

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
DORTMUND

ANFÄNGERPRAKTIKUM PHYSIK
SOMMERSEMESTER
2014

V500
Photoeffekt

06.05.2014

1. ABGABE: 13.05.2014

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 Versuches aufgenommenen Messwerte und die aus diesen berechneten Ergebnisse tabellarisch aufgeführt. An entsprechender Stelle sind Erklärungen und Anmerkungen zu den angestellten Rechnungen und Ergebnissen gegeben. Die Fehler der Messwerte wurden allgemein mit der kleinsten Skaleneinteilung des jeweiligen Messgerätes abgeschätzt.

4.1 Messung des Photostroms für die Spektrallinien von Quecksilber

Die Messwerte für die fünf untersuchten Spektrallinie des Quecksilbers sind in den Tabellen 1 bis 5 aufgeführt.

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$0,0 \pm 0,5$	$0,368 \pm 0,001$	$5,0 \pm 0,5$	$0,139 \pm 0,001$
$1,0 \pm 0,5$	$0,293 \pm 0,001$	$6,0 \pm 0,5$	$0,114 \pm 0,001$
$2,0 \pm 0,5$	$0,250 \pm 0,001$	$7,0 \pm 0,5$	$0,101 \pm 0,001$
$3,0 \pm 0,5$	$0,183 \pm 0,001$	$8,0 \pm 0,5$	$0,076 \pm 0,001$
$4,0 \pm 0,5$	$0,157 \pm 0,001$	$9,0 \pm 0,5$	$0,065 \pm 0,001$

Tabelle 1: Messwerte der orangenen Spektrallinie

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$0,0 \pm 0,5$	$0,398 \pm 0,001$	$16,0 \pm 0,5$	$0,206 \pm 0,001$
$2,0 \pm 0,5$	$0,348 \pm 0,001$	$18,0 \pm 0,5$	$0,194 \pm 0,001$
$4,0 \pm 0,5$	$0,318 \pm 0,001$	$20,0 \pm 0,5$	$0,182 \pm 0,001$
$6,0 \pm 0,5$	$0,293 \pm 0,001$	$30,0 \pm 0,5$	$0,126 \pm 0,001$
$8,0 \pm 0,5$	$0,268 \pm 0,001$	$40,0 \pm 0,5$	$0,095 \pm 0,001$
$10,0 \pm 0,5$	$0,250 \pm 0,001$	$50,0 \pm 0,5$	$0,057 \pm 0,001$
$12,0 \pm 0,5$	$0,237 \pm 0,001$	$60,0 \pm 0,5$	$0,027 \pm 0,001$
$14,0 \pm 0,5$	$0,219 \pm 0,001$	$70,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,001$

Tabelle 2: Messwerte der grünen Spektrallinie

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$0,0 \pm 0,5$	$0,460 \pm 0,001$	$3,0 \pm 0,5$	$0,200 \pm 0,001$
$1,0 \pm 0,5$	$0,411 \pm 0,001$	$4,0 \pm 0,5$	$0,157 \pm 0,001$
$1,5 \pm 0,5$	$0,355 \pm 0,001$	$4,5 \pm 0,5$	$0,100 \pm 0,001$
$2,0 \pm 0,5$	$0,300 \pm 0,001$	$5,0 \pm 0,5$	$0,070 \pm 0,001$
$2,5 \pm 0,5$	$0,250 \pm 0,001$	$6,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,001$

Tabelle 3: Messwerte der cyanen Spektrallinie

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$0,0 \pm 0,5$	$0,825 \pm 0,001$	$112,0 \pm 0,5$	$0,367 \pm 0,001$
$10,0 \pm 0,5$	$0,752 \pm 0,001$	$160,0 \pm 0,5$	$0,259 \pm 0,001$
$24,0 \pm 0,5$	$0,677 \pm 0,001$	$185,0 \pm 0,5$	$0,206 \pm 0,001$
$44,0 \pm 0,5$	$0,590 \pm 0,001$	$245,0 \pm 0,5$	$0,101 \pm 0,001$
$84,0 \pm 0,5$	$0,455 \pm 0,001$	$300,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,001$

