

V500

Der Photoeffekt

Sonia Chander
sonia.chander@tu-dortmund.de

Jana Schlücking
jana.schluecking@tu-dortmund.de

Durchführung: 20.04.2021

Abgabe: 27.04.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Zielsetzung | 3 |
| 2 Theorie | 3 |
| 2.1 Experimentelle Untersuchung des Photoeffekts | 4 |
| 3 Durchführung | 6 |
| 4 Auswertung | 8 |
| 4.1 Teil a) | 8 |
| 4.1.1 Rot | 8 |
| 4.1.2 Grün | 9 |
| 4.1.3 Violett | 10 |
| 4.1.4 Gelb | 11 |
| 4.2 Teil b) | 12 |
| 4.3 Teil c) | 14 |
| 4.4 Messwerte | 15 |
| 5 Diskussion | 20 |
| 6 Anhang | 21 |
| Literatur | 24 |

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll der Photoeffekt untersucht werden, wie zum Beispiel die Elektronenenergie von der Wellenlänge bzw. der Frequenz des Lichts abhängt. Zudem soll die Austrittsarbeit A_k und der Quotient $\frac{h}{e_0}$ bestimmt werden.

2 Theorie

Um den Photoeffekt erklären zu können, wird das Korpuskelmodell, ein Grenzfall der Quantenelektrodynamik betrachtet. In diesem Modell wird davon ausgegangen, dass die Energie des Lichts durch Photonen im Raum bewegt wird. Nach Einstein sind diese Korpuskeln gleichzusetzen mit den Planckschen Energiequanten.

Der Photoeffekt wird untersucht indem eine Festkörperoberfläche im Vakuum mit monochromatischem Licht bestrahlt wird, diese Elektrode wird als Photokathode bezeichnet. Gegenüber der Photokathode befindet sich eine weitere Elektrode mit entgegengesetztem Potential. Diese Anordnung, siehe Abbildung 1 ist an ein Strommessgerät verbunden

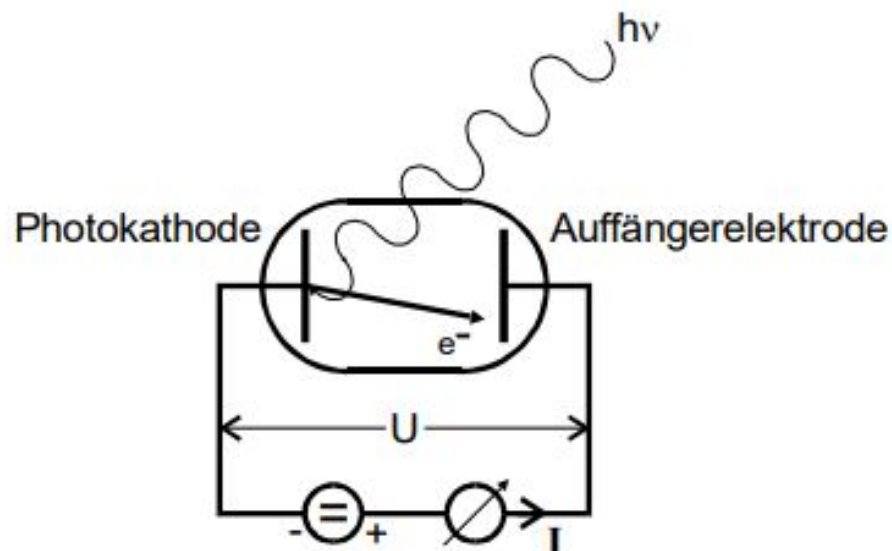


Abbildung 1: Anordnung zur Untersuchung des Photoeffekts.[1]

Die zu beobachtenden Ergebnisse aus diesem Experiment sind zum einen, dass die Zahl der ausgelösten Elektronen pro Zeiteinheit proportional zur Lichtintensität ist. Dies ist damit

zu begründen, dass die Zahl der Photonen pro Zeit- und Raumwinkeleinheit proportional zur Lichtintensität ist. Zusätzlich kann ein Photon auch nur ein Elektron auslösen. Ein weiteres Ergebnis ist, dass die kinetische Energie der Photonen proportional zur Lichtfrequenz ν ist und insbesondere unabhängig von der Lichtintensität. Die Photonenenergie wird vollständig auf des Elektron übertragen, genaugenommen in die Austrittsarbeit A_k zum Verlassen der Oberfläche und in die kinetische Energie E_{kin} . Die Energie des Photons hängt dabei nur von der Frequenz ν und dem Planckschen Wirkungsquantum h ab. Die Energiebilanz lautet demnach:

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

An Gleichung 1 ist auch das dritte Ergebnis erkennbar, der Photoeffekt tritt ab einer bestimmten Grenzfrequenz auf. Folgendes Verhältnis muss also gelten:

$$h \cdot \nu > A_k,$$

denn sonst ist die Energie nicht groß genug um die Austrittsarbeit zu verrichten. Es werden also keine Elektronen aus der Oberfläche gelöst.

2.1 Experimentelle Untersuchung des Photoeffekts

Zur Untersuchung wird ein evakuierter Glaskolben, der zwei Elektroden enthält, verwendet. Diese sogenannte Photozelle ist in Abbildung 2 zu sehen. Im Inneren der Photozelle befindet sich eine Photokathode aus einer aufgedampften Metall- oder Legierungsschicht, diese wird vom Licht bestrahlt. Um sie herum ist ein ringförmiger Anodendraht, der parallel zur Photokathodenoberfläche liegt.

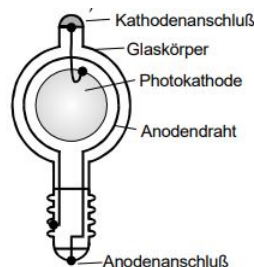


Abbildung 2: Aufbau einer Photozelle.[1]

Die Photozelle aus Abbildung 2 ist an ein digitales Voltmeter und an ein Picoamperemeter angeschlossen, siehe Abbildung 3. Eine variable Spannung U wird zwischen die Elektroden angelegt, dadurch entsteht ein Potential, das die gelösten Elektronen abbremst. Mit dem Picoamperemeter wird der Strom, der von der Photokathode zur Anode fließt, gemessen.

