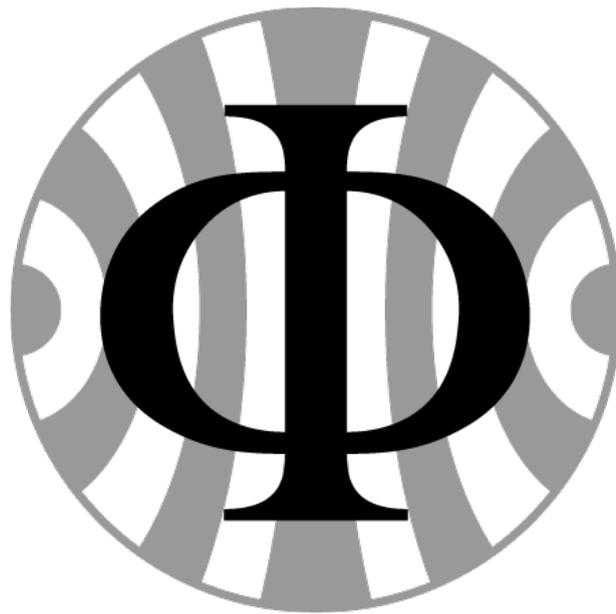


# Versuch 234 Lichtquellen und Gitterspektroskopie

PAP 2.1, [1]

02.12.2024



[2]

Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 4

Kurs: Montags

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Messverfahren . . . . .	1
1.3	Grundlagen aus der Physik . . . . .	1
1.3.1	Schwarzkörper-Strahlung: . . . . .	1
1.3.2	Atomare Spektren . . . . .	2
1.3.3	Beugung und Spektrometerauflösung . . . . .	2
1.3.4	Absorption und Fraunhofer-Linien . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
2.1	Messprotokol . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
3.1	Bestimmung der Absorption von Glas . . . . .	4
3.2	Vergleich vieler Lichtquellen . . . . .	4
3.2.1	Diskussion dieser Ergebnisse . . . . .	5
3.3	Natriumspektrum . . . . .	6
3.3.1	Ermitteln der Energie $E_{3p}$ . . . . .	6
3.3.2	Wellenlängen der ersten Nebenserie . . . . .	6
3.3.3	Bestimmung von $E_{3s}$ . . . . .	7
3.3.4	Wellenlängen der zweiten Nebenserie . . . . .	7
3.4	Korrekturfaktor $\Delta_p$ . . . . .	7
3.5	Wellenlängen der Hauptserie . . . . .	8
3.6	Aus Wellenlänge erneut Parameter bestimmen . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Anhang</b>	<b>10</b>
	<b>Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Das Experiment zielt darauf ab, die spektralen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen, darunter Glühlampen, LEDs und Gasentladungslampen, mit einem Beugungsgitterspektrometer zu untersuchen. Dabei erarbeiten wir uns die grundlegenden Prinzipien der Lichtemission, vergleichen die Eigenschaften von thermischen und nicht-thermischen Strahlungsquellen und sammeln praktische Erfahrungen. Das Experiment trägt auch dazu bei, Konzepte wie Absorptionsspektren, insbesondere im Zusammenhang mit Fraunhofer-Linien, und die charakteristischen Spektralsignaturen von Elementen wie Natrium zu erklären.

## 1.2 Messverfahren

Das Experiment wird mit einem computergesteuerten Gitterspektrometer (Ocean Optics USB4000) durchgeführt, das die Spektralleistung verschiedener Lichtquellen in einem Wellenlängenbereich von 180 nm bis 950 nm erfasst.

Das Licht der Quallen wird über ein Glasfaserkabel in das Spektrometer geleitet, wo es durch ein Beugungsgitter gestreut und von einem CCD-Sensor aufgezeichnet wird. Der Aufbau ermöglicht die Messung von Spektren mit einer Auflösung von etwa 1 nm. Die Datenanalyse erfolgt mit der OceanView-Software und Python, die Korrekturen für Hintergrundrauschen, Mittelwertbildung über mehrere Scans zur Verringerung von Fluktuationen und die genaue Identifizierung von Spektrallinien ermöglichen.

