

PRAKTIKUM 4

ATOME, MOLEKÜLE, KONDENSIERTE MATERIE

Versuch 401: Elektronische Übergänge in Atomen

Gruppe A202

PARTH GADHAVI NOEMI RUPPERT ARIEH THILL

Versuchsdurchführung: 12. / 13. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Der Photoeffekt	2
2.1. Aufbau	2
2.2. Durchführung	2
2.2.1. Energiebilanz der Photoelektronen	3
2.3. Abschätzung des Plankschen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit	5
2.3.1. Bestimmung der Grenzspannung U_0	5
2.3.2. Bestimmung des Plankschen Wirkungsquantums h	5
2.3.3. Bestimmung der Austrittsarbeit W_A	6
2.3.4. Vergleich der Lambda-Kennlinie für unterschiedliche Intensitäten	6
3. Die Balmer-Serie	7
3.1. Grundlagen	7
3.1.1. Bohrsche Atommodell	7
3.1.2. Balmer-Serie	7
3.1.3. Quantenmechanische Betrachtung der Balmer-Serie	7
3.1.4. Isotopieaufspaltung	7
3.1.5. Natürliche Linienbreite und Linienverbreiterungen	7
3.1.6. Reflexionsgitter	7
3.2. Aufbau	8
3.3. Durchführung	8
3.4. Bestimmung der Gitterkonstanten	8
3.5. Bestimmung der Balmerlinien	8
3.5.1. Bestimmung der Isotopieaufspaltung	8
3.5.2. Bestimmung der Rydberg-Konstante und des Plankschen Wirkungsquantum	8
3.6. Weitergehende Überlegungen	8
3.6.1. Möglicher Ursprung der anderen auftretenden Spektrallinien	8
3.6.2. Doppler-Verbreiterung	8
3.6.3. Auflösungsvermögen des Gitters	8
4. Fazit	9
5. Formeln: To be deleted at the end	10
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	15
A. Anhang	16
A.1. Abbildungen	16
A.2. Tabellen	16

1. Einleitung

Ein zentraler Versuch zur Bestätigung des Zusammenhangs zwischen der Quantelung von Energien und Emissions -und Absorptionslinien ist die Untersuchung des Photoeffekts. Die Spektroskopie ermöglicht die Untersuchung des Atomaufbaus, insbesondere durch die Analyse von Spektrallinien, welche einen Ausdruck der Quantelung von Energie sind und in direktem Zusammenhang mit Lichtfrequenzen stehen.

Im ersten Versuchsteil beobachtet man die Energieabhängigkeit des Photoeffekts und es werden das Planksche Wirkungsquantum, sowie die Austrittsarbeit abgeschätzt.

Im zweiten Versuchsteil wird durch Ausmessung der Balmer-Linien das Planksche Wirkungsquantum erneut bestimmt und mit dem Ergebnis aus dem ersten Versuchsteil verglichen.

2. Der Photoeffekt

2.1. Aufbau

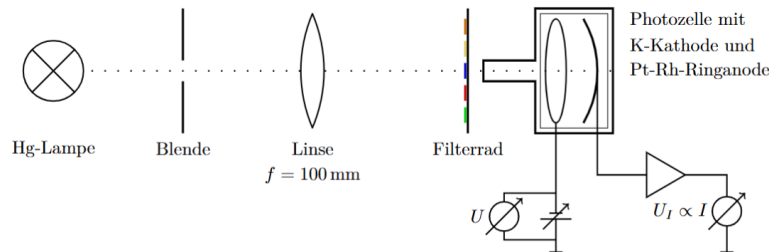


Abbildung 2.1.: Aufbau für die Messung des Photoeffektes [1]

Links ist die Hg-Lampe zu sehen, in der Mitte Optik-Elemente zum Fokussieren und Filtern des Lichtes und rechts ist die Photozelle mit Gegenspannung und Strommessung. Die Quecksilber-Spektrallampe und die Photozelle werden gemäß Abbildung 2.1 gegenüberliegend auf dem Reiter angeordnet. Eine Irisblende vor der Lampe ermöglicht die Regulierung der Lichtintensität. Eine Linse mit einer Brennweite von $f=100\text{ mm}$ wird in diesem Abstand vor die Blende positioniert, sodass sie das Licht parallel auf den nachfolgenden Interferenzfilter mit fünf Filtern sowie eine zusätzliche Blende lenkt.

2.2. Durchführung

Eine Abschirmvorrichtung mit einem röhrenförmigen Element verhindert Streulicht. Ein Lichtfleck wird gezielt auf die Kathode projiziert, ohne, dass die Anode beleuchtet wird.

Wenn Photonen aus der Hg-Lampe auf die Photokathode treffen, interagieren sie mit den Elektronen in dieser und überträgt dabei seine gesamte Energie $E = h\nu$ auf eines der Elektronen. Falls die übertragene Energie größer als die Austrittsarbeit W_A ist, dann kann sich das Elektron aus der Kathode lösen und zur Ringanode gelangen. Dadurch entsteht ein Stromfluss: der Photostrom I_{ph} . Durch den Einsatz der Gegenfeldmethode wird die maximale kinetische Energie, die die Elektronen beim verlassen der Kathode besitzen, bestimmt.

Bei dieser Methode wird eine Gegenspannung U_G zwischen Kathode und Anode angelegt, wodurch die Kathode im Vergleich zur Anode ein positives Potential erhält. Das dadurch erzeugte elektrische Feld verlangsamt die emittierten Elektronen auf ihrem Weg zur Anode, wodurch der Photostrom reduziert wird. Sobald die Grenzspannung U_0 erreicht ist, kommt der Photostrom vollständig zum Erliegen. Dies bedeutet, dass selbst die energiereichsten Elektronen die Anode nicht mehr erreichen können. In diesem Fall gilt die Beziehung: $E_{kin,max} = eU_0$.