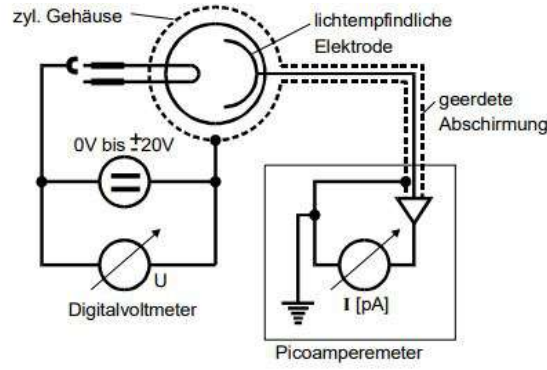


Abbildung 3: Schaltbild der Messapparatur.[1]

Die gelösten Elektronen, die die Anode erreichen, haben eine kinetische Energie größer als $e_0 U$. Der Strom verschwindet dann, wenn

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

Hierbei ist e_0 die Elementarladung, m_0 die Ruhemasse des Elektrons und v_{\max} die Geschwindigkeit der schnellsten Elektronen. Die kinetische Energie der schnellsten Elektronen kann aus der Gegenspannung U_g bestimmt werden. Es gilt nach Gleichung 1 und Gleichung 2 :

$$h \cdot \nu = e_0 U_g + A_k \quad (3)$$

Bei der Untersuchung einer Strom-Spannungskurve wie in Abbildung 4 wird ersichtlich, dass der Photostrom bei $U = U_g$ nicht sofort abbricht. Der Strom sinkt vorher erkennbar. Der Grund ist, dass die ausgelösten Elektronen schon im Festkörper, also vor der Auslösung unterschiedliche Energien haben. Somit sind diese Photoelektronen nicht genau monoenergetisch, sondern haben eine Energieverteilung von 0 bis zu $\frac{1}{2} m_0 v_m^2$. Die Fermi-Dirac-Statistik macht über diese Energieverteilung der Elektronen im Festkörper eine Aussage. Die Elektronenenergie kann zwischen 0 und ξ betragen, dabei ist die Fermi-Energie ξ einige eV groß. Unter bestimmten Voraussetzungen besteht zwischen dem Photostrom I_{Ph} und der Bremsspannung U ein parabolischer Zusammenhang:

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

Eine weitere Grund von einem nicht vorhandenen Photostrom ist, dass die Austrittsarbeit A_A am Anodenmetall größer als die Photonenenergie $h\nu$ ist. Die gelösten Elektronen müssen dann gegen das Gegenfeld laufen, um die Anode zu erreichen. Wird eine Beschleunigungsspannung U_b angelegt, ist ein Photostrom messbar. Es gilt:

$$h \cdot \nu + e_0 \cdot U_b \geq A_A. \quad (4)$$

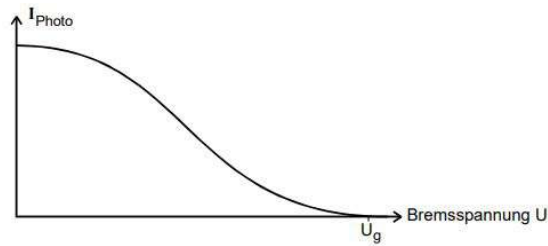


Abbildung 4: Photostrom in Abhängigkeit von der Bremsspannung.[1]

3 Durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Spektrallampe erzeugt Licht, das von der Kondensorlinse gebündelt wird und auf die Spaltblende fällt. Die Spaltblendenöffnung wirft ein Bild der Spaltblende auf den Eintrittsspalt, das Geradsichtprisma trennt die emittierten Spektrallinien räumlich. Das Schutzgehäuse und somit die Photozelle selbst ist schwenkbar, sodass Licht mit verschiedenen Wellenlängen untersucht werden kann.

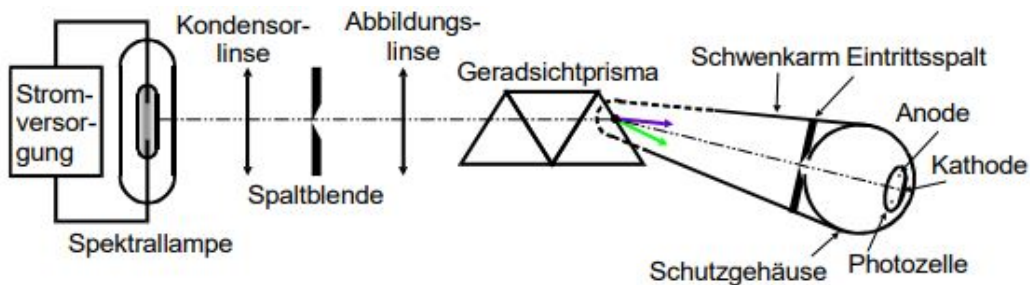


Abbildung 5: Versuchsaufbau zur Untersuchung des Photoeffekts.[1]

Bei der verwendeten Spektrallampe handelt es sich um eine Quecksilberlampe. Zunächst

werden die Linsen und die Spaltblende so eingestellt, dass die Spektrallinien so breit wie der Eintrittsspalt und scharf genug sind. Den Versuchsaufbau vor Ort ist in Abbildung 6 zu sehen. Die zu untersuchenden Farben sind in Abbildung 7 zu finden. Folgende Farblinien werden untersucht: rot, gelb, grün und violett.

Dabei wird das Schutzgehäuse der Photozelle so bewegt, dass der Eintrittsspalt vollständig von der Spektrallinie bestrahlt wurde. In gleichmäßigen Abständen wird die Gegenspannung U von 5 V auf -5 V verändert, wobei um 0 V kleinschrittiger vorgegangen wird. Die Werte des Photostroms I werden in Abhängigkeit von der Gegenspannung U notiert. Analog werden die anderen Spektrallinien untersucht, bei der gelben Linie soll die Gegenspannung von 20 V bis -20 V laufen.



Abbildung 6: Versuchsaufbau vor Ort. Links ist die Hg-Dampfampe zu sehen, auf der Schiene folgen dann von links nach rechts eine Linse, ein Spalt, und eine weitere Linse. Anschließend folgt ein Prisma, welches das Licht aufspaltet. Auf einem weiteren Schienenteil, welches sich auf einem Kreisbogen relativ zu dem anderen Teil bewegen lässt, befindet sich die Photozelle. Hinter dem Stab, der das Prisma trägt, ist das Pico-Amperemeter zu sehen. Das bräunliche Gerät, aus dem das gelbe Kabel kommt, ist der Generator für die Gegenspannung.