## 1.3 Grundlagen aus der Physik

Das Experiment beruht auf mehreren Grundprinzipien der Physik:

### 1.3.1 Schwarzkörper-Strahlung:

Die spektrale Intensität von thermischen Lichtquellen wie Glühlampen, gesehen als idealisierte Schwarze Strahler, folgt dem Planckschen Strahlungsgesetz:

$$M_{\lambda}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}, \quad (1.1)$$

wobei  $M_{\lambda}$  ist die spektrale Strahldichte,  $T$  ist die Temperatur,  $h$  ist die Plancksche Konstante,  $c$  ist die Lichtgeschwindigkeit,  $\kappa$  ist die Boltzmann-Konstante, und  $\lambda$  ist die Wellenlänge.

Die Maximal Wellenlänge des emittierten Spektrums verschiebt sich mit der Temperatur gemäß dem Wien'schen Verschiebungsgesetz:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (1.2)$$

Wobei  $b = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{mK}$  die Wiensche Konstante ist.

### 1.3.2 Atomare Spektren

Nichtthermische Strahler wie Natriumdampfampfen erzeugen Licht durch elektronische Übergänge in Atomen, die zu diskreten Spektrallinien führen. Die Energie eines Photons, das bei einem Übergang zwischen Zuständen emittiert wird  $n_i$  und  $n_f$  ist gegeben durch:

$$E_{\text{photon}} = h\nu = E_{n_i} - E_{n_f}. \quad (1.3)$$

Für wasserstoffähnliche Atome sind die Energieniveaus:

$$E_n = -13.6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad (1.4)$$

wobei  $n$  die Hauptquantenzahl ist. Bei Natrium berücksichtigen wir zusätzliche Korrekturen der Energieniveaus:

$$E_{n,l} = -13.6 \text{ eV} \cdot \frac{1}{(n - \Delta l)^2}, \quad (1.5)$$

wobei  $\Delta l$  der Quantendefekt ist, der mit dem Bahndrehimpuls  $l$  variiert.

### 1.3.3 Beugung und Spektrometerrauflösung

Das Gitterspektrometer arbeitet, indem es das Licht entsprechend den Beugungsbedingungen streut:

$$n\lambda = d \sin \theta, \quad (1.6)$$

wobei:

- $n$  die Beugungsordnung ist,
- $\lambda$  die Wellenlänge des Lichts ist,
- $d$  der Abstand zwischen den Rillen des Beugungsgitters ist,
- $\theta$  ist der Beugungswinkel.

Die Auflösung des Spektrometers ist durch das Gitter und die Optik des Systems begrenzt. Die spektrale Auflösung  $\Delta\lambda$  ist mit dem Gitter wie folgt verknüpft:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{N}, \quad (1.7)$$

wobei  $N$  die Gesamtzahl der beleuchteten Rillen, des Gitters, ist.

### 1.3.4 Absorption und Fraunhofer-Linien

Das Experiment untersucht auch die Absorption, insbesondere durch Fensterglas, wobei der Absorptionskoeffizient wie folgt definiert ist:

$$A_{\text{Glas}}(\lambda) = 1 - \frac{I_{\text{Glas}}(\lambda)}{I_{\text{Kein Glas}}(\lambda)}, \quad (1.8)$$

Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum entsprechen bestimmten Wellenlängen, die von Elementen in der Sonnenatmosphäre oder der Erdatmosphäre absorbiert werden. Die Identifizierung dieser Linien ermöglicht es uns, die Genauigkeit des Spektrometers zu überprüfen.

## 2. Durchführung

### 2.1 Messprotokol

Es gibt kein Messprotokoll, da alles wichtige in den Dateien, die wir speichern sollten enthalten ist.

## 3. Auswertung

### 3.1 Bestimmung der Absorption von Glas

Zunächst plotten wir die Spektren des Himmelslichts gemessen mit offenem Fenster und mit einem Fenster in ein Diagramm um qualitativ den Unterschied in den Intensitäten zu sehen.

