 0.1	6.00 ± 0.08
-0.1	2.8 ± 0.1	5.29 ± 0.09
0.02	1.5 ± 0.1	3.9 ± 0.1
0.1	1.00 ± 0.01	3.16 ± 0.02
0.2	0.62 ± 0.01	2.49 ± 0.02
0.3	0.24 ± 0.01	1.55 ± 0.03
0.35	0.14 ± 0.01	1.18 ± 0.04
0.4	0.07 ± 0.01	0.84 ± 0.06
0.45	0.04 ± 0.01	0.63 ± 0.08
0.5	0.0	0.0

Abbildung 9: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der grünen Spektrallinie.

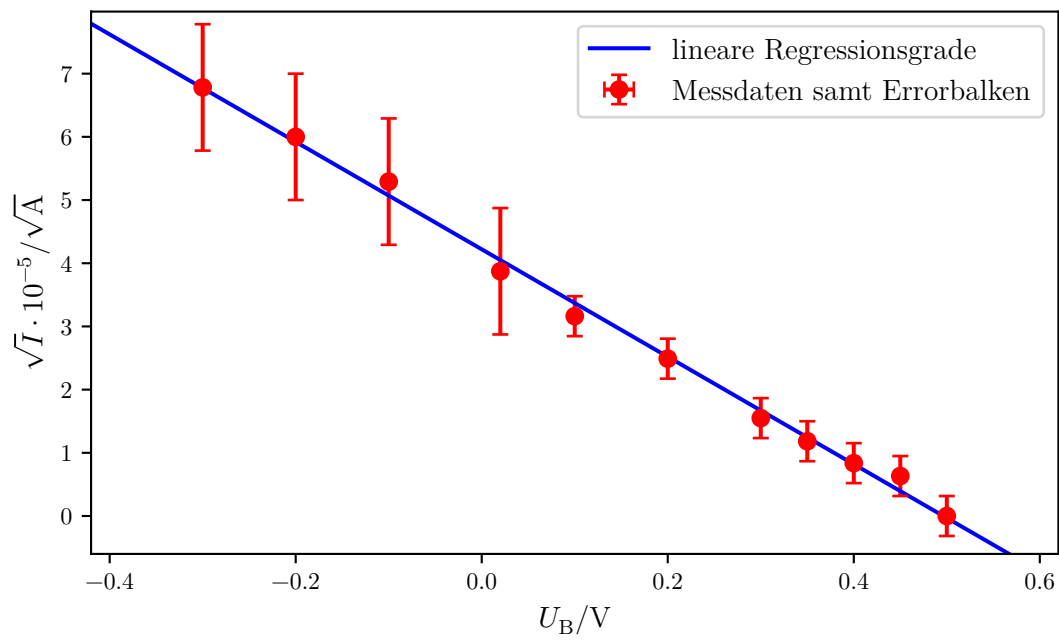
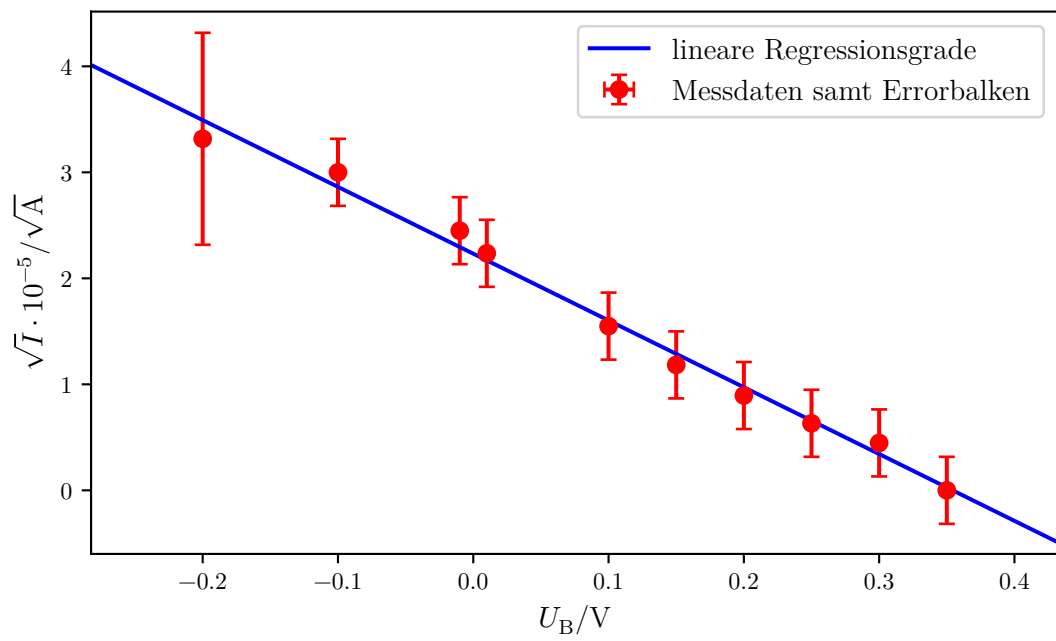