Tabelle 4: Messwerte der ersten violetten Spektrallinie

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$0,0 \pm 0,5$	$0,943 \pm 0,001$	$34,0 \pm 0,5$	$0,400 \pm 0,001$
$4,0 \pm 0,5$	$0,819 \pm 0,001$	$46,0 \pm 0,5$	$0,306 \pm 0,001$
$10,0 \pm 0,5$	$0,721 \pm 0,001$	$58,0 \pm 0,5$	$0,206 \pm 0,001$
$18,0 \pm 0,5$	$0,615 \pm 0,001$	$70,0 \pm 0,5$	$0,115 \pm 0,001$
$26,0 \pm 0,5$	$0,515 \pm 0,001$	$88,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,001$

Tabelle 5: Messwerte der zweiten violetten Spektrallinie

In den Abbildungen 1 bis 5 sind die radizierten Messwerte des Photostroms gegen die Bremsspannung und die mit Hilfe der Python-Bibliothek *SciPy* [2] erstellte Regressionsgerade eingetragen. Die Regressionsparameter für den Ansatz

$$I_w(U) = a \cdot U + b \quad (1)$$

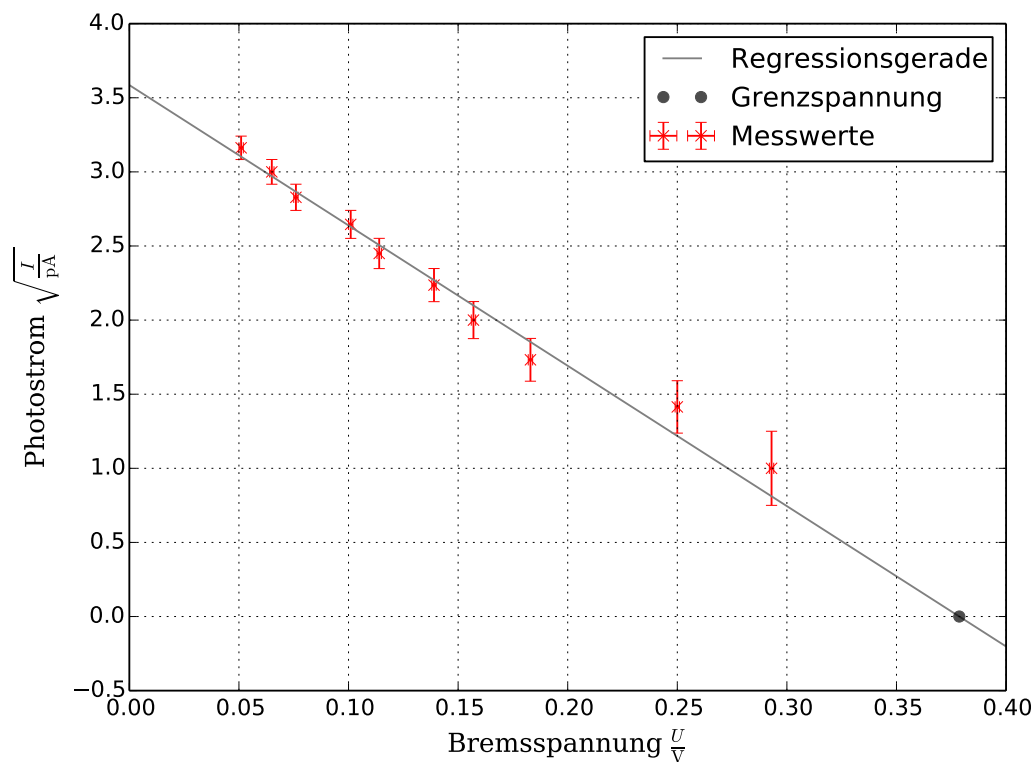
sind für die fünf Spektrallinien in Tabelle 6 zusammen mit den ebenfalls eingezeichneten Grenzspannungen zu finden.

Die berechneten Werte für die Grenzspannungen aus Tabelle 6 sind in ?? gegen die jeweilige Frequenz der Spektrallinie aufgetragen und wiederum eine lineare Regression durchgeführt.