Wir erhalten folgendes Diagramm:

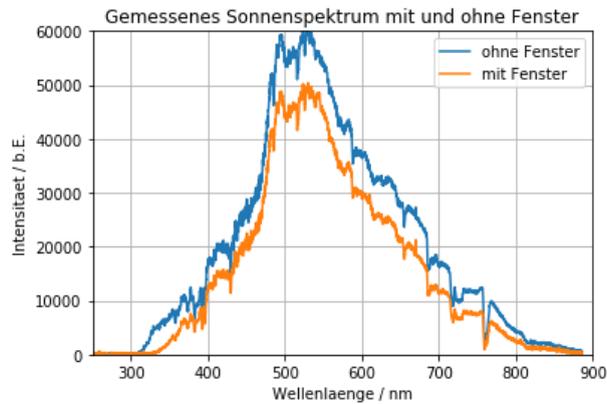


Abbildung 3.1: Intensitäten mit und ohne Fensterglas

Weiter noch errechnen wir mithilfe von der Formel 1.8 die Absorption von Glas abhängig von einer Wellenlänge  $\lambda$ .

Es ergibt sich dann ein weiterer Graph, der die Absorption als Funktion der Wellenlänge darstellt. Wir erhalten:

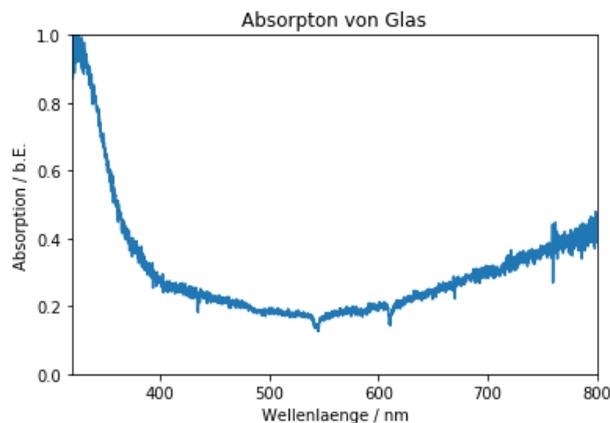
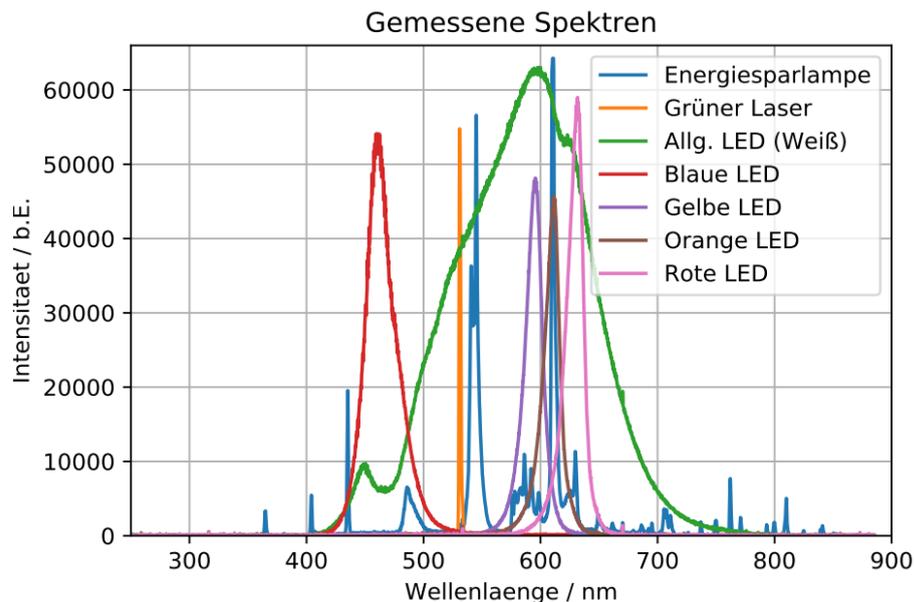


Abbildung 3.2: Absorption vs. Wellenlänge

Wir erkennen, dass die Absorption von Glas nicht für alle Wellenlängen gleich ist und gerade im niedrigen Wellenlängenbereich (UV-Bereich) am größten ist. Allerdings erkennt man für höhere Wellenlängen ebenfalls einen Anstieg, sodass man folgern kann, dass die Absorption von Glas um die Wellenlängen 550nm - 600nm am geringsten ist.