Tabelle 7: Messdaten zur Bestimmung der Grenzspannung U_G bei der sechsten, gelben Spektrallinie.

U/V	$I \cdot 10^{-9}/A$	$\sqrt{I} \cdot 10^{-5}/\sqrt{A}$
-19.0	15.0 ± 0.1	12.25 ± 0.04
-17.5	14.0 ± 0.1	11.83 ± 0.04
-16.0	14.0 ± 0.1	11.83 ± 0.04
-14.5	14.0 ± 0.1	11.83 ± 0.04
-13.0	14.0 ± 0.1	11.83 ± 0.04
-11.5	13.0 ± 0.1	11.40 ± 0.04
-10.0	12.0 ± 0.1	10.95 ± 0.05
-9.0	12.0 ± 0.1	10.95 ± 0.05
-8.0	12.0 ± 0.1	10.95 ± 0.05
-7.0	11.0 ± 0.1	10.49 ± 0.05
-6.0	10.0 ± 0.1	10.00 ± 0.05
-5.0	9.0 ± 0.1	9.49 ± 0.05
-4.0	8.4 ± 0.1	9.17 ± 0.05
-3.0	6.9 ± 0.1	8.31 ± 0.06
-2.5	6.0 ± 0.1	7.75 ± 0.06
-2.0	5.1 ± 0.1	7.14 ± 0.07
-1.8	5.0 ± 0.1	7.07 ± 0.07
-1.6	4.8 ± 0.1	6.93 ± 0.07
-1.4	4.2 ± 0.1	6.48 ± 0.08
-1.2	3.8 ± 0.1	6.16 ± 0.08
-1.1	3.5 ± 0.1	5.92 ± 0.08
-1.0	3.2 ± 0.1	5.66 ± 0.09
-0.9	3.1 ± 0.1	5.57 ± 0.09
-0.8	2.9 ± 0.1	5.39 ± 0.09
-0.7	2.7 ± 0.1	5.2 ± 0.1
-0.6	2.4 ± 0.1	4.9 ± 0.1
-0.5	2.0 ± 0.1	4.5 ± 0.1
-0.4	1.8 ± 0.1	4.2 ± 0.1
-0.3	1.4 ± 0.1	3.7 ± 0.1
-0.2	1.1 ± 0.1	3.3 ± 0.2
-0.1	0.90 ± 0.01	3.00 ± 0.02
-0.01	0.60 ± 0.01	2.45 ± 0.02
0.01	0.50 ± 0.01	2.24 ± 0.02
0.1	0.24 ± 0.01	1.55 ± 0.03
0.15	0.14 ± 0.01	1.18 ± 0.04
0.2	0.08 ± 0.01	0.89 ± 0.06
0.25	0.04 ± 0.01	0.63 ± 0.08
0.3	0.02 ± 0.01	0.4 ± 0.1
0.35	0.0	0.0

Abbildung 10: Datenpaare aus \sqrt{I} und U_B samt linearer Regression zur Bestimmung Grenzspannung U_G der gelben Spektrallinie.



