

Praktikumsprotokoll Photoeffekt

Silas Kraus und André Schendel
Gruppe Do-20

19. April 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Demonstrationsversuch: Hallwachs-Effekt	1
2	Elektrometereigenschaften	1
3	Photoeffekt und h/e-Bestimmung	2
3.1	Messung der maximalen Lichtintensität bei verschiedenen Wellenlängen	2
3.2	Messung mit Gegenfeldmethode	3
3.3	Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm	5
3.4	Messung mit Graufilter	6
3.5	Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um den Strom auf Null abzusenken	7
4	Fazit	8

1 Demonstrationsversuch: Hallwachs-Effekt

Zuerst sollte der äußere lichtelektrische Effekt demonstriert werden. Dafür wurde eine Zinkplatte an den isolierten Anschluss eines elektrostatischen Elektrometers angeschlossen. Im Anschluss daran wurde die Zinkplatte negativ statisch aufgeladen.

Nachdem zunächst kein Effekt zu beobachten war, weil die Zinkplatte nicht gut genug geschliffen war, konnte nach gründlichem Schleifen beobachtet werden, dass der Elektrometerausschlag ohne Quecksilberlampe konstant blieb, während er bei Bestrahlung langsam zurück ging.

Die Ursache für diesen Vorgang liegt darin begründet, dass das Licht der Quecksilberdampf Lampe energiereicher ist und deshalb besser die Elektronen aus der Zinkplatte herausschlagen kann als normales Licht. Dies wird noch weiter begünstigt, wenn man in der Nähe der Zinkplatte eine positiv geladene Metallelektrode positioniert, auf die die negativen Elektronen hin abfließen können. Die Elektrode war in unserem Fall jedoch gar nicht nötig, da die Elektronen auch über das dicht daneben befindliche geerdete Gehäuse des Elektrometers abfließen konnten.

2 Elektrometereigenschaften

Als nächstes sollte der Innenwiderstand des Elektrometers über eine Spannungsmessung bestimmt werden. Hierfür wurde eine Quellspannung von 5V mittels einer Batterie angelegt und

mit verschiedenen Vorwiderständen (0/0,1/1/10GΩ) die Spannung am Elektrometer gemessen. Mit

$$R_V = \frac{U_V \cdot (R_{\text{Batterie}} + [R_{\text{Vor}}])}{U_0 - U_V}$$

lässt sich der Innenwiderstand des Elektrometers R_V berechnen, wenn man annimmt, dass die Batterie eine ideale Spannungsquelle ist und ein Vorwiderstand eingebaut ist.

R_Batterie 500 [Ohm]			
U_0 = 5V			
R_Vor [GOhm]	U_mess [V]		R_V [Ohm]
0	5.044		57318
0.1	5.042		1.20E+011
1	5.042		1.20E+012
10	5.035		1.44E+013

Abbildung 1: Messwerte und Ergebnisse Elektrometer

Es zeigt sich deutlich, dass die errechneten Werte für den Innenwiderstand des Elektrometers nur für den größten Vorwiderstand mit dem auf dem Elektroskop angegebenen Widerstandswert von $R_V = 10^{13}\Omega$ in etwa übereinstimmt. Dies liegt vermutlich daran, dass die Batterie weit entfernt davon ist, eine ideale Spannungsquelle zu sein, und von dem nachgeschalteten Elektrometer beeinflusst wird.

3 Photoeffekt und h/e-Bestimmung

3.1 Messung der maximalen Lichtintensität bei verschiedenen Wellenlängen

Durch wechseln der Farbfilter wurde die Photozelle mit Licht der Wellenlängen 360, 400, 440, 490, 540 und 590 bestrahlt. Die dabei entstehende Klemmenspannung wurde gemessen. Um statistische Fehler zu minimieren, wurde für jede Wellenlänge dreimal gemessen. Erfreulicherweise lieferten alle Messungen stets die exakt gleichen Ergebnisse. Die Messwerte sind also sehr gut reproduzierbar.