### 3.2 Vergleich vieler Lichtquellen

Wir haben im Laufe des Versuchs die Spektren mehrerer Lichtquellen aufgenommen. Diese plotten wir nun in ein gemeinsames Diagramm um diese vergleichen zu können.



**Abbildung 3.3:** Aufgenommene Spektren

Leuchtmittel	mittlere Wellenlänge [ $\lambda$ ]
Energiesparlampe	$(560 \pm 30)$
Grüner Laser	$(530 \pm 20)$
Allg. LED (Weiß)	$(590 \pm 10)$
Blaue LED	$(460 \pm 20)$
Gelbe LED	$(590 \pm 10)$
Orange LED	$(610 \pm 15)$
Rote LED	$(630 \pm 15)$

**Tabelle 3.1:** Abgeschätzte mittlere Wellenlängen

Es ergibt sich folgendes Diagramm:

Wir schätzen nun für jedes Leuchtmittel die Mittlere Wellenlänge ab: Da wir diese Werte nur abschätzen wird der Fehler ebenso nur abgeschätzt.

### 3.2.1 Diskussion dieser Ergebnisse

Die Werte spiegeln die unterschiedlichen Prinzipien der Lichterzeugung und der Farbwahrnehmung wider, die mit einem Leuchtmittel verbunden sind. Wir bündeln nun die Wellenlängen in bestimmte Bereiche:

- Blaue und kürzere Wellenlängen: Die blaue LED hat die kürzeste Wellenlänge, wodurch ein kaltes Licht entsteht, das oft auch als hell empfunden wird. Blaues Licht ist energetisch intensiver und trägt wesentlich zur kühle des Lichts bei.
- Grüne und mittlere Wellenlängen: Der grüne Laser und die Energiesparlampe senden Licht im mittleren sichtbaren Spektrum aus, das mit grün-gelben Farbtönen verbunden ist. Diese Quellen sorgen fast schon für ein Gleichgewicht zwischen Helligkeit und Wärme, wobei der Laser monochromatisch emittiert und die Energiesparlampe in einem breiteren Spektrum.
- Gelbe bis rote Wellenlängen: Gelb leuchtende LEDs, orangefarbenes und rotes Licht haben längere Wellenlängen und werden in der Regel als wärmere Farben wahrgenommen.

- Weiße LED: Obwohl ihre mittlere Wellenlänge bei  $\lambda = 590 \pm 10\text{nm}$  und damit im gelben Bereich liegt wird das durch die Kombination von Emissionen aus dem gesamten Spektrum erreicht. Es erscheint weiß. Die Wahrnehmung von weißem Licht ergibt sich aus der Kombination kürzerer (blauer) und längerer (gelber) Wellenlängen.

### 3.3 Natriumspektrum

#### 3.3.1 Ermitteln der Energie $E_{3p}$

Wir nutzen die Formel für die Theoretischen erwarteten Linien:

$$\lambda_m[\text{nm}] \approx \frac{1,2398 \cdot 10^3}{-13,605/m^2 - E_{3p}} \quad (3.1)$$

Wir stellen um:

$$E_{3p} = \frac{1,2398 \cdot 10^3}{\lambda_m} + \frac{-13,605}{m^2} \quad (3.2)$$

Wir setzen  $m = 3$  und ermitteln die Linie im Bereich von 819nm. Mit Python ermittelten wir die Wellenlänge:

$$(817,92 \pm 0,20)\text{nm}$$

Der Fehler bei allen in den Diagrammen abgelesenen Werte wird über den mittleren Fehler des Mittelwerts berechnet, der sich ergibt, wenn man einen Punkt mehrmals mit der Cursorfunktion ausmisst.