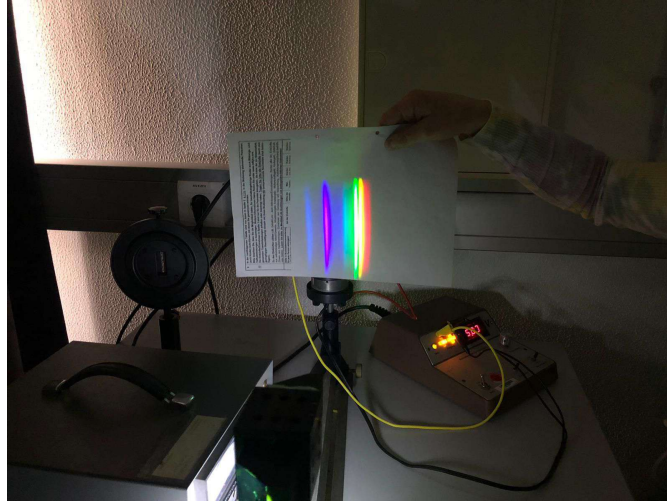


Abbildung 7: Spektrallinien.

4 Auswertung

4.1 Teil a)

Im folgenden sind die Wurzeln der Photoströme gegen die Bremsspannung aufgetragen. Eine negative Bremsspannung steht hierbei für eine beschleunigende Spannung.

4.1.1 Rot

Die Werte der Messreihen für rotes Licht sind in der Tabelle 2 zu finden. In der Abbildung 8 ist die Wurzel des Photostroms, welcher bei rotem Licht aufgetreten ist, gegen die angelegte Bremsspannung aufgetragen. Mithilfe von Python wurde eine Ausgleichsrechnung der Form $\sqrt{I} = a \cdot U_{\text{Br}} + c$ gemacht. Für die Ausgleichsrechnung wurden nur die Werte bis zu einer Gegenspannung von 1 V betrachtet. Die Werte ergeben sich zu:

$$a_{\text{rot}} = (-3,4 \pm 0,1) \text{ V}/\sqrt{\text{pA}}$$

$$c_{\text{rot}} = (1,98 \pm 0,20) \sqrt{\text{pA}}$$

Der Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der x-Achse beschreibt den Wert der Grenzspannung und wird berechnet durch:

$$U_g = -\frac{c}{a} \quad (5)$$

Für die Bestrahlung mit rotem Licht lautet die Grenzspannung U_g :

$$U_{g,\text{rot}} = (0,58 \pm 0,06) \text{ V}$$

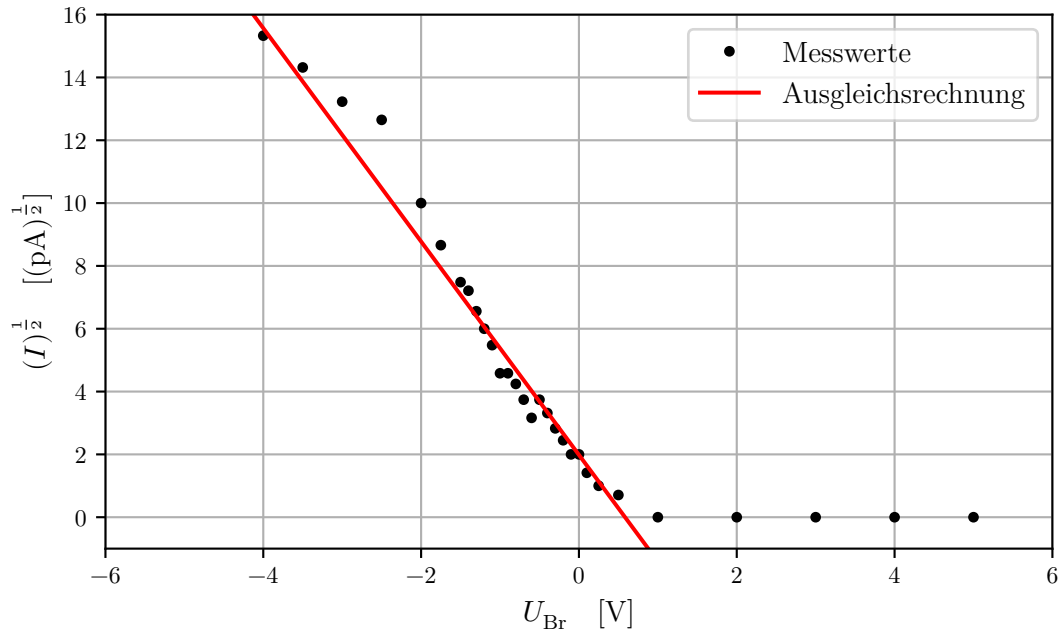


Abbildung 8: Die Wurzel des Photostroms in Abhängigkeit der angelegten Bremsspannung bei der Bestrahlung mit rotem Licht.

4.1.2 Grün

Bei der Untersuchung des Photoeffektes mit grünem Licht ist bei der Messung ein plötzlicher Einbruch des gemessenen Photostroms aufgefallen. Dieser ist in der Tabelle 3 der Messwerte durch eine weitere Mittellinie gekennzeichnet. In dem Plot Abbildung 9 sind die verschiedenen Messungen durch verschiedene Farben markiert. Für die Ausgleichsrechnungen der Form $\sqrt{I} = a \cdot U_{Br} + c$ berechneten sich folgende Werte:

$$a_{\text{grün},1} = (-15,1 \pm 0,6) \text{ V}/\sqrt{\text{pA}}$$

$$c_{\text{grün},1} = (29,3 \pm 1,4) \sqrt{\text{pA}}$$

und

$$a_{\text{grün},2} = (-15,8 \pm 0,9) \text{ V}/\sqrt{\text{pA}}$$

$$c_{\text{grün},2} = (0,2 \pm 0,4) \sqrt{\text{pA}}$$

Hier wurde für die Rechnung alle der schwarz markierten Messwerte ab -4 V genommen, bei den blau markierten Messwerten wurden in der Ausgleichsrechnung nur die Werte bis zu einer Gegenspannung von $0,25 \text{ V}$ berücksichtigt. Die jeweiligen Grenzspannungen U_g

