

# **Versuchsbericht**

## **P402 Quantelung von Energie**

Gabriel Remiszewski und Christian Fischer

durchgeführt am 18/19.10.2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsteil</b>	<b>2</b>
2.1	Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums . . . . .	2
2.1.1	Versuchsaufbau . . . . .	2
2.1.2	Messung . . . . .	2
2.1.3	Auswertung . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>5</b>
<b>A</b>	<b>Messwerte: Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums</b>	<b>6</b>

# 1. Einleitung

[skript]

## 2. Versuchsteil

### 2.1. Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

#### 2.1.1. Versuchsaufbau

Um mithilfe des Photoeffekts das plancksche Wirkungsquantum  $h$  zu bestimmen wird der in Abb. 1 skizzierte Aufbau auf einer Optikbank befestigt. Als Lichtquelle dient eine Quecksilberdampflampe, dessen Licht nach Durchgang durch eine Blende, mit der die Intensität des Lichts eingestellt werden kann, mit einer Linse der Brennweite  $f = 100\text{ mm}$  auf die Kalium-Kathode der Photozelle scharf abgebildet wird. Die Einzelnen Wellenlängen des Hg-Spektrums werden mithilfe eines Filtrerrads unmittelbar vor der Photozelle selektiert, wobei zwischen beiden Elementen ein Rohr angebracht wird, welches Streulicht begrenzen soll. Dabei wird mit der Blende vor der Lampe sowie der Blende vor dem Filtrerrad so eingestellt, dass das Licht die Kathode beleuchtet, jedoch nicht den Anodenring oder die schwarze Fläche an der Öffnung der Schutzkappe der Photozelle.

Zur Spannungserzeugung steht ein 12 V Netzteil zur Verfügung. Beide schwarzen Kabel der Anode werden an den negativen Pol des Netzteils angeschlossen und das BNC-Kabel der Kathode mit dem zur Verfügung stehenden Messverstärker. Der andere Anschluss des Netzteils wird mit der Masse des Verstärkers angeschlossen. Der Photostrom wird mit einem Digitalmultimeter gemessen, welches in Reihe hinter den Verstärker geschaltet wird. Die angeschlossene Grenzspannung wird mit einem parallel zur Spannungsquelle geschalteten Multimeter gemessen.

Es ist möglich, dass ohne Photostrom des Verstärker trotzdem einen Strom ausgibt. Mithilfe eines Tasters lässt sich die Schaltung kurzschließen, wodurch kein Strom am Verstärker ankommt und damit an einem Regler der Ausgangsstrom in die Nulllage kalibriert werden kann.

Da die vom Netzteil zu Verfügung stehenden 12 V nicht vollständig in der Durchführung ausgeschöpft werden, wird mit zwei geeigneten Widerständen ein Spannungsteiler vorgeschaltet. Wird über dem Widerstand  $R_2$  die Spannung abgegriffen, so gilt für diese die Spannungsteilergleichung

$$U = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

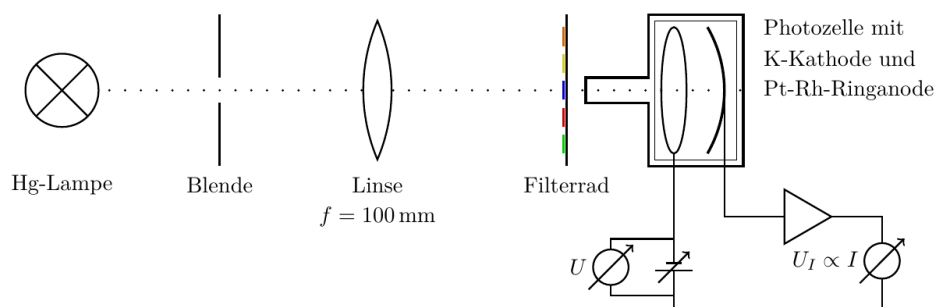


Abbildung 1: Versuchsaufbau: Photoelektrische Bestimmung des planckschen Wirkungsquantums.[QUELLE!]

