Versuch 243 - Gitterspektroskopie

PAP 2.1

Teilnehmender Student: **Harish Mahendran**

Gruppe des Teilnehmenden: **14**

Kurs: **Vormittags**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**
1.1 Motivation . . . 1
1.2 Grundlagen aus der Physik . . . 1
1.2.1 Natriumlampe . . . 1

2 Durchführung **3**
2.1 Versuchskizzen . . . 3
2.2 Messverfahren . . . 4

3 Auswertung **6**
3.1 Himmelsspektrum . . . 6
3.2 Spektrogramm verschiedene Leuchtmittel . . . 9
3.3 Natrium-Spektrum . . . 10
3.3.1 1.Nebenserie . . . 13
3.3.2 2.Nebenserie . . . 15
3.3.3 Hauptserie . . . 18
3.4 Vergleich mit der Literatur . . . 18

4 Zusamenfassung und Diskussion **21**
4.1 Zusammenfassung . . . 21
4.2 Diskussion . . . 22
4.3 Fazit . . . 22

5 Python-Code **23**

1. Einleitung

1.1 Motivation

Mit der Gitterspektroskopie kann man die Zusammensetzung von Sternen und Atmosphären von Planeten analysieren ohne diese zu besuchen. In diesem Versuch werden wir uns mit der Gitterspektroskopie vertraut machen. Dazu werden wir das Himmelsspektrum analysieren und die Frauenhoferlinien identifizieren. Aus dem Spektrum einer Natrium-Lampe kann man die Serienübergange des Na-Atoms bestimmen. Außerdem wird die Absorption von einer Glasscheibe bestimmt.

1.2 Grundlagen aus der Physik

Jeder Körper mit einer Temperatur größer $0\,K$ kann man als idealen Schwarzkörper modellieren. Ein idealer Schwarzkörper absorbiert die gesamte elektromagnetische Strahlung. Dadurch hat ein Schwarzkörper ein Emissionsvermögen von $\epsilon = 0$. Die Strahlungsleistung M_λ die in einem Flächenelement dA und in in einem Wellenlängen-Interval $[\lambda, \lambda + d\lambda]$ abgestrahlt wird, kann mit dem Planck'schen Strahlungsgesetz wie folgt beschrieben werden

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

Das Spektum eines Wärmestrahlers ist also kontinuierlich. Durch Differenzieren von Gleichung (1) lässt sich das Wien'sche Verschiebungsgesetz herleiten:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2,8978\text{mm}\ mm \cdot \text{K} \tag{2}$$

Das Wien'sche Verschiebungsgesetz beschreibt, wie sich die Wellenlänge mit der größten Intensität immer weiter in den kurzwelligen Bereich verschiebt bei steigender Temperatur. Hat ein Körper die Temperatur $0K$ so erscheint dieser komplett schwarz.

1.2.1 Natriumlampe

Natrium besitzt wie die anderen Alkalimetalle auch nur ein Valenzelektron, also auch nur ein Leuchtelektron. Es weißt also ein Wasserstoff ähnliches Emissionsspektrum auf. Das Potenzial in der Nähe des Kerns lässt sich mit Hilfe des Coulombpotenzilas berechnen

$$V(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon}\frac{1}{r} \tag{3}$$

Hierbei ist Z die Kernladungszahl, e die Elementarladung und r der Abstand zum Kern. Für große Radien kann man auch das Wasserstoffpotenzial als Näherung verwenden. Hier beträgt dann $N = 1$

$$V_{H_2}(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon}\frac{1}{r} \tag{4}$$