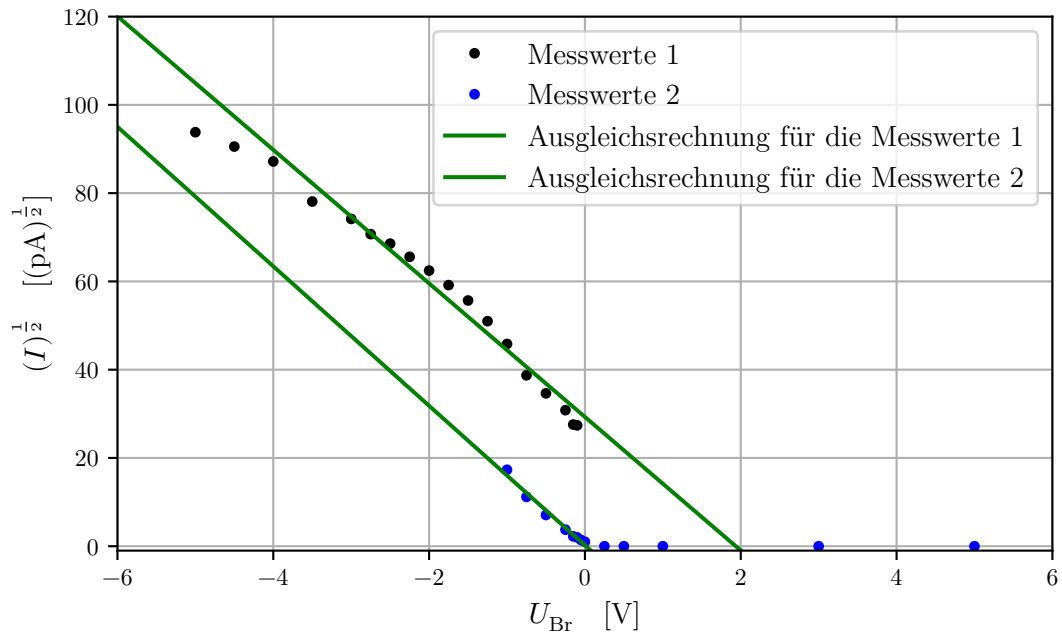


Abbildung 9: Die Wurzel des Photostroms in Abhängigkeit der angelegten Bremsspannung bei der Bestrahlung mit grünem Licht.

berechnen sich nach (5) zu:

$$U_{g,grün,1} = (1,94 \pm 0,12) \text{ V}$$

$$U_{g,grün,2} = (0,014 \pm 0,028) \text{ V}$$

Hier wurde von den beiden Nullstellen der Mittelwert gebildet, mit welchem dann auch im weiteren gerechnet wurde.

$$U_{g,grün} = (0,97 \pm 0,06) \text{ V}$$

4.1.3 Violett

Es wurde der Messvorgang mit violetterem Licht wiederholt. In der Abbildung 10 ist neben den Messwerten aus Tabelle 4, wobei von dem Strom die Wurzel \sqrt{I} aufgetragen wurde, eine Ausgleichsgerade der Form $\sqrt{I} = a \cdot U_{Br} + c$ abgebildet. Hierfür wurden die Messwerte bis zu einer Gegenspannung von 1 V betrachtet. Die Parameter wurden von Python zu

$$a_{\text{violett}} = (-19,6 \pm 0,9) \text{ V}/\sqrt{\text{pA}}$$

$$c_{\text{violett}} = (22,8 \pm 2,6) \sqrt{\text{pA}}$$

berechnet. Damit lässt sich über (5) die Grenzspannung ermitteln:

$$U_{g,violett} = (1,17 \pm 0,14) \text{ V}$$

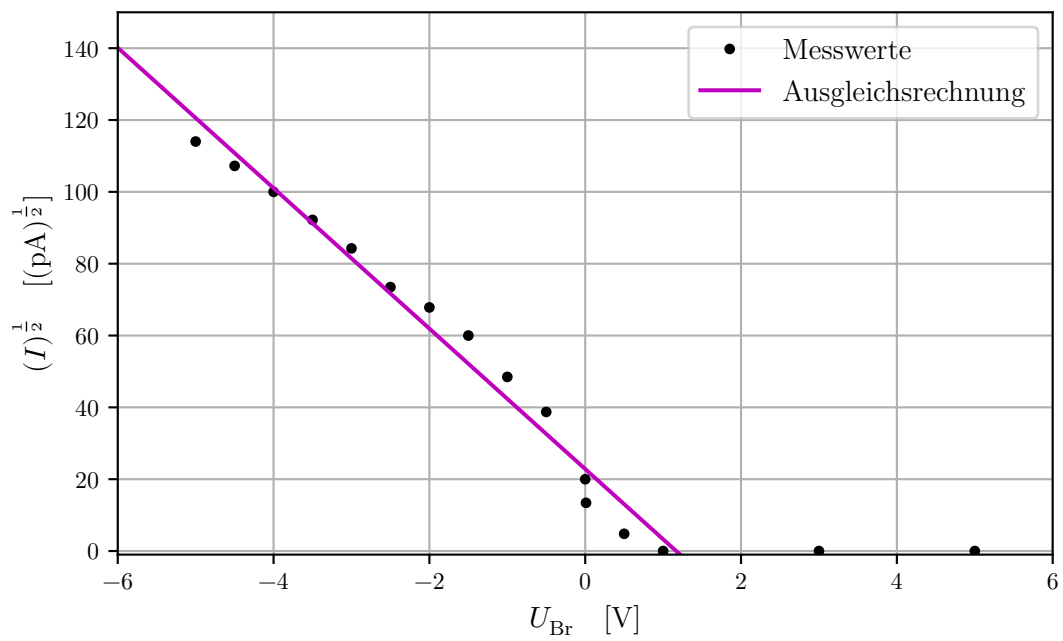


Abbildung 10: Die Wurzel des Photostroms in Abhängigkeit der angelegten Bremsspannung bei der Bestrahlung mit violetterm Licht.

4.1.4 Gelb

Für die Bestrahlung mit gelben Licht wurde eine größere Messreihe genommen, wie in Tabelle 5 zu sehen ist.