4.2 Bestimmung des Verhältniss $\frac{h}{e_0}$ und der Austrittsarbeit A_K

Nach Gleichung (4) besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Grenzspannung und der Frequenz ν der zugehörigen Spektralfarbe. Zwischen der Wellenlänge λ und der Frequenz ν besteht der Zusammenhang

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Hierbei ist c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum nach [3].

In Tabelle 8 sind hierzu die Wellenlängen λ nach [4] der Spektrallinien, die zugehörigen Frequenzen ν sowie die zuvor berechneten Grenzspannungen U_G eingetragen.

Aus Gleichung (4) ergibt sich durch Umformung

$$U_G = \frac{h}{e_0} \cdot \nu - A_K.$$

Hierbei ist A_K die Austrittsarbeit in eV. In Abbildung 11 ist daher die Grenzspannung U_G gegen die Frequenz ν der Spektrallinien aufgetragen.

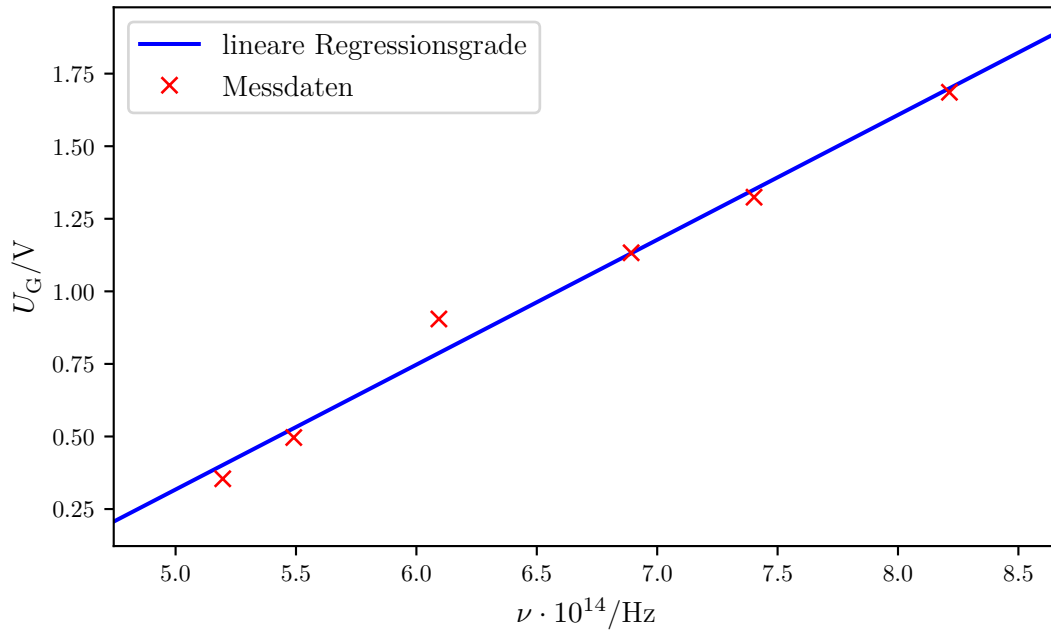
Aus den Parametern der mit scipy/python [5] ermittelten Regressionsgraden ergibt sich:

$$a = \frac{h}{e_0} = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-15} \text{ eV}$$
$$b = A_K = (1,8 \pm 0,2) \text{ eV}$$

Tabelle 8: Messdaten zur Bestimmung des Verhältniss $\frac{h}{e_0}$ und der Austrittsarbeit A_K .

$\lambda \cdot 10^{-9}/\text{m}$	$\nu \cdot 10^{12}/\text{Hz}$	U_G/V
365	821.3	1.69
405	740.2	1.32
435	689.2	1.13
492	609.3	0.90
546	549.1	0.50
577	519.5	0.35

Abbildung 11: Grenzspannung U_G aufgetragen gegen die Frequenz ν der vermessenen Spektralfarben samt Regressionsgrade.