Man lässt das Gegenfeld mit Hilfe einer variablen Spannungsquelle, welche sich zwischen der Kathode und der Anode befindet, ansteigen. Man erweitert die Schaltung mit Hilfe eines Spannungsteilers (Abbildung 2.2) aus einem 330Ω und 100Ω Widerstandes um den Messbereich zu skalieren und genauere Messungen durchzuführen.

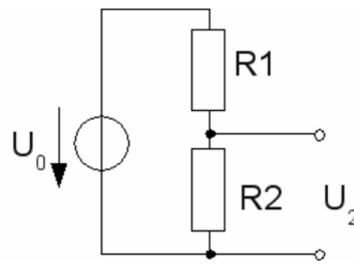


Abbildung 2.2.: Spannungsteiler [2]

Die verwendete Spannungsquelle kann Spannungen von 0 V bis 12 V bereitstellen. Der Photostrom erreicht jedoch bereits bei deutlich geringeren Gegenspannungen seinen Nullpunkt, typischerweise im Bereich von wenigen Volt. Für die Messung der Grenzspannung U_0 genügt daher ein kleiner Teil des gesamten Spannungsbereichs. Die feine Justierung der Gegenspannung ist entscheidend, um den Punkt zu bestimmen, an dem der Photostrom gerade verschwindet.

Es gilt folgender Zusammenhang zwischen der abgefangenen Spannung U_2 , den Widerständen $R_1 = 330\Omega$, $R_2 = 100\Omega$ und U_0 :

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0 \quad (2.1)$$

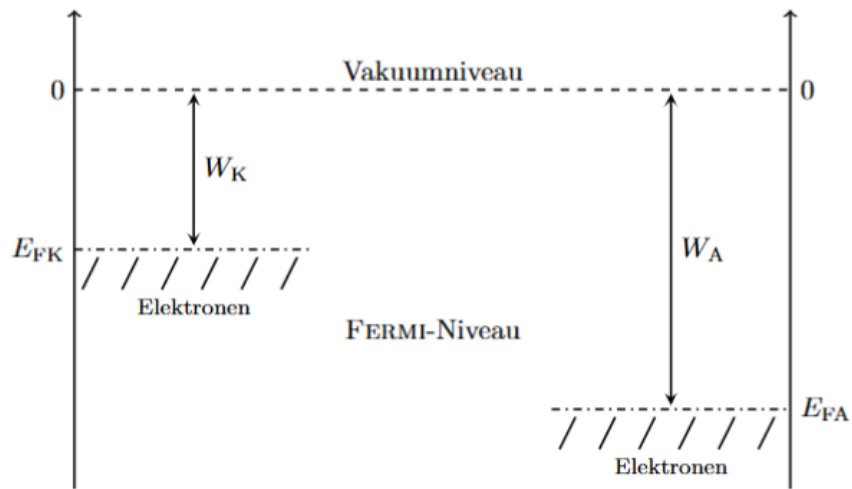
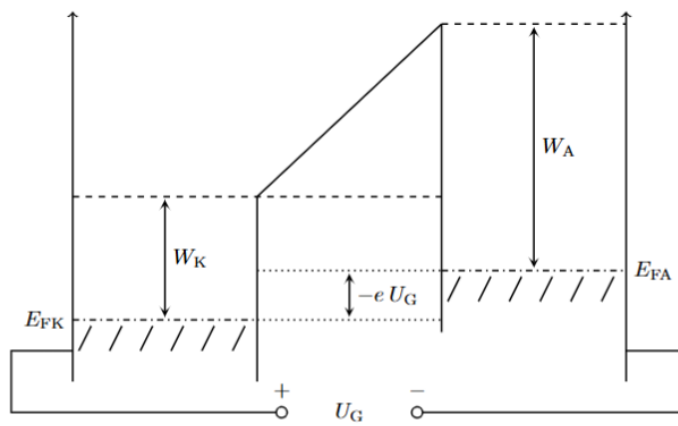
Somit wird der Spannungsbereich auf $[0, 2,8]$ V skaliert.

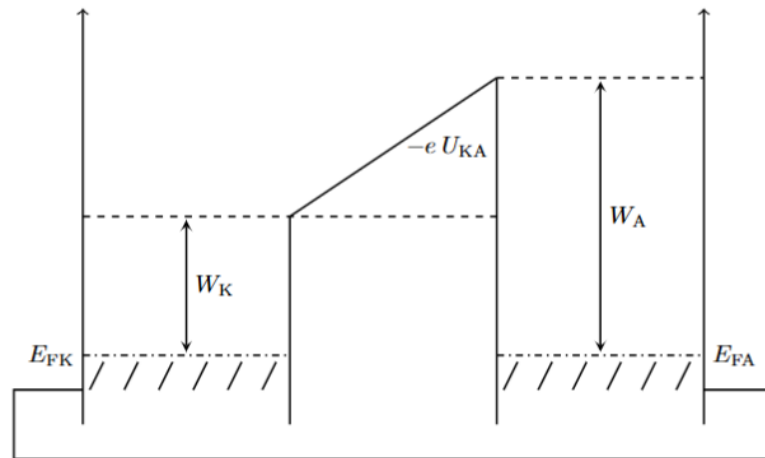
Der Anodenstrom wird über einen Messverstärker erfasst, wobei eine zum Strom proportionale Spannung mit einem Digitalmultimeter (DMM) gemessen wird. Die Gegenspannung stammt aus einem 12V-Gleichspannungsnetzteil, wobei der negative Pol mit der Anode verbunden ist, um die Elektronen abzubremesen. Diese Spannung wird mit einem weiteren DMM gemessen.

Dieser Vorgang wird für je eine unterschiedliche Wellenlänge λ des Lichtes zwei mal wiederholt (zum Ausgleich der Schwankungen), wobei die Wellenlängen mit Hilfe von Interferenzfiltern einstellbar sind.