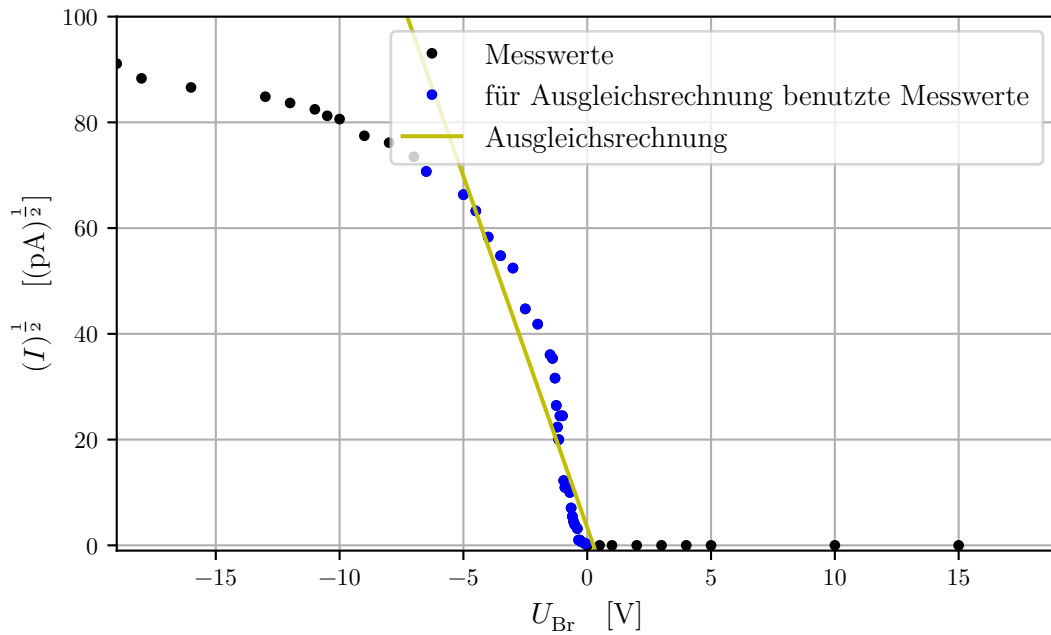


Abbildung 11: Die Wurzel des Photostroms in Abhängigkeit der angelegten Bremsspannung bei der Bestrahlung mit gelben Licht.

Wie in der Abbildung 11 zu sehen ist, bildet sich bei einer so langen Messreihe Richtung $-\infty$ eine Abflachung der Messwerte. Da diese Messwerte den linearen Zusammenhang nicht widerspiegeln, werden sie in der Ausgleichsrechnung der Form $\sqrt{I} = a \cdot U_{\text{Br}} + c$ nicht beachtet. Die Messwerte von -10 V bis $-0,01 \text{ V}$ wurden in der Ausgleichsrechnung berücksichtigt. Es wurden die Werte zu

$$a_{\text{gelb}} = (-13,3 \pm 0,9) \text{ V}/\sqrt{\text{pA}}$$

$$c_{\text{gelb}} = (3,4 \pm 1,9) \sqrt{\text{pA}}$$

ermittelt, sodass sich für die Grenzspannung der folgende Wert ergibt:

$$U_{\text{g, gelb}} = (0,25 \pm 0,15) \text{ V}$$

4.2 Teil b)

In diesem Aufgabenteil werden die in Teil a) ermittelten Werte gegen die Frequenzen des jeweilig farbigen Lichtes in einem Diagramm aufgetragen. Die Frequenzen und Wellenlängen der Farben lassen sich in der Tabelle 1 finden.

Tabelle 1: Die Wellenlängen und Frequenzen der unterschiedlichen Farben.

| | $\lambda[\text{nm}]$ | $\nu[10^{14} \text{ Hz}]$ |
|---------|----------------------|---------------------------|
| rot | 615 | 4,87 |
| grün | 546 | 5,49 |
| violett | 435 | 6,89 |
| gelb | 578 | 5,18 |

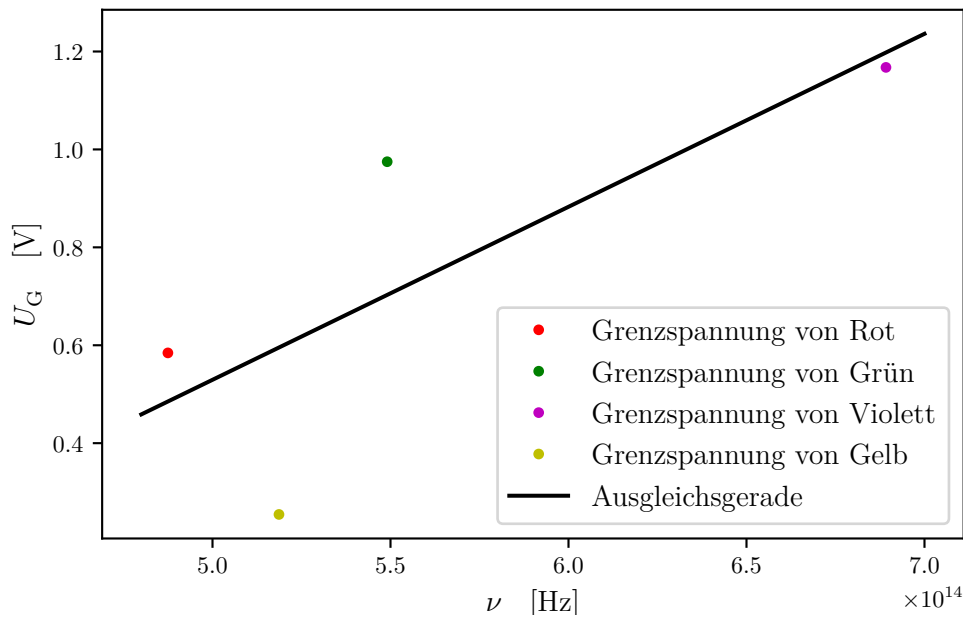


Abbildung 12: Die Grenzspannung aufgetragen gegen die Frequenzen des jeweilig farbigen Lichtes.

In der Abbildung 12 sind diese Punkte abgebildet. Zusätzlich wurde eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt, welche die Form $U_g = a \cdot \nu - c$ hat. Für die Parameter ergeben sich die Werte:

$$a_b = (3,5 \pm 2,1) \cdot 10^{-15} \text{ V s}$$

$$c_b = (-1,2 \pm 1,2) \text{ V}$$

Nach Vergleich mit der Formel (3) folgen die Zusammenhänge

$$\frac{h}{e_0} = a_b$$

$$\frac{A_k}{e_0} = -c_b,$$

sodass für die im Experiment gemessenen Werte gilt:

$$\frac{h}{e_0} = (3,5 \pm 2,1) \cdot 10^{-15} \text{ V s}$$

$$A_k = (1,2 \pm 1,2) \text{ eV}$$

4.3 Teil c)

Nun wird die Messreihe mit gelbem Licht der Wellenlänge $\lambda = 578 \text{ nm}$ nochmal genauer betrachtet. Dazu wurden diesmal die gemessenen Ströme I in Abhängigkeit der angelegten Bremsspannung U_{Br} in dem Diagramm Abbildung 13 abgebildet.