Die Regression mit dem Ansatz

$$U_g(f) = c \cdot f + d \quad (2)$$

Wellenlänge λ [nm]	Frequenz f [PHz]	Steigung a	y-Achsenabschnitt b	Grenzspannung U_g [V]
578	0,519	$-9,5 \pm 0,5$	$3,59 \pm 0,05$	0,379
546	0,549	$-20,7 \pm 0,3$	$8,29 \pm 0,04$	0,401
492	0,609	$-3,5 \pm 0,1$	$2,47 \pm 0,02$	0,705
436	0,688	$-18,3 \pm 0,2$	$17,39 \pm 0,05$	0,949
405	0,740	$-8,5 \pm 0,1$	$9,37 \pm 0,04$	1,097

Tabelle 6: Regressionsparameter der Untersuchung der Spektrallinien**Abbildung 1:** Messwerte und Regression der orangenen Linie

$$c = (3,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-15} \text{ V s} \quad (2a)$$

$$d = (-1,4 \pm 0,2) \text{ V} \quad (2b)$$

Durch Umformung von ?? erhält man eine Gerade der Form $U_g = \frac{h}{e_0} f - \frac{A_k}{e_0}$. Daraus ergibt sich, dass die Steigung der Regressionsgeraden c dem gesuchten Wert für $\frac{h}{e_0}$ und der Betrag des berechneten y-Achsenabschnitts d , dem des Quotienten aus Auslösearbeit und Elementarladung entspricht.

$$\frac{h}{e_0} = (3,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-15} \text{ V s} \quad (3)$$