Damit berechnen wir  $E_{3p}$  mit der Fehlerformel:

$$\Delta E_{3p} = \left( \frac{-1239,8}{\lambda_m^2} \Delta \lambda_m \right) \quad (3.3)$$

und erhalten:

$$E_{3p} = (-3,0275 \pm 0,0003)\text{eV}$$

#### 3.3.2 Wellenlängen der ersten Nebenserie

Daraus ergeben sich die theoretischen Linien der ersten Nebenserie und den zugeordneten tatsächlich gemessenen Wellenlängen.

m-Wert	errechnete Wellenlänge [ $\lambda$ ]	gemessene Wellenlänge [ $\lambda$ ]
3	817,9	817,9
4	569,5	$567,55 \pm 0,20$
5	499,2	$497,16 \pm 0,20$
6	467,9	$465,94 \pm 0,20$
7	450,9	$454,69 \pm 0,20$
8	440,4	—
9	433,6	$433,09 \pm 0,30$
10	428,8	$429,34 \pm 0,30$
11	425,3	$426,04 \pm 0,30$
12	422,7	$419,59 \pm 0,30$

**Tabelle 3.2:** Wellenlängen d. ersten Nebenserie

Man erkennt eine weitestgehend kohärenten Zusammenhang zwischen Theorie und Praxis, obwohl einige einzelne Werte stark abweichen. So konnte zum Beispiel die erwartete Linie bei 440nm gar nicht erkannt werden.

### 3.3.3 Bestimmung von $E_{3s}$

Mithilfe der Formel:

$$E_{3s} = E_{3p} - 1,2398 \cdot 10^3 / \lambda \quad (3.4)$$

und  $\lambda = 589\text{nm}$  bestimmen wir  $E_{3s}$  mit:

$$E_{3s} = -5,1324 \pm 0,0003$$

Daraus lässt sich der Korrekturfaktor  $\Delta_s$  bestimmen mithilfe der Formel:

$$E_{3s} = \frac{-13,605}{(3 - \Delta_s)^2} \quad (3.5)$$

$$\Delta_s = 3 - \sqrt{\frac{-13,605}{E_{3s}}} \quad (3.6)$$

Es ergibt sich:

$$\Delta_s = 1,37187 \pm 0,00005$$

Mit

$$\Delta \Delta_s = \frac{1,8442478141508 \sqrt{\frac{-1}{E_{3s}}}}{E_{3s}} \Delta E_{3s} \quad (3.7)$$

### 3.3.4 Wellenlängen der zweiten Nebenserie

Zunächst bestimmen wir die erwarteten Wellenlängen mithilfe der Formel:

$$\lambda_m = \frac{1,2398 \cdot 10^3}{\frac{-13,605}{(m - \Delta_s)^2} - E_{3p}} \quad (3.8)$$

Daraus und aus den vermessenen Peaks ergibt sich folgende Tabelle:

m-Wert	errechnete Wellenlänge [ $\lambda$ ]	gemessene Wellenlänge [ $\lambda$ ]
4	1172,1	—
5	621,8	—
6	518,6	$514,2 \pm 0,3$
7	477,2	$(474,3 \pm 0,4)$
8	456,2	—
9	443,8	—

**Tabelle 3.3:** Wellenlängen d. zweiten Nebenserie

## 3.4 Korrekturfaktor $\Delta_p$

Mithilfe folgender Formel berechnen wir den Korrekturfaktor  $\Delta_p$ :

$$E_{3p} = \frac{-13,605}{(3 - \Delta_p)^2} \quad (3.9)$$

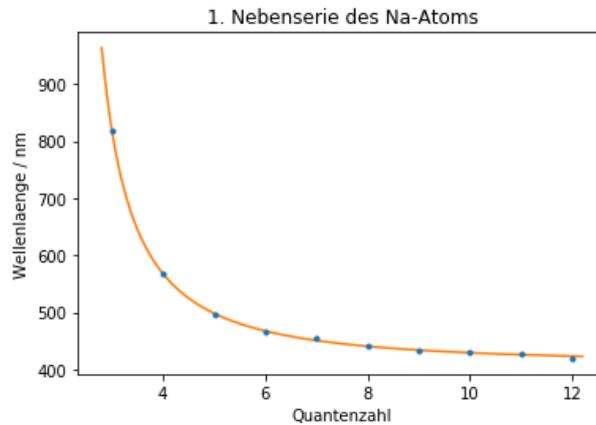


Abbildung 3.4: 1. Nebenserie des Na-Atoms

Wir erhalten mit gleicher Umstellung und Fehlerformel wie oben:

$$\Delta_p = 0,88014 \pm 0,00011$$

### 3.5 Wellenlängen der Hauptserie

Mit der folgender Formel und dem zuordnen aus den Messungen ergibt sich:

m-Wert	errechnete Wellenlänge [ $\lambda$ ]	gemessene Wellenlänge [ $\lambda$ ]
4	331,9	330,12 $\pm$ 0,10
5	286,3	—