#### 2.1.2. Messung

Im Folgenden wird mit  $U$  die am Spannungsteiler abgegriffene Spannung bezeichnet und der Photostrom mit  $I$ . Der Messverstärker wandelt Ströme von  $1\text{ nA}$  in  $1\text{ V}$  um, weshalb zwar mit dem Multimeter eine Spannung gemessen wird, diese trotzdem mit einem  $I$  bezeichnet wird. Der Strom entsteht, wenn energiereiche Photonen auf die Kathode treffen und Elektronen befreien, die von der Anode wieder abgefangen werden.

Beide Elektroden besitzen verschiedene Austrittsarbeiten, weshalb sich die Fermi-Niveaus dieser unterscheiden. Bei leitender Verbindung gleichen sich die Niveaus aus, wodurch ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden aufgebaut wird[QUELLE?]. Die Energiebilanz der eintreffenden Elektronen ist

$$E_{\text{kin}} = h\nu - (W_A - W_K) - W_K = h\nu - W_A$$

wobei der Subskript K für die Kathode, A für die Anode und  $\nu$  für die Lichtfrequenz steht. Mit dem Netzteil wird eine Gegenspannung eingestellt und so lange erhöht, bis der Anodenstrom verschwindet. In diesem Falle verschwindet die kinetische Energie der Elektronen und es ergibt sich bei der Grenzspannung  $U_0$  die Gleichung

$$eU_0 = h\nu - W_A \quad (2)$$

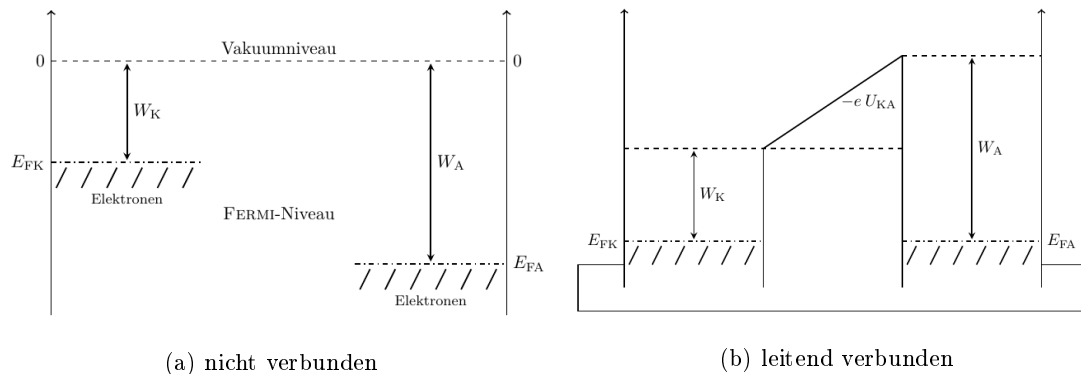


Abbildung 2: Kontaktpotential zwischen zwei Elektroden

Bei dem energiereichsten Licht der Wellenlänge 365 nm wird eine Grenzspannung von unter 2.0 V benötigt, weshalb mit den vorhandenen Widerständen von 100  $\Omega$  und 333  $\Omega$  nach Gleichung (1) eine maximale Spannung von

$$U_{\text{max}} = 2.77 \text{ V}$$

eingestellt wird.

Aufgrund dessen, dass ein minimaler Anodenstrom  $I_0$  auch vorhanden ist, wo Elektronen aus der Anode in die Kathode eintreffen, wird die Messung verfälscht. Um die Grenzspannung bestimmen zu können, wird für jede Wellenlänge eine Kennlinie im gesamten Gegenspannungsbereich gemessen, angefangen bei 0 V. Da zusätzliche Intensitätsfluktuationen auftreten können, wird jede Kennlinie zweimal gemessen.

Für die Wellenlänge 365 nm wird die Messung bei einer erhöhten Intensität erneut gemessen, um deren Einfluss untersuchen zu können.

### 2.1.3. Auswertung

Aus den Kennlinien der Photozelle lässt sich die Grenzspannung bestimmen. In Abb. 3 sind die Messreihen bei einem Filter bei 365 nm dargestellt (die restlichen Messdaten sind im Anhang A zu finden). Die Spannungsmessung besitzt lediglich einen Ablesefehler der letzten angezeigten Ziffer, weshalb der Fehler jedes Messwertes bei  $\Delta U = 1 \text{ mV}$  liegt. Die Strommessung war teilweise starken Fluktuationen ausgesetzt, weshalb der Fehler  $\Delta I$  individuell an diese Schwankung angepasst wird. Für die meisten Messwerte bestimmt somit der Fehler des Photostroms die größte Unsicherheit, da der zur Messgröße relative Fehler deutlich größer ausfällt.