2.2.1. Energiebilanz der Photoelektronen

Ein Elektron, dass sich in der Kathode befindet, absorbiert ein Photon mit der Energie $E = h\nu$ und verlässt die Kathode, wenn die Energie des Photons größer ist als eine bestimmte Potentialdifferenz sein: die Austrittsarbeit W_K . In Abbildung 2.3, 2.4 und 2.5 sind die Austrittsarbeit W_K der Kathode und die Austrittsarbeit W_A der Anode für unterschiedliche elektrische Anordnungen dargestellt.

Abbildung 2.3.: Fermi-niveaus von Kathode und Anode mit Austrittsarbeit W_A [1]Abbildung 2.4.: Kontaktpotential $-eU_{KA}$ [1]

Abbildung 2.5.: Potential dass von der Gegenspannung $-eU_G$ induziert wird[1]

Laut der Abbildung der Fermi-niveaus 2.3 gilt für die Energiebilanz:

$$E = h\nu = W_K + eU_{KA} + eU_{G,0} = W_K + W_A - W_K + eU_{G,0} = W_A + eU_{G,0} \quad (2.2)$$

Aus der Frequenz des Lichtes können schließlich die Austrittsarbeit der Anode W_A und das Planck'sche Wirkungsquantum h bestimmt werden:

$$eU_{G,0} = h\nu - W_A \quad (2.3)$$

2.3. Abschätzung des Plankschen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit

2.3.1. Bestimmung der Grenzspannung U_0

2.3.2. Bestimmung des Plankschen Wirkungsquantums h

λ [nm]	ν [Hz]	$\overline{U_0}$ [mV]	$\Delta\overline{U_0}$ [mV]
365,00 nm	$8,21 \times 10^{14}$	2124,19	45,39
405,00 nm	$7,40 \times 10^{14}$	1605,23	47,04
463,00 nm	$6,47 \times 10^{14}$	1341,51	57,42
546,00 nm	$5,49 \times 10^{14}$	638,22	59,13
578,00 nm	$5,19 \times 10^{14}$	458,70	24,80

Tabelle 2.1.: Gemittelte Abbremsspannungen $\overline{U_0}$ und deren Unsicherheiten gegen die jeweiligen Frequenzen.

Parameter	Wert
Steigung m [mV Hz ⁻¹]	$5,457 \times 10^{-12} \pm 2,953 \times 10^{-13}$
Achsenabschnitt b [mV]	$-2,360 \times 10^3 \pm 1,842 \times 10^2$
χ^2	11,56
Freiheitsgrade (dof)	3
χ^2/dof	3,85

Tabelle 2.2.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits von \overline{U}_0 gegen ν .

$$h = (8,743 \pm 0,473) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

2.3.3. Bestimmung der Austrittsarbeit W_A

$$W_A = (3,781 \pm 0,295) \times 10^{-19} \text{ J } ((2,360 \pm 0,184) \text{ eV})$$

2.3.4. Vergleich der Lambda-Kennlinie für unterschiedliche Intensitäten

3. Die Balmer-Serie

3.1. Grundlagen

3.1.1. Bohrsche Atommodell

Im Bohrschen Atommodell bewegen sich die Elektronen auf bestimmten Kreisbahnen. Diese Kreisbahnen sind ein ganzzahliges Vielfaches der De Broglie Wellenlänge. Wegen dem Kräftegleichgewichts zwischen Coulombkraft und Zentripetalkraft ergeben sich für die Radien der Kreisbahnen der Elektronen:

$$r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi \mu Z e^2} = \frac{n^2}{Z} a_0 \quad (3.1)$$

Wobei h das Plancksche Wirkungsquantum, μ die reduzierte Masse des Elektrons, Z die Ladungsmenge, e die Elementarladung, $n \in \mathbf{N}$, a_0 der Bohrsche Radius ist.

3.1.2. Balmer-Serie

Elektronen können ihre Bahn wechseln, indem sie Energie in Form elektromagnetischer Wellen mit der Frequenz ν absorbieren oder emittieren, wobei ihre Energie durch $E = h\nu$ bestimmt wird. Die Lichtfrequenz während der Anregung oder Abregung eines Elektrons von einem Energieniveau zu einem Niveau folgt dem Zusammenhang:

$$\nu = R_\infty c Z^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (3.2)$$

Dadurch wird die Energiedifferenz zwischen den beiden Zuständen mit Quantenzahlen n und m gegeben. Wobei R_∞ der Rydberg-Konstante entspricht.

Für ein Wasserstoffatom gilt $Z = 1$ und mit $n = 2$ und $m > 2$ und man erhält die Balmer-Serie an Frequenzen die beobachtet werden und welche im sichtbaren Bereich sind.

3.1.3. Quantenmechanische Betrachtung der Balmer-Serie

3.1.4. Isotopieaufspaltung

Ein Isotop von Wasserstoff ist Deuterium: sein Kern besteht aus einem Proton und einem extra Neutron. Bei der Rydberg-Konstante muss dies berücksichtigt werden. Daraus folgt eine Verschiebung der Energie des emittierten Lichtstrahls. Bei diesen Kernen weist sich der relative Massenunterschied besonders groß auf, wodurch die Verschiebung besonders deutlich sichtbar ist.

3.1.5. Natürliche Linienbreite und Linienverbreiterungen

3.1.6. Reflexionsgitter

Funktionsweise

Auflösevermögen

3.2. Aufbau

3.3. Durchführung

3.4. Bestimmung der Gitterkonstanten

3.5. Bestimmung der Balmerlinien

3.5.1. Bestimmung der Isotopieaufspaltung

Ermittlung des Peakschwerpunktes

Ermittlung der Halbwertsbreite

3.5.2. Bestimmung der Rydberg-Konstante und des Plankschen Wirkungsquantum

Rydberg-Konstante

Planksche Wirkungsquantum

3.6. Weitergehende Überlegungen

3.6.1. Möglicher Ursprung der anderen auftretenden Spektrallinien

3.6.2. Doppler-Verbreitung

3.6.3. Auflösungsvermögen des Gitters

4. Fazit

5. Formeln: To be deleted at the end

Spannungsteiler

$$U = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{\text{ges}} \quad (5.1)$$

mit U als Spannung am Widerstand R_2 , R_1 und R_2 als Widerstände und U_{ges} als Gesamtspannung.