Tabelle 3.4: Wellenlängen d. Hauptserie

### 3.6 Aus Wellenlänge erneut Parameter bestimmen

Tragen wir die gemessenen Wellenlängen als Funktion von m ein und fitten dazu eine Kurve erhalten wir folgendes Diagramm: Die Fitparameter der gefitteten Kurve sind die jeweiligen Größen, die wir erneut bestimmen wollen. Es ergeben sich die Werte:

Parameter	Wert	Abweichung zum Skriptwert/ zuvor berechneter Wert
$E_{Ry}$	$-12,9 \pm 0,7$	$1 \sigma$
$E_{3p}$	$-3,019 \pm 0,011$	$0,77 \sigma$
$D_d$	$0,07 \pm 0,06$	—

Tabelle 3.5: Parameterwerte

Diesen Prozess wiederholen wir nicht für die zweite Nebenserie da wir hierfür zuwenige Peaks bestimmen konnten und eine erneute bestimmung der Parameter, mit zwei Messdaten unsinnig wäre.

## 4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Experiment haben wir die spektralen Eigenschaften verschiedener Lichtquellen, darunter Glühlampen, LEDs und Gasentladungslampen, mit einem Beugungsgitterspektrometer untersucht. Wir stellten fest, dass die Absorption von Glas mit der Wellenlänge variiert. Sie ist im UV-Bereich am höchsten, nimmt bei höheren Wellenlängen wieder zu und erreicht ein Minimum zwischen 550 und 600 nm.

Für verschiedene Lichtquellen wurden die zentralen Wellenlängen abgeschätzt. Wir haben das Natriumspektrum weiter analysiert und die wichtigsten Parameter berechnet, darunter

$$E_{3p} = (-33,0275 \pm 0,0003)\text{eV}$$

$$E_{3s} = (-5,1324 \pm 0,0003)\text{eV}$$

und die Korrekturfaktoren

$$\Delta_p = 0,88014 \pm 0,00011$$

$$\Delta_s = 1,37187 \pm 0,00005$$

, und die Wellenlängen verschiedener Serien. Für die erste Nebenserie stimmten die gemessenen Wellenlängen gut mit den theoretischen Vorhersagen überein.

Im Gegensatz dazu konnten bei der zweiten Nebenserie weniger Peaks gemessen werden, was auf einige Einschränkungen hinweist. Beim Vergleich unserer Ergebnisse mit theoretischen Werten konnten wir eine angemessene Übereinstimmung feststellen, obwohl einige Abweichungen, wie das Fehlen der 440-nm-Linie, bemerkenswert waren. Mögliche Fehler könnten durch die Auflösung des Instruments, Ungenauigkeiten bei der Ausrichtung oder systematische Probleme wie Hintergrundrauschen oder Kalibrierungsdrift entstehen.

Nichtsdestotrotz hat dieses Experiment die wichtigsten theoretischen Prinzipien erfolgreich validiert, praktische spektroskopische Techniken vorgestellt und eine hohe Übereinstimmung zwischen den Messungen und den erwarteten Werten erzielt.