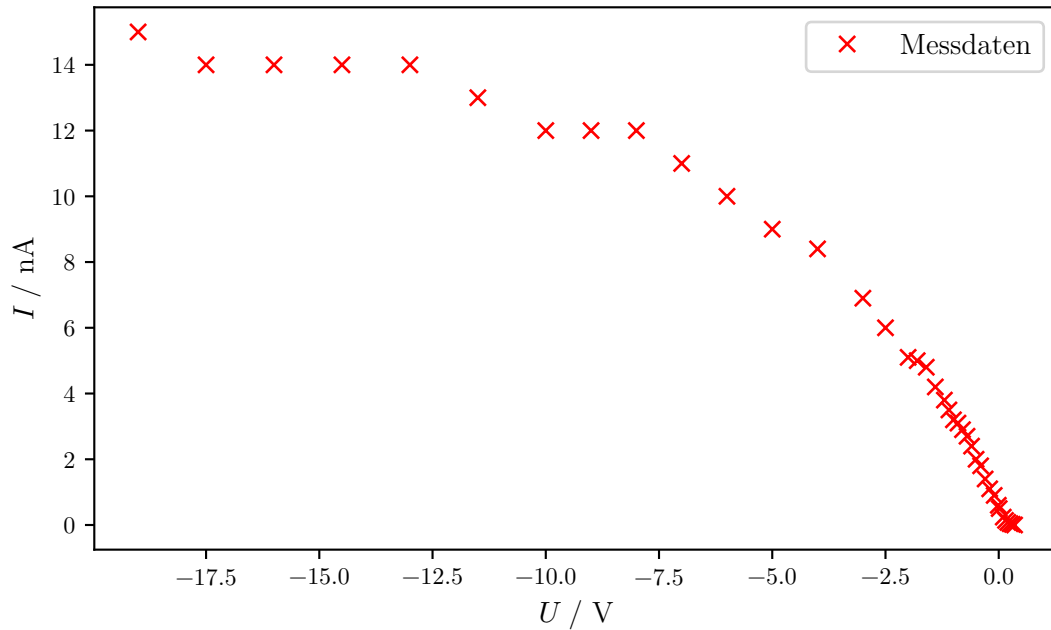
4.3 Diskussion des Photostroms in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung beim gelben Licht

Die Messdaten für die Messung mit gelbem Licht sind in Tabelle 7 zu finden. Diese sind in Abbildung 12 dargestellt, wobei der Photostrom I gegen die anliegende Spannung U aufgetragen ist. Erwähnenswert ist, dass die negativen Spannungen U einer beschleunigenden Spannung entsprechen. Insgesamt lässt sich erkennen, dass der Photostrom bei steigender Spannung U monoton fällt. Für hohe beschleunigende Spannungen – im Bereich von -20 V bis -10 V – lässt sich eine Annäherung an einen Sättigungswert beobachten. Auf den ersten Blick scheint dieser Zusammenhang wie ein Widerspruch zum Ohm'schen Gesetz

$$I = \frac{U}{R},$$

nach dem ein wachsender Strom bei wachsender Spannung gegeben sein müsste. Allerdings kommt diese obere Schranke zustande, da nach Formel (4) ab einer bestimmten Spannung U die Energie aller ausgelösten Elektronen ausreicht, um die Anode zu erreichen. Die obere Schranke des Photostroms ist also gegeben durch die Anzahl der ausgelösten Elektronen, die durch die Intensität des Lichts festgelegt wird. Die Intensität des Lichts wird allerdings bei diesem Versuch konstant gehalten und hängt nicht mit der anliegenden Spannung zusammen. Dieses Ergebnis stellt also keinen Widerspruch zum Ohm'schen Gesetz dar.

Abbildung 12: Photostrom I in Abhängigkeit von der anliegenden Spannung U beim gelben Licht



Dieser Sättigungswert des Photostroms wird nur asymptotisch erreicht, weil in der Realität nicht jedes ausgelöste Elektron mit einer hinreichend großen kinetischen Energie die Anode erreicht. Dafür müsste eine unendliche Spannung anliegen, die dafür sorgt, dass jedes ausgelöste Elektron durch das entstehende Feld zur Anode gelangt. Des Weiteren ist die Größe der Anode beschränkt. Um den Sättigungswert bei endlicher Spannung zu erreichen, müsste die Anode eine größere Oberfläche haben, sodass kein Elektron nicht zur Anode gelangt.