Energieerhaltung

$$h f = E_{\text{kin}} + W_A, \quad E_{\text{kin}} = e U_G \quad (5.2)$$

mit h dem Planckschen Wirkungsquantum, f der Photonfrequenz, e der Elementarladung, U_G der Gegenspannung und W_A der Austrittsarbeit.

Fehlerfortpflanzung I

$$\Delta(\sqrt{I - I_0}) = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{2\sqrt{I - I_0}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0}{2\sqrt{I - I_0}}\right)^2}. \quad (5.3)$$

Beugungsgitter

$$g(\sin \theta_m + \sin \beta) = m \lambda \quad \Rightarrow \quad g = \frac{m \lambda}{\sin \theta_m + \sin \beta} \quad (5.4)$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial \theta_m} \Delta \theta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \beta} \Delta \beta\right)^2}. \quad (5.5)$$

$$\frac{\partial g}{\partial \theta_m} = \frac{m \lambda \cos \theta_m}{(\sin \theta_m + \sin \beta)^2}, \quad \frac{\partial g}{\partial \beta} = \frac{m \lambda \cos \beta}{(\sin \theta_m + \sin \beta)^2}. \quad (5.6)$$

Mittelwert der Gitterkonstante

$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^N (g_i / \Delta g_i)}{\sum_{i=1}^N (1 / \Delta g_i)}, \quad \Delta \bar{g} = \sqrt{\frac{N}{\sum_{i=1}^N 1 / (\Delta g_i)^2}}. \quad (5.7)$$

Isotopenverhältnis

$$\lambda = g(\sin \theta_m + \sin \beta), \quad \frac{\partial \lambda}{\partial \beta} = g \cos \beta, \quad \Delta \beta \approx \frac{d}{f}. \quad (5.8)$$

Fehlerfortpflanzung II

$$\Delta \lambda = \sqrt{\left(\frac{\lambda}{g} \Delta g\right)^2 + \left(g \cos \alpha \Delta \alpha\right)^2 + \left(g \cos \beta \Delta \beta\right)^2}. \quad (5.9)$$

$$\Delta(\Delta \lambda) = \sqrt{\left(\frac{d \cos \beta}{f} \Delta g\right)^2 + \left(\frac{-d \sin \beta}{f g} \Delta \beta\right)^2 + \left(\frac{g \cos \beta}{f} \Delta d\right)^2}. \quad (5.10)$$

Balmer-Formel

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (5.11)$$

$$R_H = \frac{1/\lambda}{\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)}, \quad \Delta R_H = \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n^2} \right)}. \quad (5.12)$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$h = \left(\frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 c R_H} \right)^{1/3}, \quad \Delta h = \frac{1}{3} \left(\frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 c} \right)^{1/3} R_H^{-4/3} \Delta R_H. \quad (5.13)$$

$$U_0 = -\frac{b}{m} \quad (5.14)$$

$$\frac{\partial U_0}{\partial b} = -\frac{1}{m}, \quad \frac{\partial U_0}{\partial m} = \frac{b}{m^2}. \quad (5.15)$$

$$\text{Var}(U_0) = \left(\frac{\partial U_0}{\partial b} \right)^2 \sigma_b^2 + \left(\frac{\partial U_0}{\partial m} \right)^2 \sigma_m^2 + 2 \frac{\partial U_0}{\partial b} \frac{\partial U_0}{\partial m} \text{Cov}(b, m). \quad (5.16)$$

$$\sigma_{U_0} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{m} \right)^2 + \left(\frac{b \sigma_m}{m^2} \right)^2 - 2 \frac{b}{m^3} \text{Cov}(m, b)}. \quad (5.17)$$

$$y = m U + b$$

Literatur

- [1] *Physikalisches Praktikum Teil IV:
Atome, Moleküle, Festkörper*. 15. Apr. 2025. Uni Bonn.
- [2] „Spannungsteiler“. In: (). URL: https://www.homofaciens.de/technics-base-circuits-voltage-divider_ge.htm.

Abbildungsverzeichnis

2.1. Aufbau für die Messung des Photoeffektes [1]	2
2.2. Spannungsteiler [2]	3
2.3. Fermi-niveaus von Kathode und Anode mit Austrittsarbeit W_A [1]	4
2.4. Kontaktpotential $-eU_{KA}$ [1]	4
2.5. Potential dass von der Gegenspannung $-eU_G$ induziert wird[1]	5

Tabellenverzeichnis

2.1. Gemittelte Abbremsspannungen $\overline{U_0}$ und deren Unsicherheiten gegen die jeweiligen Frequenzen.	5
2.2. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits von $\overline{U_0}$ gegen ν	6
A.1. Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 365$ nm und $\lambda = 405$ nm, wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10$ mV, $\Delta U_G = 10$ mV	16
A.2. Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 463$ nm, mit $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10$ mV und $\Delta U_G = 10$ mV.	17
A.3. Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 546$ nm und $\lambda = 578$ nm, wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10$ mV und $\Delta U_G = 10$ mV.	17
A.4. Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 365$ nm (Maximalwerte und 50%-Punkt), wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10$ mV und $\Delta U_G = 10$ mV. . . .	18
A.5. Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 517,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11)$ pA.	18
A.6. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.5.	19
A.7. Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 516,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,40 \pm 10,14)$ pA.	19
A.8. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.7.	19
A.9. Gemessenen Werte für die Messung bei 50 % Intensität und $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 510,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (10,00 \pm 11,00)$ pA.	20
A.10. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die Messung bei $\lambda = 365$ nm mit 50% Intensität. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle ??	20
A.11. Gemessenen Werte für die Messung bei maximaler Intensität und $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1020,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,50 \pm 10,15)$ pA. . .	20
A.12. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die Messung bei $\lambda = 365$ nm mit maximaler Intensität. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.11.	21
A.13. Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 410,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11)$ pA.	21
A.14. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.13.	21
A.15. Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 405,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11)$ pA.	22
A.16. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.15.	22
A.17. Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1487,37$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,60 \pm 10,06)$ pA.	23
A.18. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.17.	23