## 5. Anhang

```

    %pip install ipynb

#%matplotlib inline

#%matplotlib widget
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
def comma_to_float(valstr):
    return float(valstr.decode("utf-8").replace(',','.'))

lamb_og, inten_og=np.loadtxt('data/Aufgabe 1 TXT von Fenster offen#.txt', skiprows=17, c

lamb_mg, inten_mg=np.loadtxt('data/Aufgabe 1 Fenster zu TXT#.txt', skiprows=17, c

plt.plot(lamb_og, inten_og, label='ohne Fenster')
plt.plot(lamb_mg, inten_mg, label='mit Fenster')
plt.title('Gemessenes Sonnenspektrum mit und ohne Fenster')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.legend()
plt.grid()
plt.ylim((0,60000))
plt.xlim((250,900))

A=1-inten_mg/inten_og

plt.plot(lamb_mg, A)
plt.title('Absorption von Glas')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Absorption / b.E.')
plt.ylim((0,1))
plt.xlim((320,800))

# Aufgabe 2  Daten Laden
energie_lamp_1, inten_1=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 Energiesparlampe TXT.txt', sk

```

```

gl_hlampe_2, inten_2=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 Gl_hlampe TXT.txt', skiprows=1
laser_3, inten_3=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LASEEEEEEEER GREEEEEEEN txt.txt', skipr
led_allgemein_4, inten_4=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LED allgemein TXT.txt', skipr

#LEDS
led_blaue_5, inten_5=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LED BLAU TXT.txt', skiprows=17, c
led_gelb_6, inten_6=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LED GELB TXT.txt', skiprows=17, co
led_orange_7, inten_7=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LED ORANGE txt.txt', skiprows=1
led_rot_8, inten_8=np.loadtxt('data/Aufgabe 2 LED ROT txt.txt', skiprows=17, conv

# Aufabe 2 Daten plotten
#plt.plot(energie_lamp_1, inten_1, label='Energiesparlampe')
#plt.plot(gl_hlampe_2, inten_2, label='Gl_hlampe')

#plt.plot(laser_3, inten_3, label='Gr_ner Laser')
#plt.plot(led_allgemein_4, inten_4, label='Allg. LED (Wei_ )')

#LEDS
#plt.plot(led_blaue_5, inten_5, label='Blaue LED')
#plt.plot(led_gelb_6, inten_6, label='Gelbe LED')
#plt.plot(led_orange_7, inten_7, label='Orange LED')
plt.plot(led_rot_8, inten_8, label='Rote LED')

plt.title('Gemessene Spektren')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.legend()
plt.grid()
plt.ylim((0,66000))
plt.xlim((250,900))

%matplotlib widget

lamb_og, inten_og=np.loadtxt('data/Aufgabe 3 500nm in_s_tigung TXT.txt', skiprow
plt.plot(lamb_og, inten_og)
plt.title('Natriumspektrum geringer Intensitaet')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.yscale('log')