$$A_k = (1,4 \pm 0,2) \text{ eV} \quad (4)$$

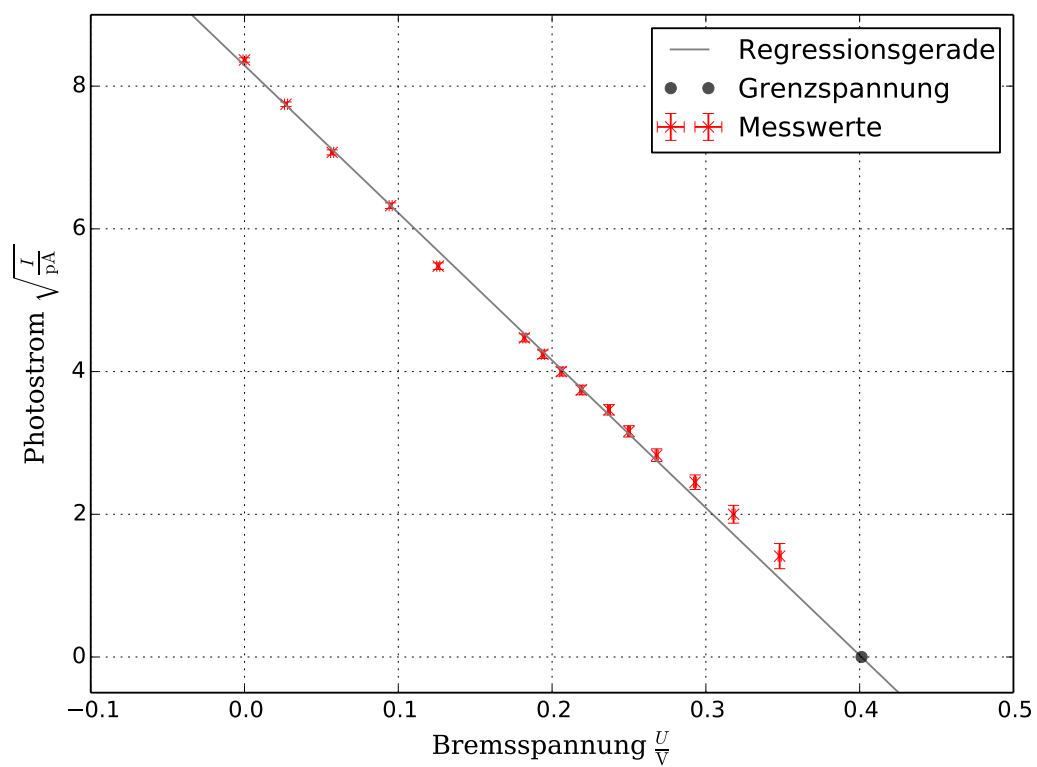


Abbildung 2: Messwerte und Regression der grünen Linie

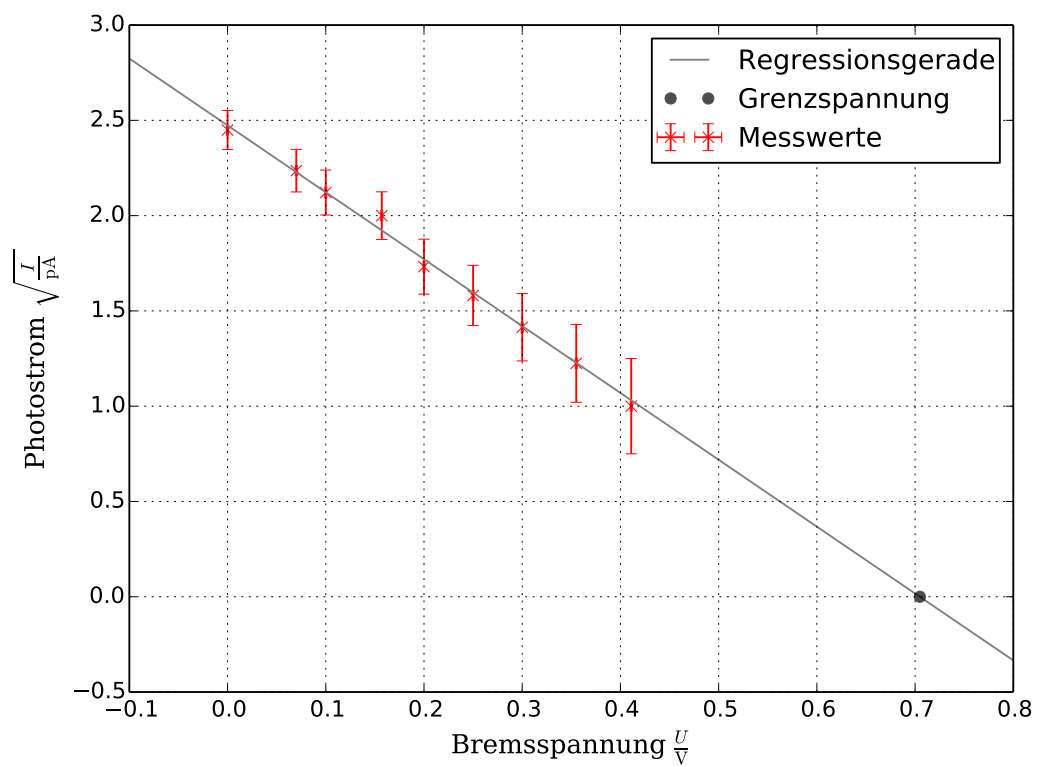


Abbildung 3: Messwerte und Regression der cyanen Linie