A.19. Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1502,42$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,01 \pm 10,00)$ pA.	23
A.20. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.19.	24
A.21. Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 698,32$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,06 \pm 0,11)$ pA.	24
A.22. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.21.	24
A.23. Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 682,41$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,00 \pm 0,10)$ pA.	25
A.24. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.23.	25
A.25. Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 578$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 515,14$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,00 \pm 0,10)$ pA.	25
A.26. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 578$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.25.	26
A.27. Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 578$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 501,38$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,02 \pm 0,10)$ pA.	26
A.28. Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.27.	26
A.29. Spektrallinien der Hg-Dampf Lampe 1. Ordnung, gemessen an den Winkelpositionen und beobachteter Farbe. Hierbei ist d die Dicke der Spektrallinien (in Strichpunkten), ω_B der Winkel der optischen Bank und ω_G der Winkel des Gitters.	27
A.30. Spektrallinien der H/Deuterium-Lampe in erster Ordnung. Hierbei ist d die Dicke der Spektrallinien (in Strichpunkten), ω_B der Winkel der Blende und ω_G der Beugungswinkel.	27

A. Anhang

A.1. Abbildungen

Photoeffekt

A.2. Tabellen

Photoeffekt

$\lambda = 365 \text{ nm}$				$\lambda = 405 \text{ nm}$			
Messung 1		Messung 2		Messung 1		Messung 2	
$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$
0,5	2380,0	0,5	2382,0	0,5	900,0	0,5	914,0
30,5	2070,0	35,6	2065,0	41,5	722,0	36,0	740,0
84,2	1630,0	84,6	1624,0	49,4	680,0	53,9	665,0
121,0	1325,0	120,5	1334,0	105,4	450,0	102,0	464,0
152,9	1071,0	156,3	1061,0	149,6	293,8	152,9	286,9,0
160,7	1025,0	170,3	951,0	167,7	245,0	165,6	250,5
182,4	883,0	180,8	892,0	174,5	226,9	178,2	215,6
190,7	823,0	194,8	795,0	201,7	161,2	200,3	164,8
217,9	655,0	219,4	653,0	213,7	139,5	217,5	230,0
270,0	396,0	271,1	392,0	247,4	86,1	254,1	78,8
287,0	333,3	287,4	325,0	267,7	63,5	273,2	58,2
355,7	152,7	359,2	148,8	289,6	45,8	293,0	24,8
396,3	79,9	397,2	95,6	301,9	38,8	304,7	36,5
452,0	32,9	455,0	29,2	352,9	14,8	345,3	17,6
472,0	14,1	477,0	11,7	378,1	5,1	384,8	3,2
517,0	1,1	516,0	1,4	410,0	1,1	405,0	1,1

Tabelle A.1.: Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 365 \text{ nm}$ und $\lambda = 405 \text{ nm}$, wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10 \text{ mV}$, $\Delta U_G = 10 \text{ mV}$

$\lambda = 463 \text{ nm}$			
Messung 1		Messung 2	
$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$
0,5	1107,0	0,5	1130,0
31,1	901,0	34,3	866,0
87,5	537,0	91,9	522,0
133,2	313,1	135,0	307,4
152,1	236,9	152,1	242,8
192,5	126,6	190,6	130,0
227,5	68,5	227,0	68,8
291,0	18,8	287,4	21,1
334,9	1,9	329,2	2,8
345,9	0,6	349,4	0,0

Tabelle A.2.: Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 463 \text{ nm}$, mit $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10 \text{ mV}$ und $\Delta U_G = 10 \text{ mV}$.

$\lambda = 546 \text{ nm}$				$\lambda = 578 \text{ nm}$			
Messung 1		Messung 2		Messung 1		Messung 2	
$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$
0,5	5700,0	0,5	5390,0	0,5	644,0	0,5	565,0
32,7	2155,0	29,0	2444,0	10,7	406,0	10,2	406,0
12,4	3900,0	9,1	4230,0	21,6	287,5	23,6	276,8
52,9	1165,0	51,0	1206,0	31,1	217,2	29,6	225,1
69,9	677,0	61,7	874,0	39,6	169,3	39,6	169,6
60,4	949,0	71,8	645,0	54,9	117,2	50,5	122,7
103,2	212,9	101,0	242,1	62,1	82,6	60,8	84,4
130,7	77,7	128,7	82,2	73,3	55,7	69,6	63,7
150,8	13,8	150,8	18,3	82,2	39,6	83,2	37,6
162,4	6,2	158,7	0,1	119,8	0,0	116,6	2,4

Tabelle A.3.: Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 546 \text{ nm}$ und $\lambda = 578 \text{ nm}$, wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10 \text{ mV}$ und $\Delta U_G = 10 \text{ mV}$.

$\lambda = 365 \text{ nm}$			
Messung max		Messung 50%	
$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$	$U_G [\text{mV}]$	$U_{ph} [\text{mV}]$
0,4	9200,0	0,5	4040,0
100,2	5760,0	106,6	2417,0
200,8	2939,0	203,3	1296,0
259,3	1806,0	235,6	974,0
299,3	1172,0	255,8	806,0
330,4	823,0	279,8	630,0
364,5	549,0	303,6	491,0
402,0	337,6	350,8	282,4
453,0	111,6	404,0	147,8
504,0	12,2	450,0	58,8
1020,0	1,5	510,0	10,0

Tabelle A.4.: Messwerte der Photospannung U_{ph} bei Gegenspannung U_G für $\lambda = 365 \text{ nm}$ (Maximalwerte und 50%-Punkt), wobei $\Delta U_{ph} = 0.1 \cdot U_{ph} + 10 \text{ mV}$ und $\Delta U_G = 10 \text{ mV}$.