Wellenlänge [nm]	Spannung U_1 [V]	U_2 [V]	U_3 [V]
360	1.71	1.71	1.71
400	1.19	1.19	1.19
440	0.91	0.91	0.91
490	0.63	0.63	0.63
540	0.43	0.43	0.43
590	0.25	0.25	0.25

Tabelle 1: Klemmspannung bei verschiedenen Wellenlängen

Trägt man die gemessene Spannung über der inversen Wellenlänge in einem Diagramm auf und führt eine lineare Regression durch, so erhält man eine Gerade:

$$U = a \cdot \lambda^{-1} + b$$

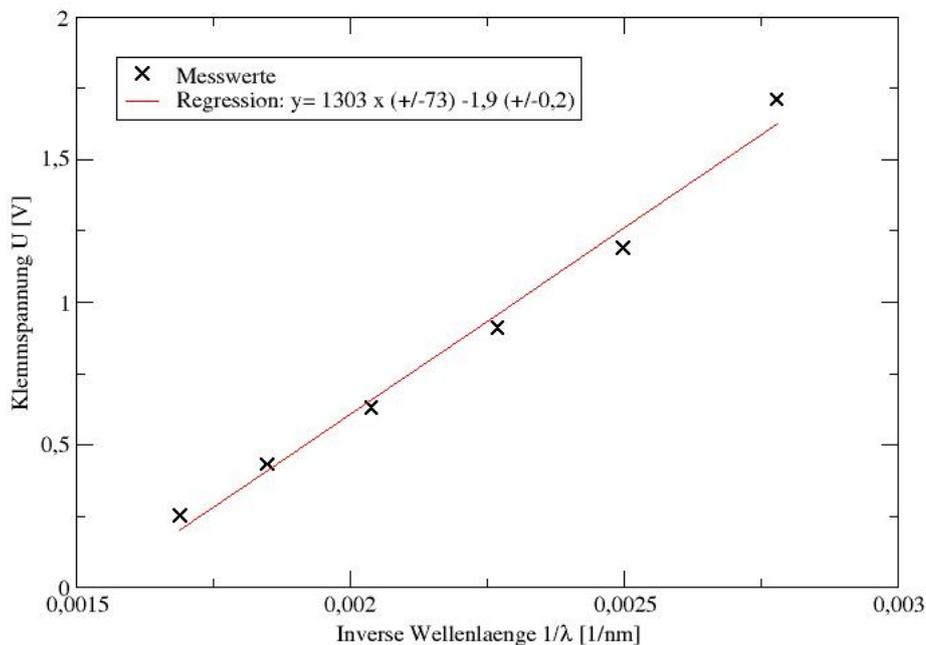


Abbildung 2: Klemmspannung bei verschiedenen Wellenlängen (λ^{-1})

Die Steigung der Geraden ist

$$a = \frac{h}{e} \cdot c$$

Dann ist der gesuchte Quotient aus Wirkungsquantum und Elementarladung:

$$\frac{h}{e} = \frac{a}{c} = \frac{1303[Vnm]}{2,99 \cdot 10^{17}[\frac{nm}{s}]} = 4,35 \cdot 10^{-15}[\frac{Js}{C}]$$

Verglichen mit dem Literaturwert von $4,141 \cdot 10^{-15}[\frac{Js}{C}]$ entspricht dies einer Abweichung um 5%, ein akzeptabler Wert.

Eine qualitative Betrachtung der Intensitätsabhängigkeit der Klemmspannung war leider nicht möglich, da keine Irisblende zur Verfügung stand. Beim Versuch, den Strahl zur Hälfte mit einem Blatt Papier abzudecken, zeigte sich, dass die Spannung stieg, wenn das Blatt von oben in den Strahl gehalten wurde. Wurde das Blatt jedoch von unten hineingehalten, sank die Spannung. Offenbar macht der Versuchsaufbau eine genaue Einhaltung der Symmetrie erforderlich, was in unserem Fall nicht zu gewährleisten war.

3.2 Messung mit Gegenfeldmethode

Um Vergleichswerte zu erhalten, sollte die selbe Messung noch einmal durchgeführt werden, diesmal mit der Gegenfeldmethode. Dazu sollte die für die jeweilige Wellenlänge benötigte Gegen-

spannung ermittelt werden, die dazu führt, dass die Klemmspannung auf Null sinkt. Prinzipiell erwartet man bei dieser Methode einen besseren Wert, da ein Nullabgleich sehr genau durchgeführt werden kann.