Im Anlaufgebiet der Photozelle wächst der Strom quadratisch mit der Gegenspannung an[QUELLE], weshalb für die Wurzel dessen ein linearer Zusammenhang der Form

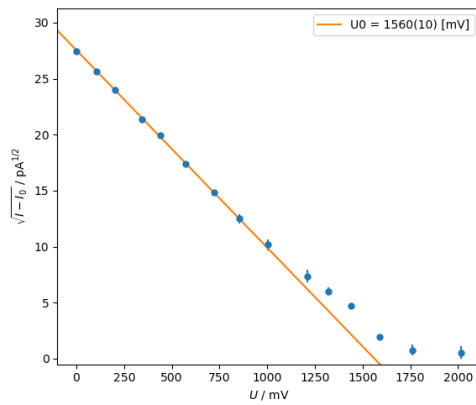
$$\sqrt{I - I_0} = m \cdot U + b$$

erwartet wird, wobei  $I_0$  bei maximaler eingestellter Gegenspannung abgelesen wird. Nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung[QUELLE] gilt für den dazugehörigen Fehler

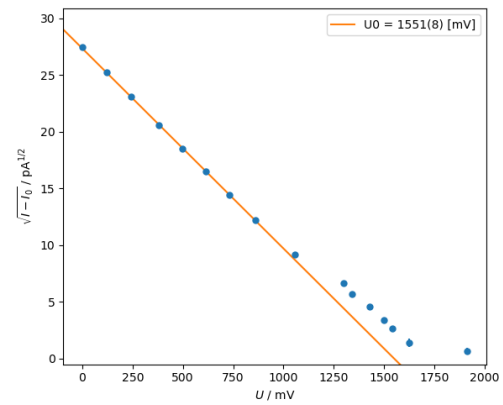
$$\Delta \sqrt{I - I_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{\sqrt{I - I_0}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0}{\sqrt{I - I_0}}\right)^2}$$

Abbildung 3: Kennlinie 365 nm

erste Messung		zweite Messung	
$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$	$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$
0	732(3)	0	732(4)
107	638(4)	120	613(4)
203	556(2)	242	510(3)
343	436(5)	381	402(2)
439	375(5)	497	321(1)
572	282(2)	615	250(1)
721	198(2)	733	186(1)
853	135(5)	861	127(1)
1003	82(5)	1057	62,5(5)
1210	33(4)	1299	22,5(5)
1322	15(2)	1340	10,5(5)
1440	1,1(5)	1430	-1,2(4)
1589	-17,4(3)	1498	-10,2(5)
1761	-20,6(4)	1624	-20,0(5)
2016	-20,9(3)	1542	-14,9(3)
2782	-21,2(4)	1914	-21,5(2)
		2783	-21,9(2)



(a) erste Messung



(b) zweite Messung

Abbildung 4: Bestimmung der Grenzspannung 365 nm

Für die erste Wellenlänge sind die Kennlinien in Abb. 4 mit einer Ausgleichsgeraden dargestellt, wobei zur Bestimmung der Geraden nur Werte in dem linearen Bereich in Betracht gezogen wurden (Weitere Kennlinien befinden sich im Anhang A Abb. 9 bis 12). Aus der Nullstelle der Geraden wird die Grenzspannung bestimmt mit

$$U_0 = -\frac{b}{m}, \quad \Delta U_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{m}\right)^2 + \left(\frac{b\Delta m}{m^2}\right)^2} \quad (3)$$

### 3. Fazit

## A. Messwerte: Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums

Abbildung 5: Kennlinie 436 nm

erste Messung		zweite Messung	
$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$	$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$
0	510(3)	0	510(10)
87	428(2)	65	440(10)
153	361(2)	159	360(10)
231	290(1)	228	290(10)
318	226(5)	362	191(3)
403	165(3)	428	148(3)
501	112(5)	525	96(1)
616	62(4)	658	46(1)
691	38(2)	736	25(2)
758	22(2)	815	10(2)
837	6(1)	914	-4,4(3)
888	-0,5(3)	1030	-16,4(4)
950	-8,5(5)	1105	-20,4(2)
1032	-16,2(2)	1169	-21,2(1)
1134	-20,6(2)	1302	-21,7(1)
1291	-21,1(1)	2782	-21,8(1)
2783	-21,3(1)		