$U [\text{mV}]$	$\Delta U [\text{mV}]$	$I [\text{pA}]$	$\Delta I [\text{pA}]$	$\sqrt{I - I_0} [\sqrt{\text{pA}}]$	$\Delta\sqrt{I - I_0} [\sqrt{\text{pA}}]$
2.15	43.00	2380.00	248.00	48.77	2.54
131.15	43.00	2070.00	217.00	45.49	2.39
362.06	43.00	1630.00	173.00	40.36	2.14
520.30	43.00	1325.00	142.50	36.39	1.96
657.47	43.00	1071.00	117.10	32.71	1.79
691.01	43.00	1025.00	112.50	32.00	1.76
784.32	43.00	883.00	98.30	29.70	1.66
820.01	43.00	823.00	92.30	28.67	1.61
936.97	43.00	655.00	75.50	25.57	1.48
1161.00	43.00	396.00	49.60	19.87	1.25
1234.10	43.00	333.30	43.33	18.23	1.19
1529.51	43.00	152.70	25.27	12.31	1.03
1704.09	43.00	79.90	17.99	8.88	1.01
1943.60	43.00	32.90	13.29	5.64	1.18
2029.60	43.00	14.10	11.41	3.61	1.58
2223.10	43.00	1.10	10.11	0.00	0.00

Tabelle A.5.: Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 365 \text{ nm}$. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 517,00 \text{ mV}$, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11) \text{ pA}$.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-2,22 \times 10^{-2} \pm 5,58 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$4,70 \times 10^1 \pm 7,48 \times 10^{-1}$
χ^2	8,28
Freiheitsgrade (dof)	13
χ^2/dof	0,637
Abbremsspannung U_0 [mV]	$2117,12 \pm 62,98$

Tabelle A.6.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.5.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	2382.00	248.20	48.79	2.54
153.08	43.00	2065.00	216.50	45.43	2.38
363.78	43.00	1624.00	172.40	40.28	2.14
518.15	43.00	1334.00	143.40	36.50	1.96
672.09	43.00	1061.00	116.10	32.55	1.78
732.29	43.00	951.00	105.10	30.82	1.71
777.44	43.00	892.00	99.20	29.84	1.66
837.64	43.00	795.00	89.50	28.17	1.59
943.42	43.00	653.00	75.30	25.53	1.47
1165.73	43.00	392.00	49.20	19.76	1.24
1235.82	43.00	325.00	42.50	17.99	1.18
1544.56	43.00	148.80	24.88	12.14	1.02
1707.96	43.00	95.60	19.56	9.71	1.01
1956.50	43.00	29.20	12.92	5.27	1.23
2051.10	43.00	11.70	11.17	3.21	1.74
2218.80	43.00	1.40	10.14	0.00	0.00

Tabelle A.7.: Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 516,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,40 \pm 10,14)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-2,20 \times 10^{-2} \pm 5,73 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$4,69 \times 10^1 \pm 7,63 \times 10^{-1}$
χ^2	8,45
Freiheitsgrade (dof)	13
χ^2/dof	0,650
Abbremsspannung U_0 [mV]	$2131,82 \pm 65,47$

Tabelle A.8.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 365$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.7.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	4040.00	414.00	63.48	3.26
458.38	43.00	2417.00	251.70	49.06	2.57
874.19	43.00	1296.00	139.60	35.86	1.95
1013.08	43.00	974.00	107.40	31.05	1.73
1099.94	43.00	806.00	90.60	28.21	1.61
1203.14	43.00	630.00	73.00	24.90	1.47
1305.48	43.00	491.00	59.10	21.93	1.35
1508.44	43.00	282.40	38.24	16.50	1.16
1737.20	43.00	147.80	24.78	11.74	1.06
1935.00	43.00	58.80	15.88	6.99	1.14
2193.00	43.00	10.00	11.00	0.00	0.00

Tabelle A.9.: Gemessenen Werte für die Messung bei 50 % Intensität und $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 510,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (10,00 \pm 11,00)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-2,79 \times 10^{-2} \pm 9,92 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$5,96 \times 10^1 \pm 1,45$
χ^2	6,55
Freiheitsgrade (dof)	8
χ^2/dof	0,819
Abbremsspannung U_0 [mV]	$2136,20 \pm 92,03$

Tabelle A.10.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die Messung bei $\lambda = 365$ nm mit 50% Intensität. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle ??.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
1.72	43.00	9200.00	930.00	95.91	4.85
430.86	43.00	5760.00	586.00	75.88	3.86
863.44	43.00	2939.00	303.90	54.20	2.80
1114.99	43.00	1806.00	190.60	42.48	2.24
1286.99	43.00	1172.00	127.20	34.21	1.86
1420.72	43.00	823.00	92.30	28.66	1.61
1567.35	43.00	549.00	64.90	23.40	1.39
1728.60	43.00	337.60	43.76	18.33	1.19
1947.90	43.00	111.60	21.16	10.49	1.01
2167.20	43.00	12.20	11.22	3.27	1.72
4386.00	43.00	1.50	10.15	0.00	0.00

Tabelle A.11.: Gemessenen Werte für die Messung bei maximaler Intensität und $\lambda = 365$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1020,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,50 \pm 10,15)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-4,00 \times 10^{-2} \pm 1,57 \times 10^{-3}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$8,76 \times 10^1 \pm 2,64$
χ^2	11,74
Freiheitsgrade (dof)	8
χ^2/dof	1,467
Abbremsspannung U_0 [mV]	$2190,00 \pm 108,37$