Wellenlänge [nm]	Gegenspannung [V]
360	1.69
400	1.17
440	0.89
490	0.61
540	0.42
590	0.24

Tabelle 2: Gegenspannung bei verschiedenen Wellenlängen

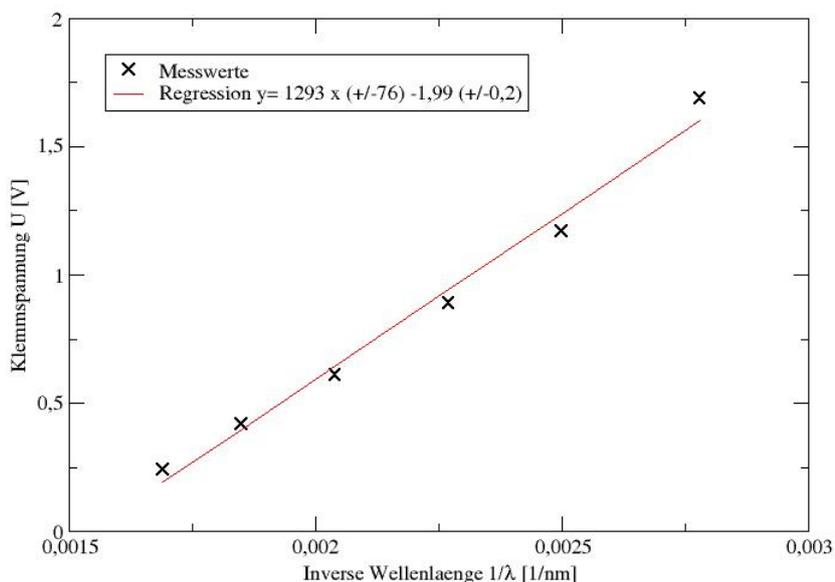


Abbildung 3: Gegenspannung bei verschiedenen Wellenlängen (λ^{-1})

Wiederum kann aus der Steigung der Geraden $\frac{h}{e}$ berechnet werden:

$$\frac{h}{e} = \frac{a}{c} = \frac{1293[Vnm]}{2,99 \cdot 10^{27}[\frac{nm}{s}]} = 4,32 \cdot 10^{-15}[\frac{Js}{C}]$$

In der Tat lieferte die Messung also einen leicht besseren Wert, der nur noch um 4% vom Literaturwert abweicht.

3.3 Messung des Photostroms bei Wellenlänge 400 nm

In der selben Schaltung wie in Aufgabe 3.2 sollte nun noch ein Widerstand mit $100\text{ M}\Omega$ parallel geschaltet werden. Dann wurde die Gegenspannung schrittweise von -3V bis 9V erhöht und dabei die Klemmspannung gemessen. Aus dieser Spannung U_{Mess} konnte mittels

$$I = \frac{U_{Mess}}{R \cdot V}$$

der Photostrom berechnet werden. (Der Verstärkungsfaktor wurde für diese Aufgabe $V=1$ gewählt.) Dieselbe Messung wurde dann noch einmal mit einem Graufilter, der in den Lichtstrahl gebracht wurde, um die Intensität zu senken, durchgeführt.