Energieniveaus hängen nicht nur von der Hauptquantenzahl n sondern auch von der Bahndrehimpuls-Quantenzahl l ab. Durch Näherungen lassen sich die Energieniveaus wie folgt berechnen

$$E_{n,l} = \frac{1}{(n - \Delta_{l,n})} \tag{5}$$

Die Korrektur $\Delta_{n,l}$ hängt Näherungsweise nur von Quantenzahl l ab, wodurch die Näherung zu Δ_l vereinfacht wird.
Der Grundzustand des Leuchtelektrons ist $3s$. Die Übergänge von $np \rightarrow 3s$ werden als Hauptserie bezeichnet. Als 1. Nebenreihe werden die Übergänge $nd \rightarrow 3p$ bezeichnet. Die 2. Nebenreihe sind die Übergänge $ns \rightarrow 3p$. Welche Energieniveaus in der Na-Lampe durch die elektrische Entladung mit welcher Häufigkeit angeregt werden, hängt vom Druck und der Feldstärke in der Gasentladung ab. Diese Energielinien sind auch dafür verantwortlich, dass das Sonnenspektrum "Löcheräufweist. die sogenannten Frauenhofer-Linien. Durch die Wärmestrahlung emittierten Strahlungen werden bestimmte Wellenlängen von der Sonnenatmosphäre absorbiert. Diese sind für diese Linien verantwortlich.

2. Durchführung

2.1 Versuchskizzen

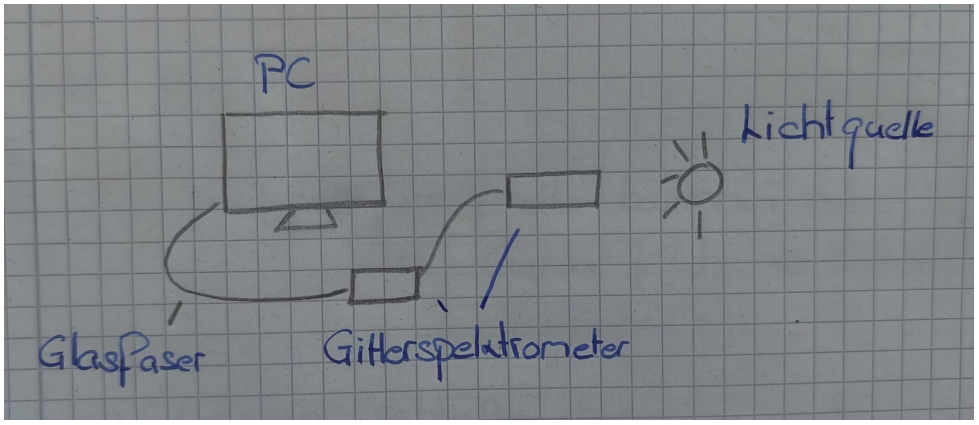


Abbildung 2.1: Versuchsskizze

2.2 Messverfahren

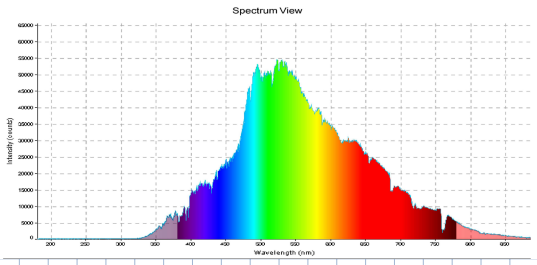
Sofia El Kanli
Marie Welle
Harish Mahendra

Protokoll: Versuch 234: Lichtquellen und Gitterspektroskopie

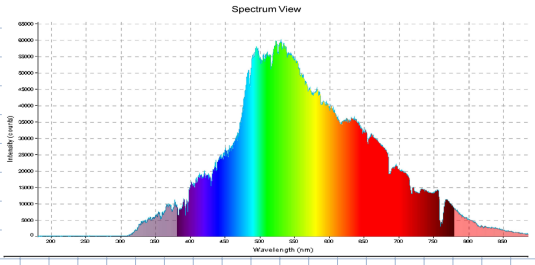
27.02.25
9-12 Uhr

Aufgabe 1: Aufnahme des Sonnenspektrums

• Abb. A: Sonnenlichtspektrum ohne Fensterscheibe



• Abb. B: Sonnenlichtspektrum hinter Fensterscheibe



Aufgabe 2: Qual. Vergleich der Spektren versch. Leuchtmittel
Aufnahme des Spektrums für:

- Glühlampe
- Energiesparlampe
- versch. LEDs
- Laser

Abb. C: Spektren verschiedener LEDs

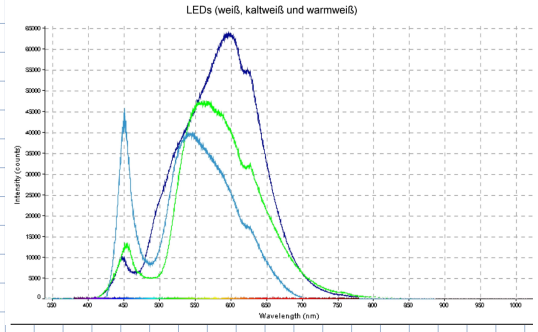


Abb. D: Spektren weiß erscheinender Lichtquellen

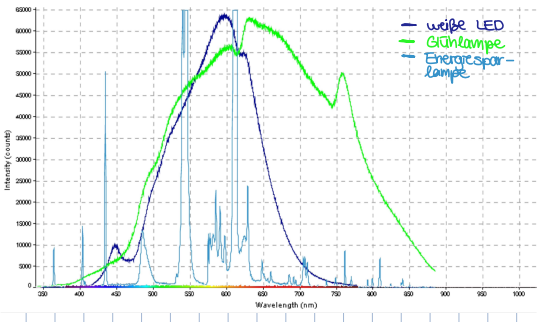


Abb. E: Spektrum grüner Laser

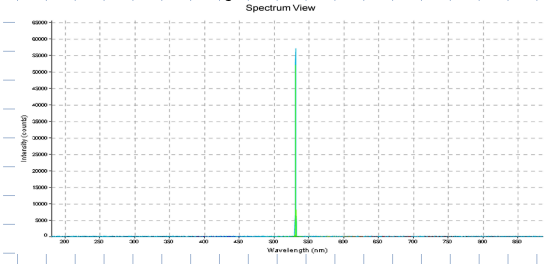


Abb. F: Spektrum blaue LED

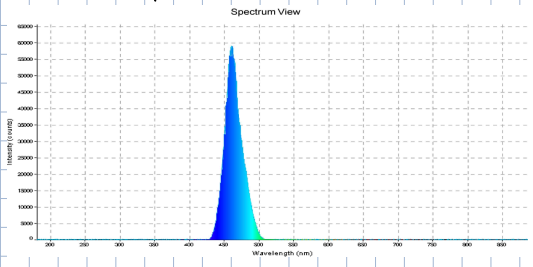


Abb. G: Spektrum gelbe LED

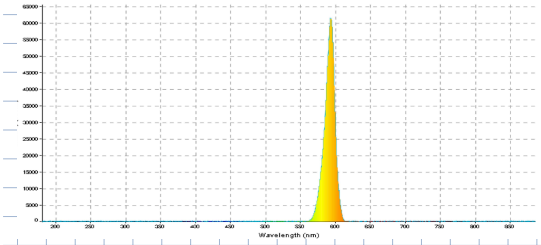


Abb. H: Spektrum orange LED

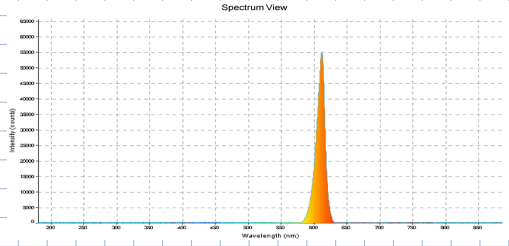
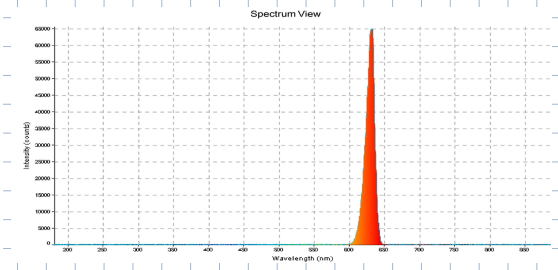


Abb. I: Spektrum rote LED



Aufgabe 3: Aufnahme der Spektrallinien kleiner Intensität einer Natriumlampe im Bereich 400nm – 540nm

Abb. J: Natriumlampe: Spektrallinien kleiner Intensität (in Sättigung)