Tabelle A.12.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die Messung bei $\lambda = 365$ nm mit maximaler Intensität. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.11.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	900.00	100.00	29.98	1.67
178.45	43.00	722.00	82.20	26.85	1.53
212.42	43.00	680.00	78.00	26.06	1.50
453.22	43.00	450.00	55.00	21.19	1.30
643.28	43.00	293.80	39.38	17.11	1.15
721.11	43.00	245.00	34.50	15.62	1.10
750.35	43.00	226.90	32.69	15.03	1.09
867.31	43.00	161.20	26.12	12.65	1.03
918.91	43.00	139.50	23.95	11.76	1.02
1063.82	43.00	86.10	18.61	9.22	1.01
1151.11	43.00	63.50	16.35	7.90	1.03
1245.28	43.00	45.80	14.58	6.69	1.09
1298.17	43.00	38.80	13.88	6.14	1.13
1517.47	43.00	14.80	11.48	3.70	1.55
1625.83	43.00	5.10	10.51	2.00	2.63
1763.00	43.00	1.10	10.11	0.00	0.00

Tabelle A.13.: Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 410,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-1,81 \times 10^{-2} \pm 5,50 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$2,90 \times 10^1 \pm 5,21 \times 10^{-1}$
χ^2	5,80
Freiheitsgrade (dof)	13
χ^2/dof	0,446
Abbremsspannung U_0 [mV]	$1602,21 \pm 56,56$

Tabelle A.14.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.13.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	914.00	101.40	30.21	1.68
154.80	43.00	740.00	84.00	27.18	1.55
231.77	43.00	665.00	76.50	25.77	1.48
438.60	43.00	464.00	56.40	21.52	1.31
657.47	43.00	286.90	38.69	16.91	1.14
712.08	43.00	250.50	35.05	15.79	1.11
766.26	43.00	215.60	31.56	14.65	1.08
861.29	43.00	164.80	26.48	12.79	1.03
935.25	43.00	230.00	33.00	15.13	1.09
1092.63	43.00	78.80	17.88	8.81	1.01
1174.76	43.00	58.20	15.82	7.56	1.05
1259.90	43.00	24.80	12.48	4.87	1.28
1310.21	43.00	36.50	13.65	5.95	1.15
1484.79	43.00	17.60	11.76	4.06	1.45
1654.64	43.00	3.20	10.32	1.45	3.56
1741.50	43.00	1.10	10.11	0.00	0.00

Tabelle A.15.: Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 405,00$ mV, daraus folgt $I_0 = (1,10 \pm 10,11)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-1,83 \times 10^{-2} \pm 8,30 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$2,95 \times 10^1 \pm 7,84 \times 10^{-1}$
χ^2	12,92
Freiheitsgrade (dof)	13
χ^2/dof	0,994
Abbremsspannung U_0 [mV]	$1612,02 \pm 84,74$

Tabelle A.16.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 405$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.15.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	1107.00	120.70	33.26	1.81
133.73	43.00	901.00	100.10	30.01	1.67
376.25	43.00	537.00	63.70	23.16	1.38
572.76	43.00	313.10	41.31	17.68	1.17
654.03	43.00	236.90	33.69	15.37	1.10
827.75	43.00	126.60	22.66	11.22	1.01
978.25	43.00	68.50	16.85	8.24	1.02
1251.30	43.00	18.80	11.88	4.27	1.39
1440.07	43.00	1.90	10.19	1.14	4.47
1487.37	43.00	0.60	10.06	0.00	0.00

Tabelle A.17.: Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1487,37$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,60 \pm 10,06)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-2,38 \times 10^{-2} \pm 1,22 \times 10^{-3}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$3,18 \times 10^1 \pm 9,47 \times 10^{-1}$
χ^2	6,31
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	0,901
Abbremsspannung U_0 [mV]	$1336,13 \pm 79,21$

Tabelle A.18.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.17.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	1130.00	123.00	33.62	1.83
147.49	43.00	866.00	96.60	29.43	1.64
395.17	43.00	522.00	62.20	22.85	1.36
580.50	43.00	307.40	40.74	17.53	1.16
654.03	43.00	242.80	34.28	15.58	1.10
819.58	43.00	130.00	23.00	11.40	1.01
976.10	43.00	68.80	16.88	8.29	1.02
1235.82	43.00	21.10	12.11	4.59	1.32
1415.56	43.00	2.80	10.28	1.67	3.08
1502.42	43.00	0.01	10.00	0.00	0.00

Tabelle A.19.: Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 1502,42$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,01 \pm 10,00)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-2,36 \times 10^{-2} \pm 1,26 \times 10^{-3}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$3,18 \times 10^1 \pm 9,94 \times 10^{-1}$
χ^2	6,97
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	0,995
Abbremsspannung U_0 [mV]	$1347,46 \pm 83,36$

Tabelle A.20.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 463$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.19.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	57.00	5.80	7.55	0.38
140.61	43.00	21.55	2.25	4.64	0.24
53.32	43.00	39.00	4.00	6.24	0.32
227.47	43.00	11.65	1.26	3.40	0.19
300.57	43.00	6.77	0.78	2.59	0.15
259.72	43.00	9.49	1.05	3.07	0.17
443.76	43.00	2.13	0.31	1.44	0.11
562.01	43.00	0.78	0.18	0.85	0.11
648.44	43.00	0.14	0.11	0.28	0.21
698.32	43.00	0.06	0.11	0.00	0.00

Tabelle A.21.: Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 698,32$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,06 \pm 0,11)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-9,06 \times 10^{-3} \pm 9,59 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$5,71 \pm 4,14 \times 10^{-1}$
χ^2	60,11
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	8,587
Abbremsspannung U_0 [mV]	$630,24 \pm 80,86$