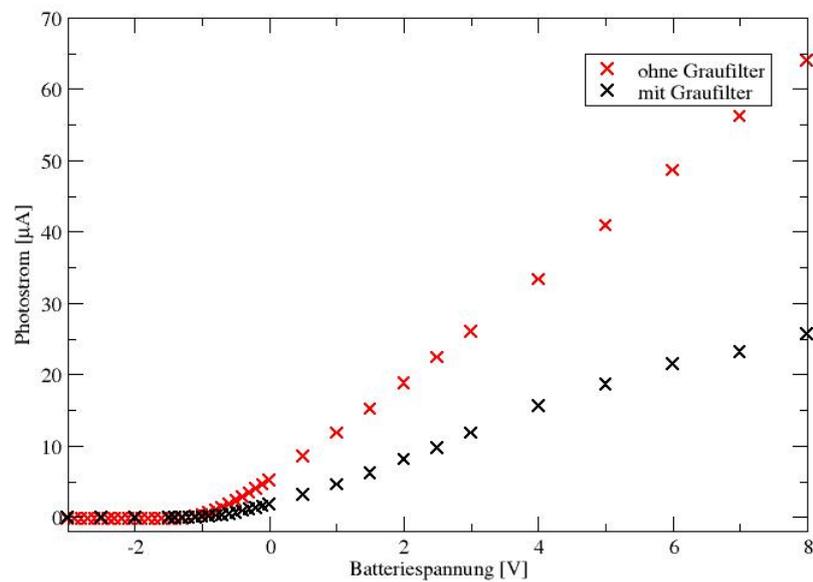


Abbildung 4: Photostrom über Gegenspannung

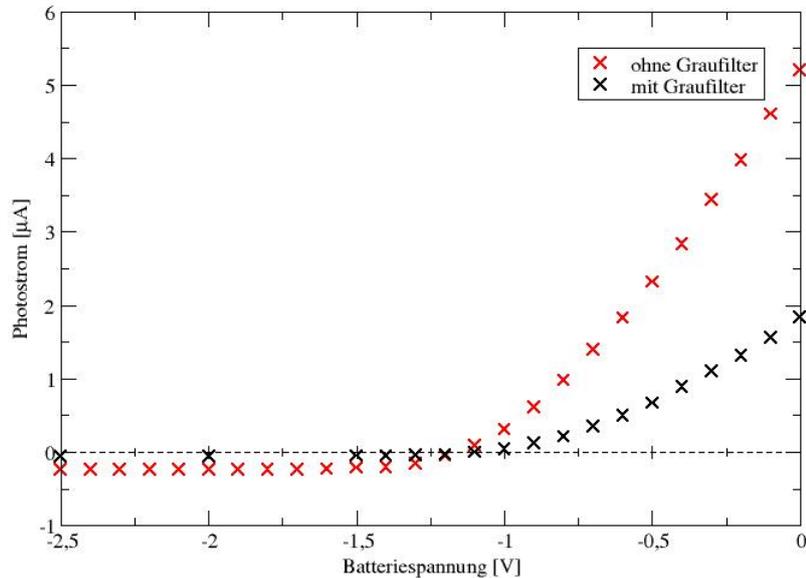


Abbildung 5: Photostrom über Gegenspannung auf kleinerem Intervall

Es zeigt sich deutlich, dass erst ab einer Gegenspannung von ca. -1,25V das Gegenfeld schwach genug ist, um von den Elektronen überwunden zu werden. Ab hier steigt der Photostrom linear an.

Ein Dunkelstrom, verursacht durch Streulicht und Wärmestrahlung, konnte nicht gemessen werden und wurde deshalb auch nicht berücksichtigt.

Offenbar ist die geometrische Anordnung der Elektroden in der Photozelle so gewählt, dass die Anode kaum vom Licht getroffen wird, sondern nur die Kathode. Ansonsten könnte es passieren, dass die Anode mit der Zeit durch K- Atome von der Kathode verunreinigt wird und selbst anfängt, Elektronen auszusenden. Außerdem dürfte die Austrittsarbeit der Anode sehr viel höher sein als die der Kathode. Dadurch wird kein Elektron ausgelöst, selbst wenn sie von einem Photon getroffen wird, das genügend Energie trägt, um ein Elektron aus dem Kathodenmaterial zu lösen. Demnach fließt auch kein Strom von der Anode zur Kathode.

3.4 Messung mit Graufilter

Eine Schwächung der Intensität durch den Graufilter verringert zwar den Strom, aber der Nulldurchgang, ab dem Elektronen auf der Anode auftreffen, bleibt gleich im Vergleich zum vorherigen Versuchsteil ohne Graufilter. Daraus lässt sich herleiten, dass die Energie der Photonen, die auf die Elektronen übertragen wird, unabhängig von der Intensität ist. Eine Änderung der Intensität bewirkt nur, dass weniger Photonen auf Elektronen treffen und somit auch weniger Elektronen ausgesandt werden. Diese haben aber immer noch die gleiche Energie wie bei voller

Intensität. Die Messwerte für kleine Spannungen lieferten einen Abschwächfaktor τ von 75%, bei größeren Spannungen nur noch 60%. Da der Graufilter aber nicht von der Spannung beeinflusst wird, muss es sich hierbei um Messfehler handeln.