Abbildung 6: Kennlinie 405 nm

erste Messung		zweite Messung	
$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$	$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$
115	307,6(2)	0	388(3)
273	218(3)	154	281(2)
416	148(2)	311	200,5(2)
590	82(2)	415	147,5(3)
745	39(3)	529	100,0(2)
937	7,4(4)	575	83,5(4)
879	15,0(5)	627	68,2(4)
1006	0,8(4)	699	48,0(2)
1104	-8,2(2)	761	38,0(5)
1208	-16,1(2)	846	21(1)
1406	-20,7(3)	958	4,3(3)
1670	-21,4(4)	1026	-1(1)
2782	-21,1(1)	1121	-10,0(3)
		1206	-16,0(3)
		1388	-20,9(3)
		1677	-21,2(2)
		2183	-21,1(2)

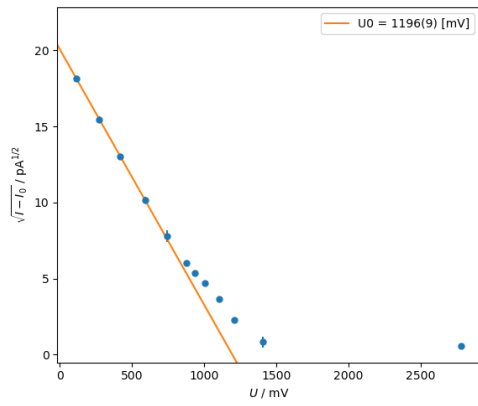
Abbildung 7: Kennlinie 578 nm

erste Messung		zweite Messung	
$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$	$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$
0	85(5)	0	78(4)
31	67(2)	33	65(1)
56	51(1)	68	44(5)
89	37(1)	104	30(3)
120	26(1)	156	12(1)
149	14,5(3)	202	0,0(3)
174	8(2)	257	-9(1)
191	3(1)	318	-17,0(2)
242	-6,1(2)	434	-22,2(2)
276	-11,5(5)	676	-23,4(2)
337	-18,0(5)	2783	-23,4(2)
443	-21,7(1)		
845	-22,7(1)		
2783	-22,7(1)		

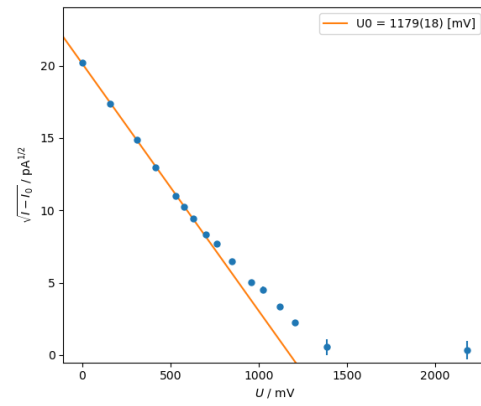
Abbildung 8: Kennlinie 546 nm

erste Messung		zweite Messung	
$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$	$U/\text{mV}$	$I/\text{pA}$
0	280(10)	0	210(10)
34	224,5(5)	71	135(5)
92	155(1)	119	96(3)
131	111(2)	170	56(1)
167	80(1)	214	33(1)
215	49(1)	249	19(1)
264	25,3(3)	277	10(1)
313	7,8(2)	307	2,6(4)
350	-1,3(1)	358	-8(1)
399	-10,5(2)	417	-15,2(2)
451	-16,4(1)	508	-20,8(2)
539	-20,9(1)	557	-22,1(1)
688	-22,3(3)	697	-23,2(3)
976	-22,6(2)	812	-22,9(4)
		2783	-23,5(1)