Tabelle A.22.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.21.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	53.90	5.49	7.34	0.37
124.70	43.00	24.44	2.54	4.94	0.26
39.13	43.00	42.30	4.33	6.50	0.33
219.30	43.00	12.06	1.31	3.47	0.19
265.31	43.00	8.74	0.97	2.96	0.16
308.74	43.00	6.45	0.74	2.54	0.15
434.30	43.00	2.42	0.34	1.56	0.11
553.41	43.00	0.82	0.18	0.91	0.10
648.44	43.00	0.18	0.12	0.43	0.14
682.41	43.00	0.00	0.10	0.00	0.00

Tabelle A.23.: Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 682,41$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,00 \pm 0,10)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-8,65 \times 10^{-3} \pm 9,51 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$5,60 \pm 4,28 \times 10^{-1}$
χ^2	69,41
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	9,915
Abbremsspannung U_0 [mV]	$647,40 \pm 86,69$

Tabelle A.24.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die zweite Messung bei $\lambda = 546$ nm. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.23.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	6.44	0.74	2.54	0.15
46.01	43.00	4.06	0.51	2.01	0.13
92.88	43.00	2.88	0.39	1.70	0.11
133.73	43.00	2.17	0.32	1.47	0.11
170.28	43.00	1.69	0.27	1.30	0.10
236.07	43.00	1.17	0.22	1.08	0.10
267.03	43.00	0.83	0.18	0.91	0.10
315.19	43.00	0.56	0.16	0.75	0.10
353.46	43.00	0.40	0.14	0.63	0.11
515.14	43.00	0.00	0.10	0.00	0.00

Tabelle A.25.: Gemessenen Werte für die erste Messung bei $\lambda = 578$ nm. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 515,14$ mV, daraus folgt $I_0 = (0,00 \pm 0,10)$ pA.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-4,81 \times 10^{-3} \pm 3,82 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$2,22 \pm 8,54 \times 10^{-2}$
χ^2	8,54
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	1,219
Abbremsspannung U_0 [mV]	$461,54 \pm 40,73$

Tabelle A.26.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung für die erste Messung bei $\lambda = 578 \text{ nm}$. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.25.

U [mV]	ΔU [mV]	I [pA]	ΔI [pA]	$\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]	$\Delta\sqrt{I - I_0}$ [$\sqrt{\text{pA}}$]
2.15	43.00	5.65	0.67	2.37	0.14
43.86	43.00	4.06	0.51	2.01	0.13
101.48	43.00	2.77	0.38	1.66	0.11
127.28	43.00	2.25	0.33	1.49	0.11
170.28	43.00	1.70	0.27	1.29	0.10
217.15	43.00	1.23	0.22	1.10	0.10
261.44	43.00	0.84	0.18	0.91	0.10
299.28	43.00	0.64	0.16	0.78	0.10
357.76	43.00	0.38	0.14	0.59	0.12
501.38	43.00	0.02	0.10	0.00	0.00

Tabelle A.27.: Gemessenen Werte für die zweite Messung bei $\lambda = 578 \text{ nm}$. Die Sättigungsspannung liegt bei $U_G = 501,38 \text{ mV}$, daraus folgt $I_0 = (0,02 \pm 0,10) \text{ pA}$.

Parameter	Wert
Steigung m [$\sqrt{\text{pA}}/\text{mV}$]	$-4,77 \times 10^{-3} \pm 2,95 \times 10^{-4}$
Achsenabschnitt b [$\sqrt{\text{pA}}$]	$2,18 \pm 6,37 \times 10^{-2}$
χ^2	4,80
Freiheitsgrade (dof)	7
χ^2/dof	0,685
Abbremsspannung U_0 [mV]	$457,02 \pm 31,26$

Tabelle A.28.: Ergebnisse des gewichteten linearen χ^2 -Fits zur Bestimmung der Abbremsspannung. Die hier gezeigten Werte stammen aus Tabelle A.27.

Balmer-Serie

Spektrallinie Hg							
ω_B [°]	$\Delta\omega_B$ [°]	Spektrallinien	ω_G [°]	$\Delta\omega_G$ [°]	Farbe	Dicke d [Skt]	Δd [Skt]
145,0	0,5		48,0	0,5	violett	4	1
145,0	0,5		49,0	0,5	violett	2	1
145,0	0,5		49,5	0,5	violett	2	1
145,0	0,5		50,5	0,5	violett/blau	3	1
145,0	0,5		51,0	0,5	violett/blau	3	1
145,0	0,5		51,0	0,5	blau	4	1
145,0	0,5		55,5	0,5	türkis	1	0,1
145,0	0,5		61,0	0,5	grün	3	1
145,0	0,5		64,0	0,5	gelb	5	1
145,0	0,5		64,5	0,5	gelb	5	1
145,0	0,5		69,0	0,5	rot	5	1
135,0	0,5		68,0	0,5	grün	8	1
135,0	0,5		71,0	0,5	gelb	10	1
135,0	0,5		71,5	0,5	gelb	11	1
155,0	0,5		61,0	0,5	rot	1	0,1
155,0	0,5		61,5	0,5	rot	1	0,1
155,0	0,5		62,5	0,5	rot	2	1

Tabelle A.29.: Spektrallinien der Hg-Dampfampe 1. Ordnung, gemessen an den Winkelpositionen und beobachteter Farbe. Hierbei ist d die Dicke der Spektrallinien (in Strichpunkten), ω_B der Winkel der optischen Bank und ω_G der Winkel des Gitters.

Spektrallinie H/Deuterium							
ω_B [°]	$\Delta\omega_B$ [°]	Spektrallinien	ω_G [°]	$\Delta\omega_G$ [°]	Farbe	d [Skt]	Δd [Skt]
145,0	0,5		51,0	0,5	violett	3	1
145,0	0,5		55,5	0,5	türkis	1	0,1
155,0	0,5		61,5	0,5	rot	1	0,1

Tabelle A.30.: Spektrallinien der H/Deuterium-Lampe in erster Ordnung. Hierbei ist d die Dicke der Spektrallinien (in Strichpunkten), ω_B der Winkel der Blende und ω_G der Beugungswinkel.