3.5 Messung der Gegenspannung, die erforderlich ist, um den Strom auf Null abzusenken

Noch einmal sollte bei verschiedenen Wellenlängen die Gegenspannung gemessen werden, diesmal allerdings sollte der Photostrom 0 sein.

Wellenlänge [nm]	Batteriespannung [V]
360	1.67
400	1.15
440	0.89
490	0.55
540	0.4
590	0.14

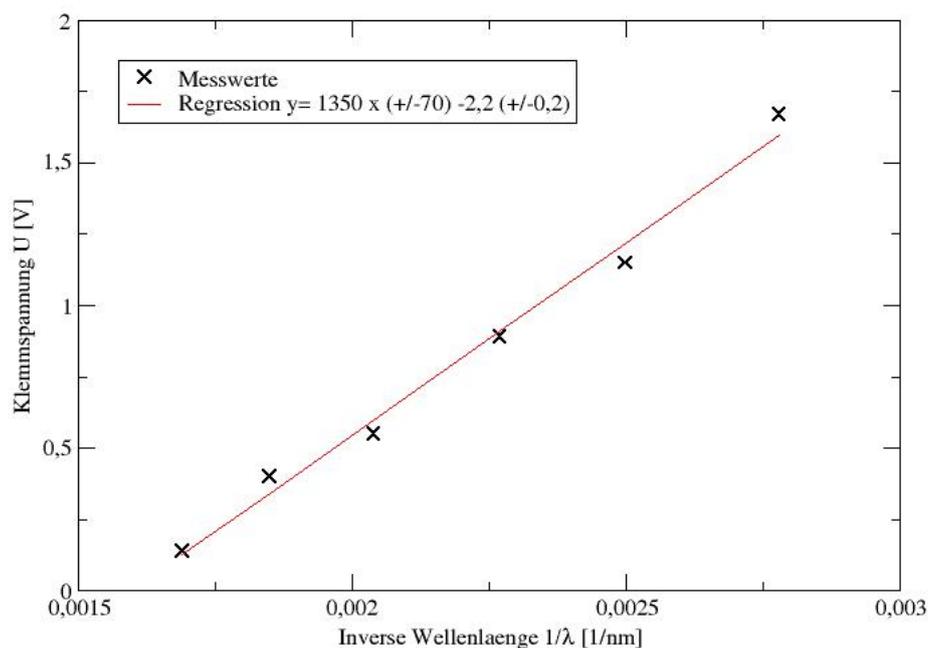


Abbildung 6: Gegenspannung bei verschiedenen Wellenlängen (λ^{-1}), $I=0$

Die Berechnung von $\frac{h}{e}$ ergab hier:

$$\frac{h}{e} = \frac{a}{c} = \frac{1350[Vnm]}{2.99 \cdot 10^{27}[nm/s]} = 4.52 \cdot 10^{-15} \left[\frac{Js}{C} \right]$$

Diese Messung lieferte also den ungenauesten Wert, der aber mit 8% Abweichung vom Literaturwert immer noch im akzeptablen Bereich liegt.

4 Fazit

Der Quotient aus Wirkungsquantum und Elementarladung konnte relativ genau bestimmt werden. Insbesondere die Mehrfachmessungen bei Aufgabe 3.1 lieferten erfreulich gut reproduzierbare Werte, während das Ergebnis der Gegenfeldmessung dem Literaturwert am nächsten kam. Durch Variation der Intensität und Wellenlänge konnte gezeigt werden, dass die Energie, die Photonen beim Photoeffekt auf die Elektronen der Kathode übertragen, nur von der Wellenlänge abhängig ist, die Anzahl der auftreffenden Photonen dagegen von der Intensität.