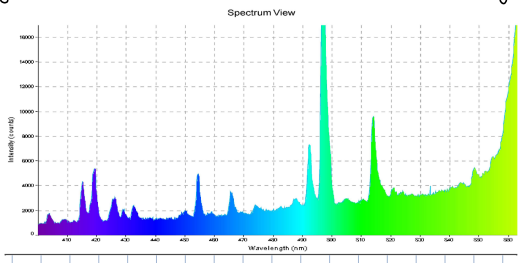
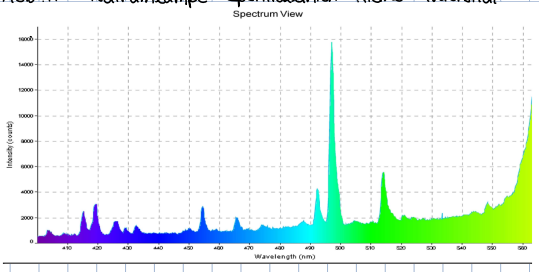


Abb. K: Natriumlampe: Spektrallinien kleiner Intensität



Aufgabe 4: Aufnahme der Spektrallinien um die D-Linie einer Natriumlampe im Bereich 570nm – 615nm

Abb. L: Spektrum um die D-Linie (in Sättigung)

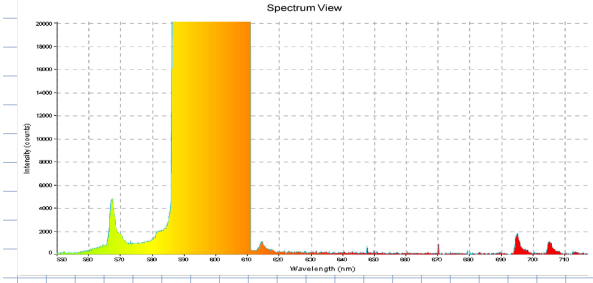
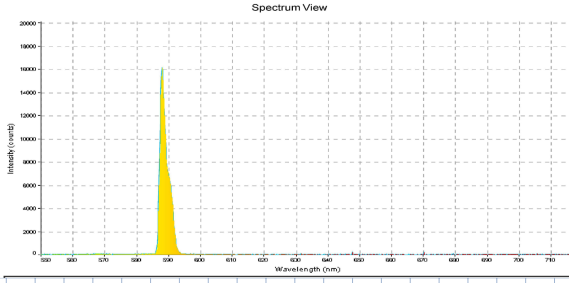
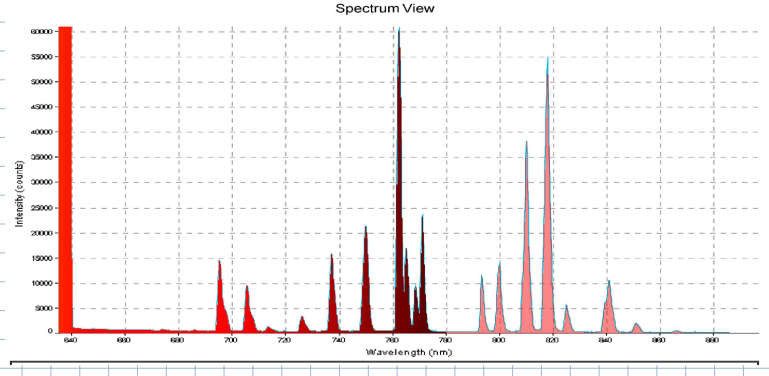


Abb. M: Spektrum um die D-Linie



Aufgabe 5: Aufnahme der Spektrallinien einer Natriumlampe im Bereich 650nm – 850nm

Abb. N: Spektrallinien im Bereich 650nm – 850nm



3. Auswertung

3.1 Himmelsspektrum

Die gemessenen Himmelsspektren sind in folgender Abbildung dargestellt:

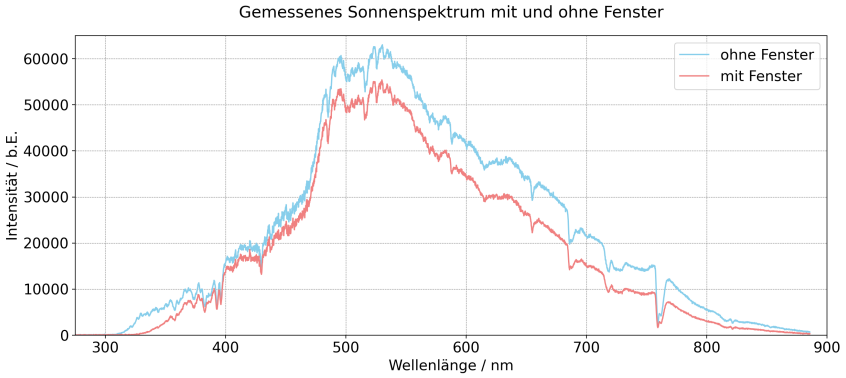


Abbildung 3.1: Himmelsspektrum mit und ohne Fensterscheibe

Die Absorption des Glases lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$A_{\text{Glas}}(\lambda) = 1 - \frac{I_{mG}(\lambda)}{I_{oG}(\lambda)} \tag{6}$$

Wobei I_{mG} und I_{mG} für die gemessenen Intensitäten mit und ohne die Fensterscheibe sind. Das Absorptionsspektrum in Abhängigkeit von der Wellenlänge ist im folgenden Plot dargestellt:

Es fällt auf, dass das UV-Licht stark absorbiert wird. Dies lässt sich daran erklären, dass Glas größtenteils aus Quarzglas besteht Wikipedia (Stand:2025) . SiO_2 also das Molekül aus welches Quarzglas besteht, absorbiert stark im UV-Bereich des Lichtspektrums. Die Absorption im Bereich des sichtbaren Lichts ist deutlich geringer, dies ist gewollt da dies sonst die Sicht aus einem Fenster verschlechtern würde. Auch ist die Absorption IR-Bereich des Lichts verglichen gering. Die Frauenhoferlinien lassen sich aus den Absorptionslinien