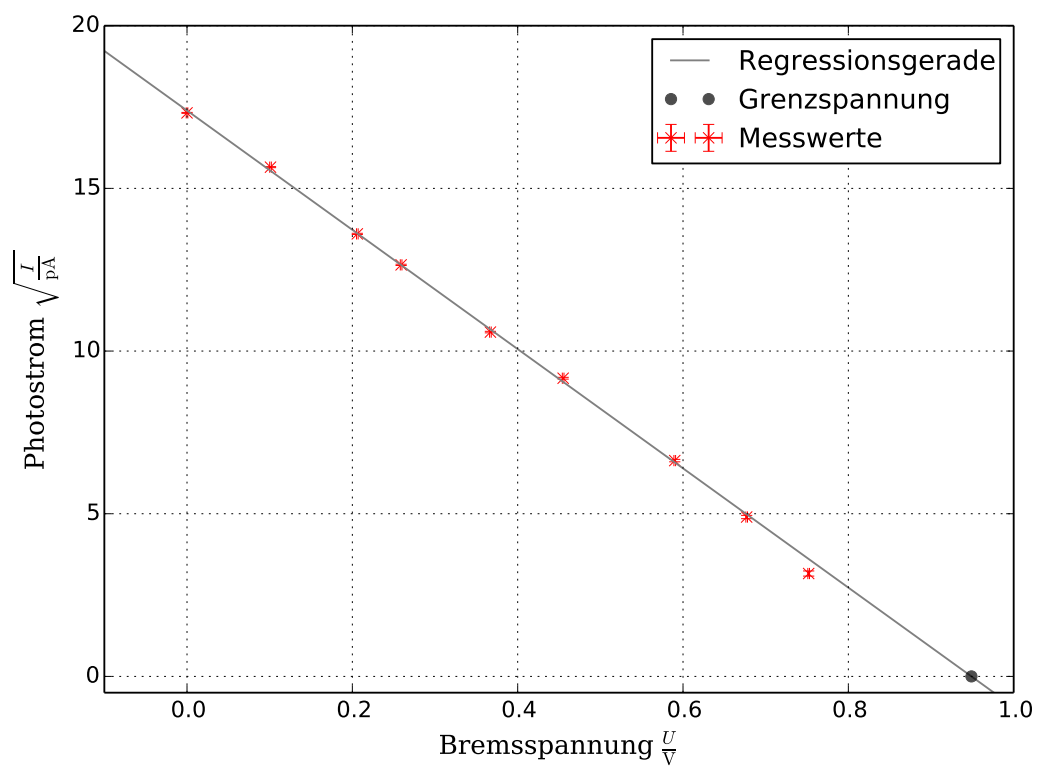


Abbildung 4: Messwerte und Regression der ersten violetten Linie

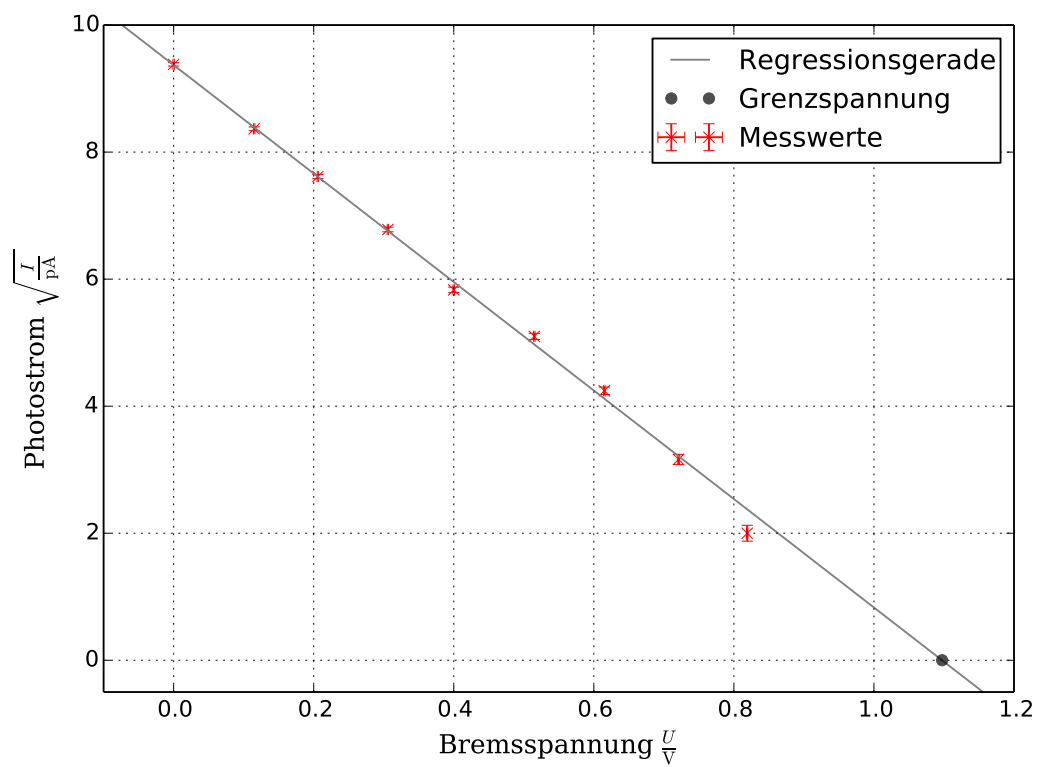


Abbildung 5: Messwerte und Regression der zweiten violetten Linie

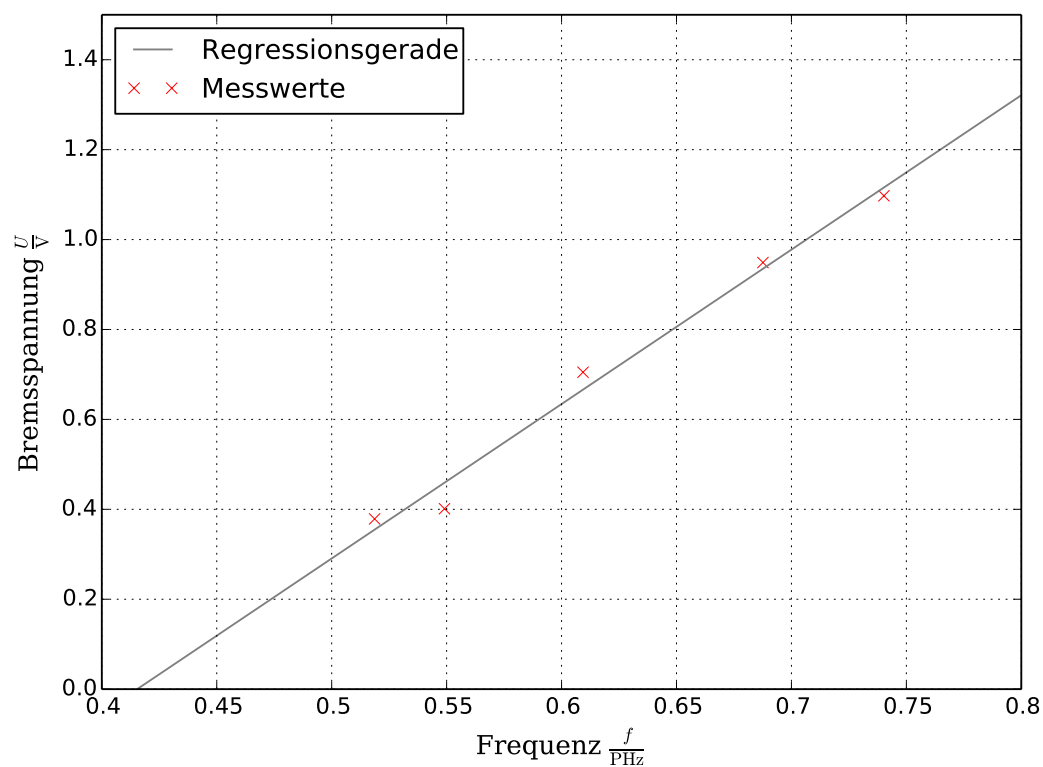


Abbildung 6: Grenzspannung in Abhängigkeit der Frequenz

4.2 Messung der Abhängigkeit des Photostroms von der Bremsspannung

Die in diesem Versuchsteil aufgenommenen Werte sind in Tabelle 7 eingetragen. Die grafische Darstellung dieser Messwerte findet sich in Abbildung 7 wieder.