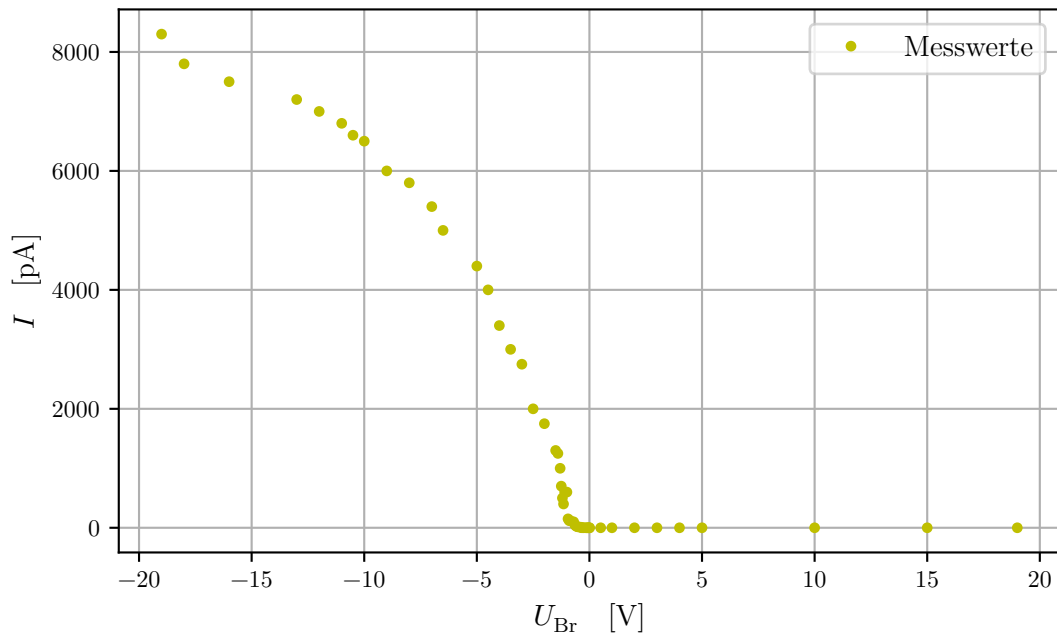


Abbildung 13: Die Messwerte aus Tabelle 5 aufgetragen in einem U - I - Diagramm.

In der Abbildung 13 ist bei einer hohen Beschleunigungsspannung (also negativer Bremsspannung) eine Annäherung an einen Sättigungswert zu sehen. Dies bildet keinen Widerspruch zum Ohm'schen Gesetz, da die Anzahl der ausgelösten Elektronen, also der gemessene Strom von der Intensität des Lichtes abhängig ist und nicht von der Höhe der Spannung. Die Intensität des Lichtes wurde im Experiment konstant gehalten. Da die Energie der Elektronen in der Photokathode unterschiedlich sein kann, gibt es immer Elektronen, die nur durch sehr hohe angelegte Beschleunigungsspannungen gemessen werden können. Jedoch wird ab einer gewissen Spannung fast jedes ausgelöste Elektron gemessen. Bei einer Photozelle, welche alle aus der Kathode ausgelösten Elektronen wahrnimmt, kann der Photostrom bereits bei endlichen Beschleunigungsspannungen seinen Sättigungswert erreichen.

Die Elektronen in der Photokathode haben bereits verschiedene kinetische Energien, welche ,wie in der Theorie 2 beschrieben, durch die Fermi-Dirac-Verteilung gegeben ist. Werden sie aus der Kathode ausgelöst, so haben die gelösten Elektronen dann auch verschieden hohe Energien. Somit können bei bestimmten Gegenspannungen oder auch Beschleunigungsspannungen nicht alle ausgelösten Elektronen die Anode erreichen. Daher beginnt der Photostrom schon vor Erreichen der Grenzspannung U_g zu sinken.

Die Photokathode besteht aus einem Material, welches bei Raumtemperatur verdampft. Daher werden auch Elektronen aus der Kathode ausgelöst, welche sich an der Anode lagern. Ist die Gegenspannung groß genug, werden die Elektronen von der Anode zurück zur Kathode beschleunigt. Daher werden bei positiven Bremsspannungen teilweise negative Ströme beobachtet. Da es sich hierbei um deutlich weniger Elektronen handelt, als bei den vom Photoeffekt ausgelösten Elektronen, stellt sich hier deutlich schneller ein Sättigungswert ein.

Die negativen Ströme werden im Experiment schon bei Licht der Wellenlänge $\lambda = 650 \text{ nm}$ beobachtet, also recht niederenergetischem Licht. Somit kann die Annahme getroffen werden, dass die Austrittsarbeit der Kathode A_k auch recht klein ist.

4.4 Messwerte

Tabelle 2: Die Werte von der Messung mit rotem Licht.

| $U_{\text{Br}}[\text{V}]$ | $I_{\text{photo}}[\text{pA}]$ |
|---------------------------|-------------------------------|
| −5,0 | 300 |
| −4,5 | 275 |
| −4,0 | 235 |
| −3,5 | 205 |
| −3,0 | 175 |
| −2,5 | 160 |
| −2,0 | 100 |
| −1,75 | 75 |
| −1,5 | 56 |
| −1,4 | 52 |
| −1,3 | 43 |
| −1,2 | 36 |
| −1,1 | 30 |
| −1,0 | 21 |
| −0,9 | 21 |
| −0,8 | 18 |
| −0,7 | 14 |
| −0,6 | 10 |
| −0,5 | 14 |
| −0,4 | 11 |
| −0,3 | 8 |
| −0,2 | 6 |
| −0,1 | 4 |
| 0,001 | 4 |
| 0,1 | 2 |
| 0,25 | 1 |
| 0,5 | 0,5 |
| 1,0 | 0 |
| 2,0 | 0 |
| 3,0 | 0 |
| 4,0 | 0 |
| 5,0 | 0 |

Tabelle 3: Die Werte von der Messung mit grünem Licht. Die Werte unterhalb der zweiten Linie sind nach einer Unterbrechung gemessen wurden.