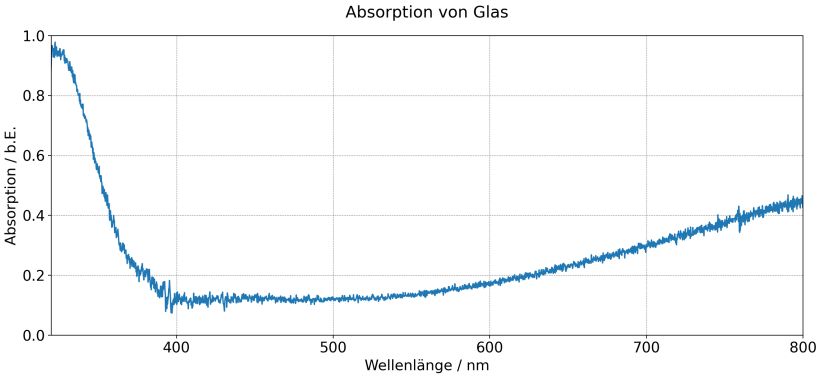


Abbildung 3.2: Absorption von einer Fensterscheibe

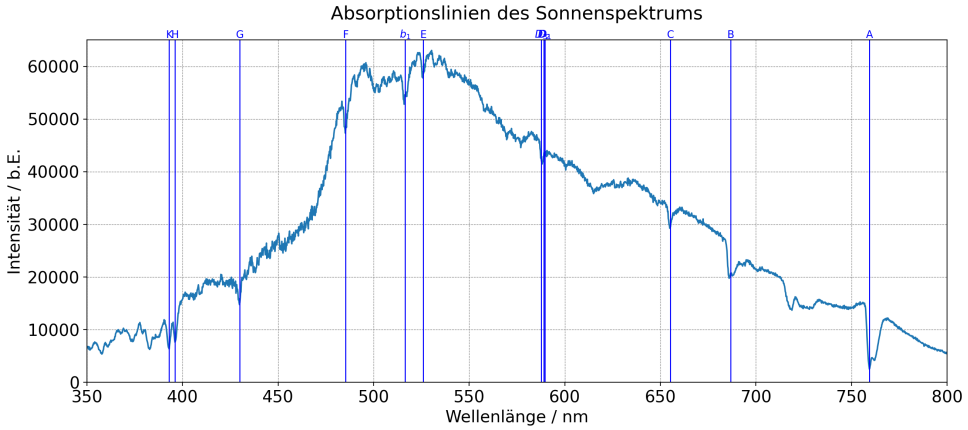


Abbildung 3.3: Absorptionslinien des Himmelsspektrums

ablesen. Im folgenden Plot sind die Linien gekennzeichnet: Die Wellenlängen sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Tabelle 3.1: Wellenlängen der Absorptionslinien

Linie	λ_{exp}[nm]	λ_{lit}	σ-Abw.
K	$393,0 \pm 0,7$	$393,4$	0,6
H	$396,0 \pm 0,8$	$396,8$	1
G	$430,0 \pm 1,0$	$430,8$	0,8
F	$485,5 \pm 0,8$	$486,1$	0,8
b_1	$516,5 \pm 0,8$	$518,4$	2,4
E	$526,0 \pm 0,7$	$527,0$	1,4
D_3	$587,5 \pm 0,6$	$587,6$	0,2
D_2	$589,0 \pm 0,6$	$589,0$	0
D_1	$589,5 \pm 0,6$	$589,6$	0,2
C	$655,5 \pm 1,0$	$656,3$	1,3
B	$686,5 \pm 1,3$	$686,7$	0,2
A	$759,5 \pm 1,4$	$759,4$	0,1

Die σ-Abweichung lässt sich wie folgt berechnen:

$$\sigma = \frac{|\lambda_{exp} - \lambda_{lit}|}{\sqrt{(\Delta\lambda_{exp})^2 + (\Delta\lambda_{lit})^2}} \tag{7.1}$$

Da hier kein Fehler für die Literatuwerte gegeben ist wird hier nur der Fehler der Experimentell bestimmten Werte $\Delta\lambda_{exp}$ verwendet. Also

$$\sigma = \frac{|\lambda_{exp} - \lambda_{lit}|}{\Delta\lambda_{exp}} \tag{7.2}$$

Der Fehler der Linien wurde aus der Halbwertsbreite abgeschätzt. Die Absorptionslinie bei ≈ 720 nm konnte mit keiner Fraunhoferlinie identifiziert werden und ist sehr wahrscheinlich auf die Atmosphäre zurückzuführen. Die Atmosphäre weist in diesem Bereich Absoprtionslinien auf:

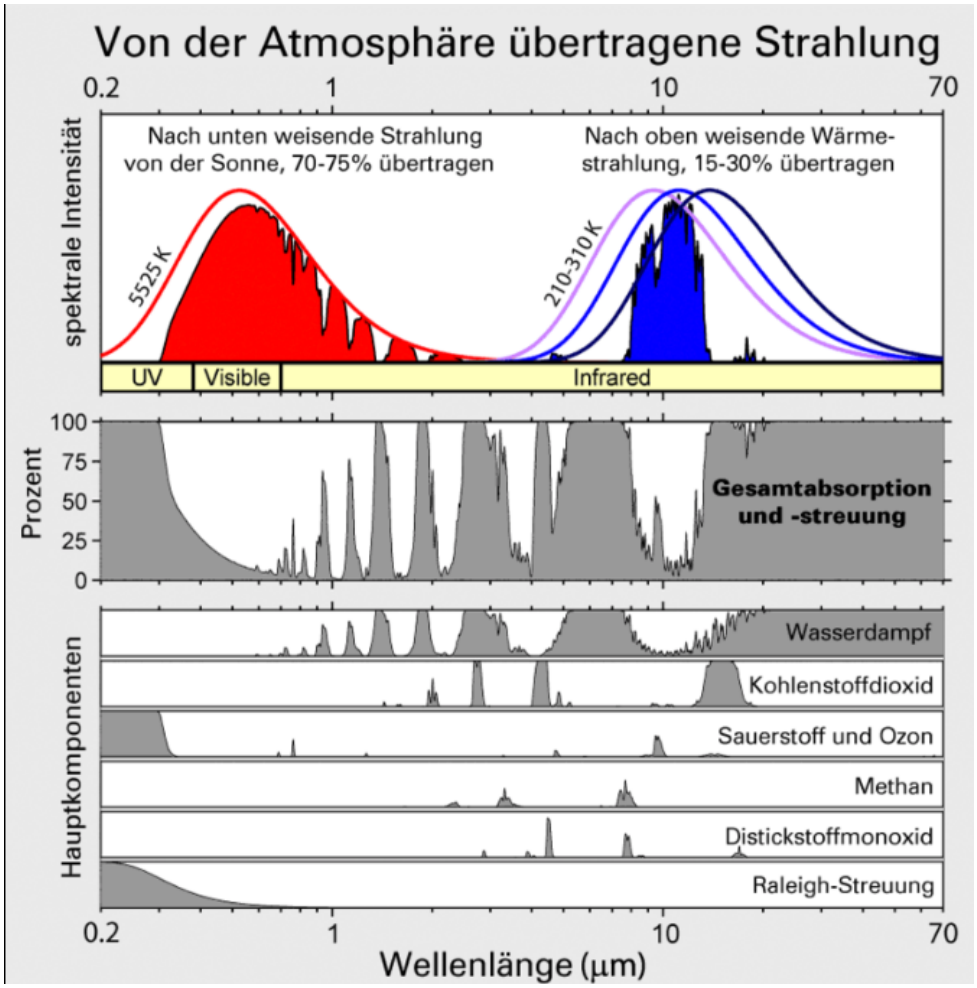


Abbildung 3.4: Absorptionsspektrum der Atmosphäre Quelle Wikipedia (Stand: 2025)

Wahrscheinlich trägt Wasserdampf den größten Teil dazu bei.

3.2 Spektrogramm verschiedene Leuchtmittel

Man hat hier qualitativ verschiedene Leuchtmittel per Gitterspektroskop spektroskopiert. Interessant wäre hier bei der Glühlampe die Temperatur zu bestimmen. Dazu benötigt man Gleichung (2). Das Spektrum der Glühlampe sieht wie folgt aus:

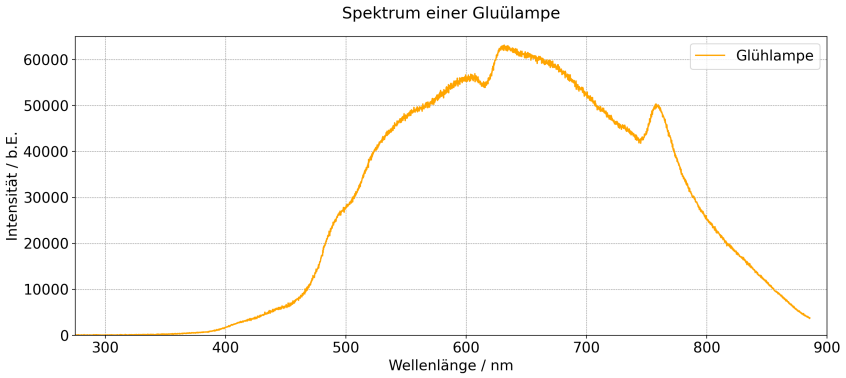


Abbildung 3.5: Spektrum einer Glühlampe

Die Maximal Intensität liegt hier etwa bei $\lambda \approx 625\,\text{nm}$. Mit (2) erhält man:

$$T \approx 4636,48\text{K}$$

Man kann das hier auch die Temperatur der Sonne grob abschätzen. Die Wellenlänge mit der größten Intensität ist $\lambda \approx 525\,\text{nm}$ also eine Temperatur von

$$T \approx 5520\,\text{K}$$

Dies ist ein plausibles Ergebnis bei einem Literaturwert von $T = 5777\,\text{K}$ Wikipedia (Stand:2025). Auch ist interessant das Spektrum einer Energiesparlampe zu betrachten. Hier sieht man Emissionslinien.