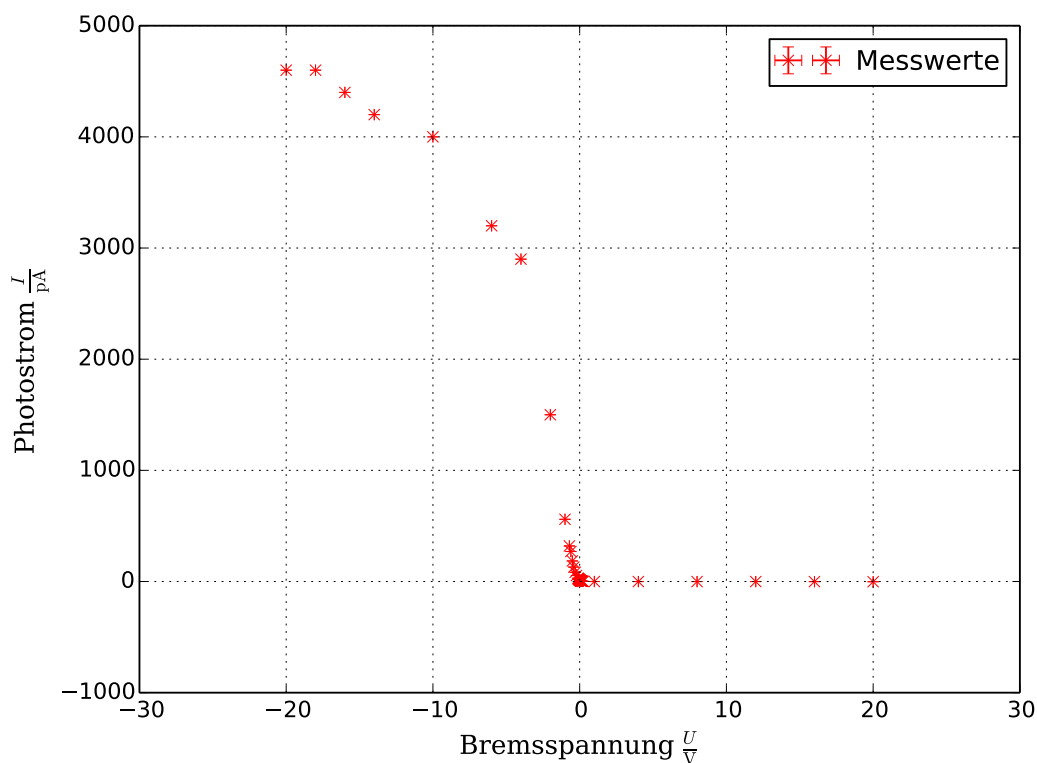


Abbildung 7: Abhängigkeit des Photostroms von der Bremsspannung

5 Diskussion

Im Folgenden werden die in Abschnitt 4 erhaltenen Ergebnisse noch einmal abschließend diskutiert und dabei auf ihre Plausibilität hin überprüft. Dabei wird auch Bezug auf den Versuchsaufbau und die -durchführung genommen.

Die im ersten Versuchsteil aufgenommenen Messdaten, zeigen in der gewählten Darstellung $\sqrt{I} \propto U$ den theoretisch erwarteten linearen Verlauf und sind in sofern plausibel. Weiter ist an den Werten zu erkennen, dass der Photostrom proportional zur Lichtintensität ist. Der Photostrom der intensiven Spektrallinien, wie der ersten violetten Abbildung 4, ist zum Beispiel in Relation zu den wenig intensiven Linien wie der cyanen Abbildung 3 um den Faktor 6 größer. Von den für jede Frequenz unterschiedlichen Grenzspannungen U_g ist abzuleiten, dass die Energie der ausgelösten Elektronen in Abhängigkeit zu der jeweiligen Frequenz steht. Lediglich die Unabhängigkeit der Elektronenenergie von der Lichtintensität konnte mit dem verwendeten Versuchsaufbau nicht untersucht werden, da die Intensität der Spektrallinien nicht verändert werden konnte.

Der durch lineare Regression aus den berechneten Werten der Grenzspannungen U_g und der jeweiligen Frequenz des Lichtes f bestimmte Quotient $\frac{h}{e_0}(3)$ weist mit 17 % eine deutliche Abweichung vom Literaturwert $4,136 \cdot 10^{-15} \text{ V s}$ [2] auf. Dies lässt sich durch die, mit

Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]	Photostrom I [pA]	Bremsspannung U [V]
$-2,0 \pm 0,5$	$20,000 \pm 0,001$	$20,0 \pm 0,5$	$-0,052 \pm 0,001$
$-1,0 \pm 0,5$	$16,000 \pm 0,001$	$22,0 \pm 0,5$	$-0,070 \pm 0,001$
$-0,5 \pm 0,5$	$12,000 \pm 0,001$	$24,0 \pm 0,5$	$-0,080 \pm 0,001$
$-0,5 \pm 0,5$	$8,000 \pm 0,001$	$27,0 \pm 0,5$	$-0,095 \pm 0,001$
$-0,5 \pm 0,5$	$4,000 \pm 0,001$	$30,0 \pm 0,5$	$-0,114 \pm 0,001$
$0,0 \pm 0,5$	$1,000 \pm 0,001$	$54,0 \pm 0,5$	$-0,213 \pm 0,001$
$1,0 \pm 0,5$	$0,237 \pm 0,001$	$83,0 \pm 0,5$	$-0,305 \pm 0,001$
$2,0 \pm 0,5$	$0,200 \pm 0,001$	$130,0 \pm 0,5$	$-0,400 \pm 0,001$
$3,0 \pm 0,5$	$0,151 \pm 0,001$	$185,0 \pm 0,5$	$-0,500 \pm 0,001$
$4,0 \pm 0,5$	$0,126 \pm 0,001$	$270,0 \pm 0,5$	$-0,600 \pm 0,001$
$5,0 \pm 0,5$	$0,107 \pm 0,001$	$320,0 \pm 0,5$	$-0,700 \pm 0,001$
$6,0 \pm 0,5$	$0,086 \pm 0,001$	$560,0 \pm 0,5$	$-1,000 \pm 0,001$
$7,0 \pm 0,5$	$0,070 \pm 0,001$	$1500,0 \pm 0,5$	$-2,000 \pm 0,001$
$8,0 \pm 0,5$	$0,052 \pm 0,001$	$2900,0 \pm 0,5$	$-4,000 \pm 0,001$
$9,0 \pm 0,5$	$0,045 \pm 0,001$	$3200,0 \pm 0,5$	$-6,000 \pm 0,001$
$10,0 \pm 0,5$	$0,033 \pm 0,001$	$4000,0 \pm 0,5$	$-10,000 \pm 0,001$
$11,0 \pm 0,5$	$0,020 \pm 0,001$	$4200,0 \pm 0,5$	$-14,000 \pm 0,001$
$12,0 \pm 0,5$	$0,000 \pm 0,001$	$4400,0 \pm 0,5$	$-16,000 \pm 0,001$
$16,0 \pm 0,5$	$-0,027 \pm 0,001$	$4600,0 \pm 0,5$	$-18,000 \pm 0,001$
$18,0 \pm 0,5$	$-0,039 \pm 0,001$	$4600,0 \pm 0,5$	$-20,000 \pm 0,001$