Dass der Photostrom vor der Grenzspannung beginnt zu sinken, liegt an der Energieverteilung der Elektronen im Material. Diese durch die Fermi-Dirac-Statistik gegebene Verteilung sorgt dafür, dass ausgelöste Elektronen eine unterschiedlich hohe kinetische Energie beim Austritt aus der Oberfläche besitzen und somit auch eine statistisch verteilte Gegenspannung, bei der das Elektron die Anode nicht mehr erreichen kann. Dadurch erreichen einzelne Elektronen die Anode, während andere Elektronen keine hinreichend große Energie besitzen, um das Gegenfeld zu passieren. Daher verschwindet der Photostrom nicht instantan bei der Grenzspannung.

Weiterhin sorgt die Verdampfungstemperatur des verwendeten Kathodenmaterials von 20°C dafür, dass Elektronen durch den Verdampfungsprozess aus dem Material gelöst werden und sich an der Anode anlagern. Durch die Gegenspannung – für die durch das Licht ausgelösten Elektronen – entsteht für die an der Anode liegenden Elektronen ein beschleunigendes Feld, sodass diese Elektronen aus der Anode gelöst und zur Kathode hin

beschleunigt werden. Dies hat zur Folge, dass ein dem Photostrom entgegengerichteter Strom auftreten kann. Dazu lässt sich anmerken, dass aufgrund der geringen Quantität der durch den Verdampfungsprozess ausgelösten Elektronen und der Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode der Sättigungswert bei diesem umgekehrtem Prozess erreicht werden kann.

Da bei relativ langwelligem Licht der negative Strom auftritt, lässt sich für die Austrittsarbeit der Anode sagen, dass sie höchstens so groß sein kann wie bei der Kathode.

5 Diskussion

Bei der Bestimmung der Grenzspannung zeigt sich für alle vermessenen Spektrallinien eine hohe Übereinstimmung mit dem \sqrt{I} -Gesetz. Nur wenige Messpunkte weichen minimal von den jeweiligen Regressionsgraden ab. Ein Vergleich des experimentell bestimmten Verhältnis $\frac{h}{e_0}$ mit dem Theoriewert nach [2] und [1] zeigt zudem nur eine relativ geringe Abweichung von knapp 4%.

$$\frac{h}{e_{0 \text{ Experiment}}} = (4,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-15} \text{ eV}$$

$$\frac{h}{e_{0 \text{ Literaturwert}}} = (4,135\,667\,66 \pm 0,000\,000\,06) \cdot 10^{-15} \text{ eV}$$

Während der Messung viel auf, dass bei jedem Wechsel der Skala am Pikoamperemeter große Schwankungen im gemessenen Photostrom festgestellt wurden. Selbst wenn die Skala direkt anschließend wieder zurückgestellt wurde, wurden Werte gemessen, die zum Teil um 50% von den zuvor gemessenen Werten abwichen. Wenn etwas gewartet wurde, stellte sich meist wieder der zuvor gemessene Wert ein.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle sind besonders in der Messung der gelben Spektrallinie unterschiedlich große Lichtintensitäten an der Photozelle. Bereits Unruhe am Nachbartisch oder eine kleine Änderung der Beleuchtungssituation des Raumes reichten aus, um den Zeiger des Pikoamperemeters schwanken zu lassen.

Daher war es zum Teil schwierig, den Photostrom exakt abzulesen.

Literatur

- [1] CODATA value: elementary charge. URL: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e> (besucht am 06.05.2017).
- [2] CODATA value: Planck constant. URL: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?h> (besucht am 06.05.2017).
- [3] CODATA value: Speed of Light in Vacuum. URL: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c> (besucht am 06.05.2017).
- [4] TU Dortmund. Versuch 500: Der Photoeffekt. 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PAG/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V500.pdf> (besucht am 02.05.2017).

- [5] 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/>.