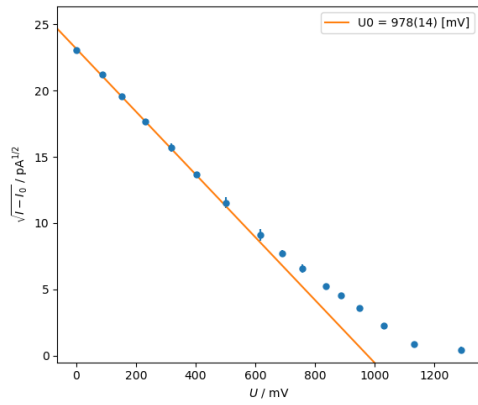


(a) erste Messung

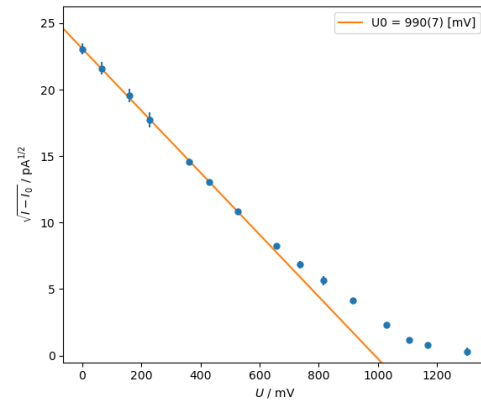


(b) zweite Messung

Abbildung 9: Bestimmung der Grenzspannung 405 nm

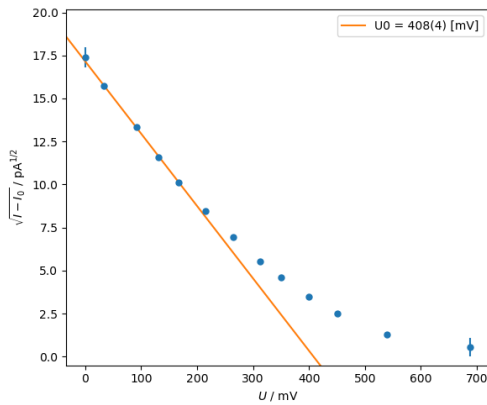


(a) erste Messung

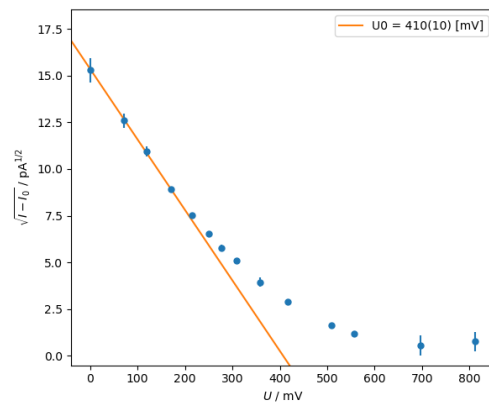


(b) zweite Messung

Abbildung 10: Bestimmung der Grenzspannung 436 nm

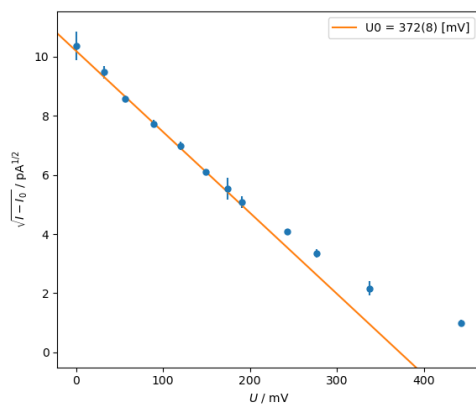


(a) erste Messung

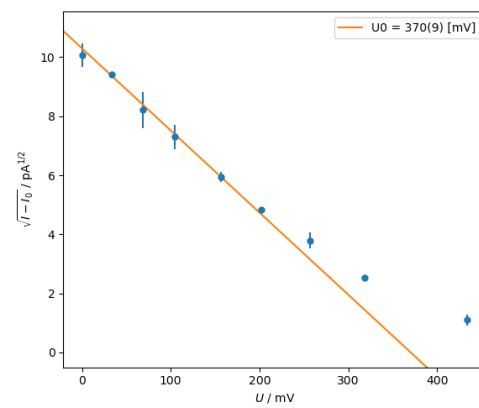


(b) zweite Messung

Abbildung 11: Bestimmung der Grenzspannung 546 nm



(a) erste Messung



(b) zweite Messung

Abbildung 12: Bestimmung der Grenzspannung 578 nm