```

```
plt.ylim((0,600000))
plt.xlim((350,800))
```

```
%matplotlib notebook
```

```
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('data/Aufgabe 3 500nm kein s tigung TXT.txt', skiprows=17,
plt.plot(lamb_og, inten_og)
plt.title('Natriumspektrum geringer Intensitaet ')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E. ')
plt.yscale('log ')
plt.ylim((0,600000))
plt.xlim((350,500))
```

```
%matplotlib notebook
```

```
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('data/Aufgabe 4 D l jnie nicht s tigung TXT.txt', skiprows=17,
inten_og2 = np.sqrt(np.sqrt(inten_og**2))

plt.plot(lamb_og, inten_og2)
plt.title('Natriumspektrum geringer Intensitaet ')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E. ')
#plt.yscale('log ')
plt.ylim((0,600))
plt.xlim((350,800))
```

```
%matplotlib notebook
```

```
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('data/Aufgabe 5 650-580nm TXT.txt', skiprows=17,
inten_og2 = np.sqrt(np.sqrt(inten_og**2))

plt.plot(lamb_og, inten_og2)
plt.title('Natriumspektrum geringer Intensitaet ')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E. ')
#plt.yscale('log ')
```

```

plt.ylim((0,600))
plt.xlim((650,850))

E_3p = -3.0274646857859193

for m in range(3,13):
    l=(1.2398E3)/((-13.605/m**2)-E_3p)
    print('m={m:2d}, lambda={l:6.2f}'.format(m=m, l=l))

E_3p = -3.0274646857859193
E_3s = -5.1324
s = 1.37187
for m in range(4,10):
    l=(1.2398E3)/((-13.605/(m-s)**2)-E_3p)
    print('m={m:2d}, lambda={l:6.2f}'.format(m=m, l=l))

E_3p = -3.0274646857859193
E_3s = -5.1324
s = 1.37187
p=0.88014
for m in range(4,6):
    l=(1.2398E3)/((-13.605/(m-p)**2)-E_3s)
    print('m={m:2d}, lambda={l:6.2f}'.format(m=m, l=l))

%matplotlib inline
wellenl=np.array([817.9,567.55,497.16,465.94,454.69,440.4,433.09,429.34,426.04,423.79,421.54,419.29,417.04,414.79,412.54,410.29,408.04,405.79,403.54,401.29,399.04,396.79,394.54,392.29,390.04,387.79,385.54,383.29,381.04,378.79,376.54,374.29,372.04,369.79,367.54,365.29,363.04,360.79,358.54,356.29,354.04,351.79,349.54,347.29,345.04,342.79,340.54,338.29,336.04,333.79,331.54,329.29,327.04,324.79,322.54,320.29,318.04,315.79,313.54,311.29,309.04,306.79,304.54,302.29,300.04,297.79,295.54,293.29,291.04,288.79,286.54,284.29,282.04,279.79,277.54,275.29,273.04,270.79,268.54,266.29,264.04,261.79,259.54,257.29,255.04,252.79,250.54,248.29,246.04,243.79,241.54,239.29,237.04,234.79,232.54,230.29,228.04,225.79,223.54,221.29,219.04,216.79,214.54,212.29,210.04,207.79,205.54,203.29,201.04,198.79,196.54,194.29,192.04,189.79,187.54,185.29,183.04,180.79,178.54,176.29,174.04,171.79,169.54,167.29,165.04,162.79,160.54,158.29,156.04,153.79,151.54,149.29,147.04,144.79,142.54,140.29,138.04,135.79,133.54,131.29,129.04,126.79,124.54,122.29,120.04,117.79,115.54,113.29,111.04,108.79,106.54,104.29,102.04,99.79,97.54,95.29,93.04,90.79,88.54,86.29,84.04,81.79,79.54,77.29,75.04,72.79,70.54,68.29,66.04,63.79,61.54,59.29,57.04,54.79,52.54,50.29,48.04,45.79,43.54,41.29,39.04,36.79,34.54,32.29,30.04,27.79,25.54,23.29,21.04,18.79,16.54,14.29,12.04,9.79,7.54,5.29,3.04,0.79,0.54,0.29,0.04])
fehler=np.array([0.01,0.2,0.2,0.2,0.2,0.2,0.3,0.3,0.3,0.3])
quantenz=np.arange(3,13)

plt.errorbar(quantenz,wellenl,fehler,fmt=".")
plt.xlabel('Quantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlaenge / nm')
plt.title('1. Nebenserie des Na-Atoms')

from scipy.optimize import curve_fit
def fit_func(m,E_Ry,E_3p,D_d):
    return 1.2398E3/(E_Ry/(m-D_d)**2-E_3p)

para = [-13.6,-3,-0.02]

```

```
popt, pcov = curve_fit(fit_func, quantenz, wellenl,
sigma=fehler, p0=para)

print("E_Ry=", popt[0], " , Standardfehler=", np.sqrt(pcov[0][0]))
print("E_3p=", popt[1], " , Standardfehler=", np.sqrt(pcov[1][1]))
print("D_d=", popt[2], " , Standardfehler=", np.sqrt(pcov[2][2]))

chi2_ = np.sum((fit_func(quantenz, *popt) - wellenl)**2 / fehler**2)
dof = len(quantenz) - 3 #dof: degrees of freedom, Freiheitsgrad
chi2_red = chi2_ / dof
print("chi2=", chi2_)
print("chi2_red=", chi2_red)

%matplotlib inline
from scipy.stats import chi2
prob = round(1 - chi2.cdf(chi2_, dof), 2) * 100
print("Wahrscheinlichkeit:", prob, "%")
plt.errorbar(quantenz, wellenl, fehler, fmt=".")
plt.xlabel('Quantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlaenge / nm')
plt.title('1. Nebenserie des Na-Atoms')
x = np.linspace(2.8, 12.2, 100)
plt.plot(x, fit_func(x, *popt))
```

## Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]