Tabelle 7: Messwerte der orangenen Spektrallinie bei verschiedenen Bremsspannungen

5 Messung, geringe Anzahl an Messwerten begründen. Im Rahmen dieser Genauigkeit ist es möglich, anhand der erhaltenen Auslösearbeit A_k (4), die eine Stoffkonstante darstellt, das Material der Photokathode zu bestimmen. So ergibt sich aus Vergleichen mit der Literatur [1] Wolfram mit einer Auslösearbeit von $A_k(W) = 1,4 \text{ eV}$ als wahrscheinlichstes Material.

Die Messung zur Abhängigkeit des Photostrom von der Bremsspannung liefern ebenfalls das in der Anleitung [3] beschriebene Ergebnis. Entgegen dem zunächst zu vermutenden Verlauf - konstanter Photostrom bis zur Grenzspannung, danach kein Photostrom - zeigen die Messwerte einen mit steigender Bremsspannung abnehmenden Photostrom, der für große Spannungen, sogar negativ wird. Bei Betrachtung des Verlaufs bei höheren Beschleunigungsspannungen (negative Bremsspannungen) ist zu erkennen, dass sich ein Sättigungswert des Photostroms einstellt.

Der generelle Kurvenverlauf lässt sich durch die Verteilung der Energie der Elektronen in der Photokathode erklären. Da nicht jedes Elektron die gleiche Energie besitzt, sondern diese „Startenergie“ statistisch verteilt ist (Fermi-Dirac-Statistik), ist der Photostrom diesbezüglich nicht nur von der Energie der Photonen abhängig.

Negative Photoströme sind dadurch erreichbar, dass eine hohe Bremsspannung angelegt wird. Durch dies ist es den Elektronen die aus der Photokathode ausgelöst werden nicht

möglich die Anode zu erreichen, da sie nicht genug Energie besitzen. Durch das Auslösen der Elektronen entsteht ein Elektronendefizit auf der Kathode, welches dazu führt, dass sich ein Strom von Anode zu Kathode einstellt, da die Anode im Vergleich einen Elektronenüberschuss aufweist. Für hohe Bremsspannungen, vertauschen sich demnach die Rollen von Kathode und Anode. Tritt dieser Effekt schon bei energiearmen Licht auf, so ist darauf zu schließen, dass das Anodenmaterial eine dem Kathodenmaterial ähnliche Auslösearbeit besitzt, da nur wenig Energie nötig ist um die Elektronen aus der Anode auszulösen.

Die Einstellung eines Sättigungswertes für hohe beschleunigende Spannungen ist durch die Abhängigkeit des Photostroms von der Lichtintensität zu begründen. Dies ist der Fall, da für eine feste Intensität (Energie pro Zeit und Fläche) pro Zeiteinheit eine feste Anzahl an Elektronen ausgelöst wird, da jedes Photon höchstens ein Elektron auslösen kann. Das Erhöhen der beschleunigenden Spannung führt nun dazu, dass alle Elektronen die pro Zeit ausgelöst werden auch die Anode erreichen. Diese Anzahl an Elektronen pro Zeit (Strom) ist wie oben erklärt durch die Intensität begrenzt und somit auch der resultierende Photostrom.

Literatur

- [1] Günther Simon Dietmar Mende. *Physik. Gleichungen und Tabellen*. 16. Aufl. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag München, 2009.
- [2] *SciPy*. URL: <http://docs.scipy.org/doc/> (besucht am 21.04.2014).
- [3] *Versuchsanleitung. V501 Photoeffekt*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V500.pdf> (besucht am 09.05.2014).