| $U_{\text{Br}}[\text{V}]$ | $I_{\text{photo}}[\text{pA}]$ |
|---------------------------|-------------------------------|
| −5 | 8800 |
| −4,5 | 8200 |
| −4,0 | 7600 |
| −3,5 | 6100 |
| −3,0 | 5500 |
| −2,75 | 5000 |
| −2,5 | 4700 |
| −2,25 | 4300 |
| −2,0 | 3900 |
| −1,75 | 3500 |
| −1,5 | 3100 |
| −1,25 | 2600 |
| −1,0 | 2100 |
| −0,75 | 1500 |
| −0,5 | 1200 |
| −0,25 | 950 |
| −0,15 | 760 |
| −0,1 | 750 |
| −1 | 300 |
| −0,75 | 125 |
| −0,5 | 50 |
| −0,25 | 14 |
| −0,15 | 5 |
| −0,1 | 4 |
| −0,05 | 2 |
| 0 | 1 |
| 0,25 | 0 |
| 0,5 | 0 |
| 1 | 0 |
| 3 | 0 |
| 5 | 0 |

Tabelle 4: Die Werte von der Messung mit violettem Licht.

| $U_{\text{Br}}[\text{V}]$ | $I_{\text{photo}}[\text{pA}]$ |
|---------------------------|-------------------------------|
| −5 | 13 000 |
| −4,5 | 11 500 |
| −4 | 10 000 |
| −3,5 | 8500 |
| −3 | 7100 |
| −2,5 | 5400 |
| −2 | 4600 |
| −1,5 | 3600 |
| −1 | 2350 |
| −0,5 | 1500 |
| 0 | 400 |
| 0,01 | 180 |
| 0,5 | 23 |
| 1 | 0 |
| 3 | 0 |
| 5 | 0 |

Tabelle 5: Die Werte von der Messung mit gelben Licht.

| $U_{\text{Br}}[\text{V}]$ | $I_{\text{photo}}[\text{pA}]$ | $U_{\text{Br}}[\text{V}]$ | $I_{\text{photo}}[\text{pA}]$ |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| −19 | 8300 | −0,95 | 150 |
| −18 | 7800 | −0,9 | 120 |
| −16 | 7500 | −0,85 | 120 |
| −13 | 7200 | −0,7 | 100 |
| −12 | 7000 | −0,65 | 50 |
| −11 | 6800 | −0,6 | 30 |
| −10,5 | 6600 | −0,55 | 20 |
| −10 | 6500 | −0,5 | 15 |
| −9 | 6000 | −0,4 | 10 |
| −8 | 5800 | −0,35 | 1 |
| −7 | 5400 | −0,3 | 1 |
| −6,5 | 5000 | −0,25 | 0,5 |
| −5 | 4400 | −0,15 | 0,25 |
| −4,5 | 4000 | −0,1 | 0,125 |
| −4 | 3400 | −0,05 | 0,1 |
| −3,5 | 3000 | −0,01 | 0 |
| −3 | 2750 | 0,01 | 0 |
| −2,5 | 2000 | 0,5 | 0 |
| −2 | 1750 | 1 | 0 |
| −1,5 | 1300 | 2 | 0 |
| −1,4 | 1250 | 3 | 0 |
| −1,3 | 1000 | 4 | 0 |
| −1,25 | 700 | 5 | 0 |
| −1,2 | 500 | 10 | 0 |
| −1,15 | 400 | 15 | 0 |
| −1,1 | 600 | 19 | 0 |
| −1 | 600 | | |

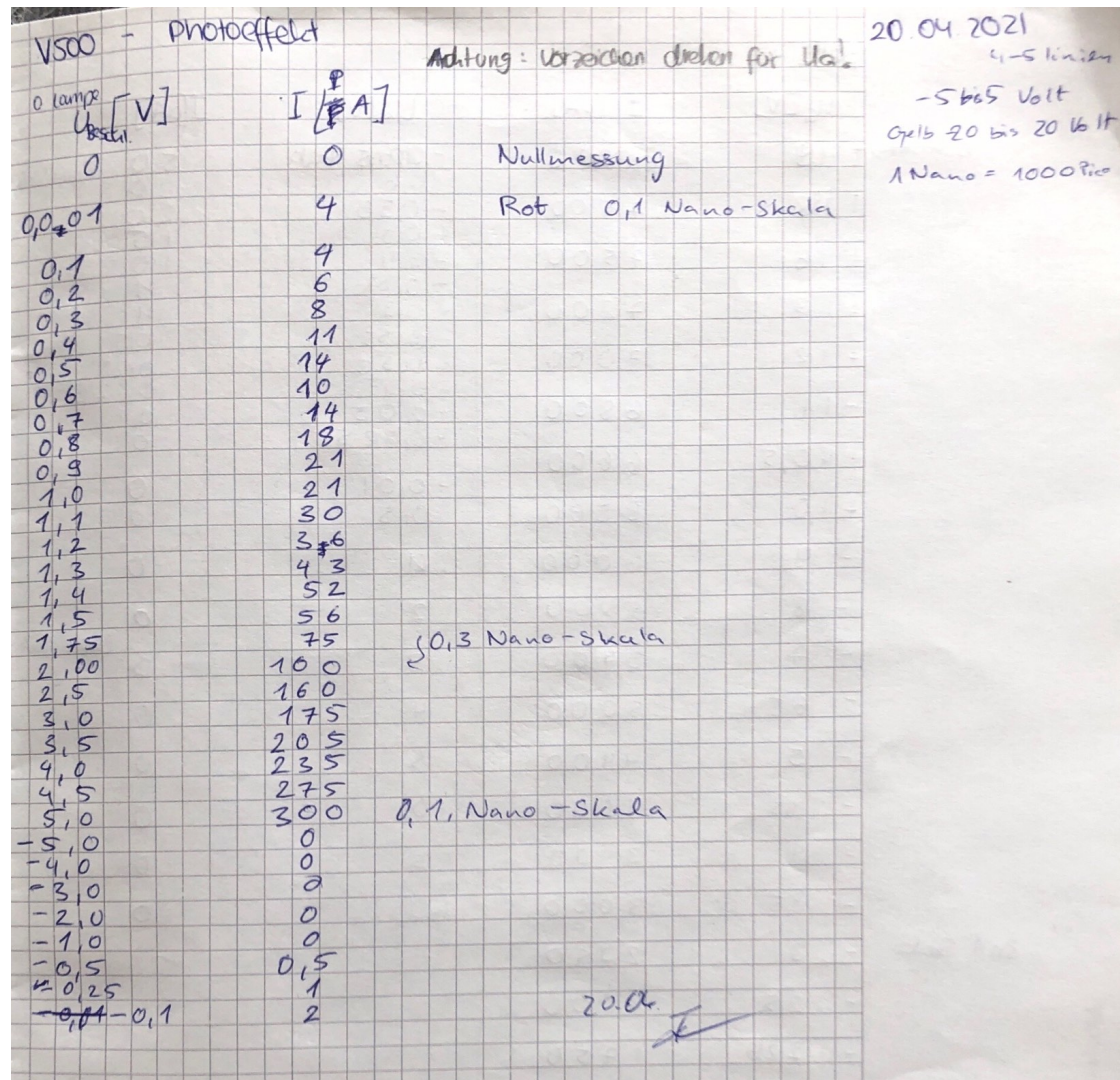
5 Diskussion

Besonders augenfällig ist der plötzliche Sprung der aufgenommen Messwerte bei der Messung mit grünem Licht, siehe Abbildung 9. Der Sprung kommt wahrscheinlich von einer Erschütterung der Messapparatur, welche mit sehr empfindlichen Koaxialkabeln aufgebaut ist. In der Abbildung 11 wurden wegen des Sättigungswertes, der sich für hohe Beschleunigungsspannungen einsetzt, nicht alle Messwerte in die Ausgleichsrechnung einbezogen. Der Beginn des linearen Zusammenhangs ist nur grob einschätzbar und durch eine leicht andere Wahl, könnten die errechneten Werte noch genauer oder ungenauer werden. Die Werte an sich zeigen vor und nach dem Sprung das erwartete Verhalten, sodass ein weiterer Fehler durch die Geräte auszuschließen ist. In der Auswertung fällt auf, dass die Messunsicherheiten der bestimmten Größen meist einen höheren Betrag haben als die eigentlichen Größen. Bei den Parameter der linearen Fits ist dies damit zu erklären, dass die gemessenen Werte in dem aufgetragenen Zusammenhang kein lineares Verhalten zeigt, also die Linearität eher erzwungen ist. Die fällt besonders bei der Abbildung 12 auf, wobei hier die geringe Anzahl der Punkte zu beachten ist. Hier wurde mit dem Fit das Verhältnis $\frac{h}{e_0}$ ermittelt.

$$\begin{aligned}\left(\frac{h}{e_0}\right)_{\text{theo}} &= 4,135\,668 \cdot 10^{-15} \text{ V s} \\ \left(\frac{h}{e_0}\right)_{\text{exp}} &= (3,533\,622 \pm 2,056\,484) \cdot 10^{-15} \text{ V s}\end{aligned}$$

Damit beträgt die Abweichung vom Literaturwert 14,56 %, welches in Anbetracht der anderen Werte ein recht gutes Ergebnis ist.

6 Anhang



Grün

U_G [V] I [pA]

| | |
|-------|------|
| -5 | 8800 |
| -4,5 | 8200 |
| -4,0 | 7600 |
| -3,5 | 6100 |
| -3,0 | 5500 |
| -2,75 | 5000 |
| -2,5 | 4700 |
| -2,25 | 4300 |
| -2 | 3900 |
| -1,75 | 3500 |
| -1,5 | 3100 |
| -1,25 | 2600 |
| -1 | 2100 |
| -0,75 | 1500 |
| -0,5 | 1200 |
| -0,25 | 950 |
| -0,15 | 760 |
| -0,1 | 750 |
| -0,05 | |

10-Nano-Skala

3-N-Skala

1,5-N-Skala

U_G [V]

I [pA]

| |
|-------|
| -1 |
| -0,75 |
| -0,5 |
| -0,25 |
| -0,15 |
| -0,1 |
| -0,05 |
| 0 |

| |
|-----|
| 300 |
| 125 |
| 50 |
| 14 |
| 5 |
| 4 |
| 2 |
| 1 |

1N-Skala

0,3N-Skala

0,1N-Skala

Violett

U_G [V]

I [pA]

die Werte sind noch nicht
in Picos

| |
|-------|
| -5 |
| -4,5 |
| -4 |
| -3,5 |
| -3 |
| -2,5 |
| -2 |
| -1,5 |
| -1 |
| -0,5 |
| -0,1 |
| +0,01 |
| 0,5 |
| 1 |
| 3 |
| 5 |

| |
|---------------------|
| 0,013 |
| 13000 |
| 0,0115 |
| 0,01 |
| 8,5 |
| 7,1 |
| 5,4 |
| 4,6 |
| 3,6 |
| 3,5 2,35 |
| 1,5 |
| 0,4 |
| 0,18 |
| 0,023 |
| 0 |
| 0 |
| 0 |

0,3-micro-Skala

10-Nano-Skala

3-N-Sk

0,1-N-Skal.

20.04

I

Pabian Skoch@tu-dortmund.de

| | | Gelb | | | |
|------------|---------|-----------|----------|-----------|-------------|
| | | $U_g [V]$ | $I [pA]$ | $U_g [V]$ | $I [pA]$ |
| 10nA Skala | - 1,9 | 8300 | -0,65 | 50 | 0,1nA Skala |
| | - 1,8 | 7900 | -0,6 | 30 | |
| | - 1,6 | 7500 | -0,55 | 20 | |
| | - 1,3 | 7200 | -0,5 | 15 | |
| | - 1,2 | 7000 | -0,4 | 10 | |
| | - 1,1 | 6800 | -0,35 | 1 | |
| | - 1,0,5 | 6600 | -0,3 | 1 | |
| | - 1,0 | 6500 | -0,25 | 0,5 | |
| | - 9 | 6000 | -0,15 | 0,25 | |
| | - 8 | 5900 | -0,1 | 0,125 | |
| | - 7 | 5400 | -0,05 | 0,1 | |
| | - 6,5 | 5000 | -0,01 | 0 | |
| | - 5 | 4400 | +0,01 | 0 | |
| | - 4,5 | 4000 | 0,5 | 0 | |
| | - 4 | 3400 | 0 | 0 | |
| | - 3,5 | 3000 | 0 | 0 | |
| | - 3 | 2750 | 2 | 0 | |
| | - 2,5 | 2000 | 3 | 0 | |
| 3nA Skala | - 2 | 1750 | 4 | 0 | Skala 10nA |
| | - 1,5 | 1300 | 5 | 0 | |
| Skala 1nA | - 1,4 | 1250 | 10 | 0 | |
| | - 1,3 | 1000 | 15 | 0 | |
| | - 1,25 | 700 | 19 | 0 | |
| | - 1,2 | 500 | | | |
| | - 1,15 | 400 | | | |
| | - 1,1 | 600 | | | |
| | - 1 | 600 | | | |
| | - 0,95 | 150 | | | |
| | - 0,9 | 120 | | | |
| | - 0,85 | 120 | | | |
| | - 0,7 | 100 | | | |

2006

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Photoeffekt*. 2021.