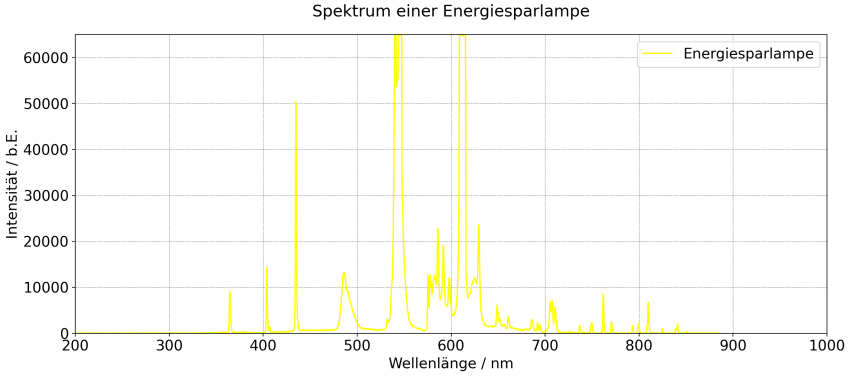


Abbildung 3.6: Spektrum einer Energiesperlampe

Dies liegt daran, dass die hier Licht durch Gas-Entladung von Quecksilber entsteht. Also nur bestimmte Wellenlängen ausgesendet werden wie jetzt im Natrium Spektrum.

3.3 Natrium-Spektrum

Das Natrium-Spektrum wurde in verschiedene Bereiche unterteilt und in einem Halb-Logarithmischen Diagramm geplottet:
Im folgenden Plot ist die starke Linie des Natrium-Spektrums zu sehen.

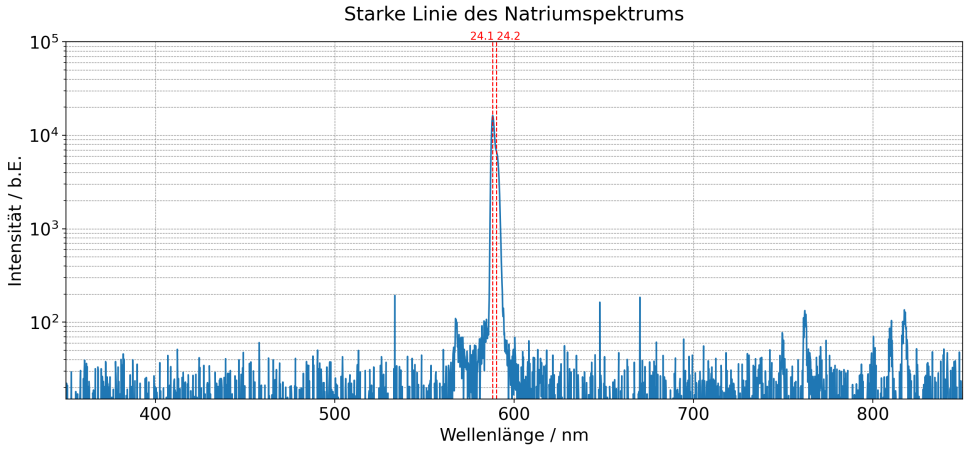


Abbildung 3.7: Starke Linie des Natriumspektrums

Diese ist verantwortlich für die gelbe Färbung des Lichts. Es ist hierbei zu bemerken, dass die Linie eine Doppellinie (D_1&D_2) ist. Diese lässt sich aber nicht gut mit dem Gitterspektrometer auflösen. Man kann jedoch abschätzen wo sich diese Linien befinden. Die Werte sind in der folgenden Tabelle augetragen:

Tabelle 3.2: Wellenlängen der starken Linien

Linie	λ_{exp}[nm]	λ_{lit}	σ-Abw.
$D_1(24.1)$	$588,5 \pm 1$	$589,0$	0,5
$D_2(24.2))$	$590,0 \pm 1$	$589,6$	0,4

Hierbei wurden die Literturwerte wie in Tabelle 3.1 aus dem PAP Skript übernommen (Quelle: Jens Wagner, "Physikalisches Anfängerpraktikum PAP 2.1", Stand:2025).
Die Schwachen Linien in verschiedenen Wellenlängenbereichen sind in folgende Plots aufgetragen:

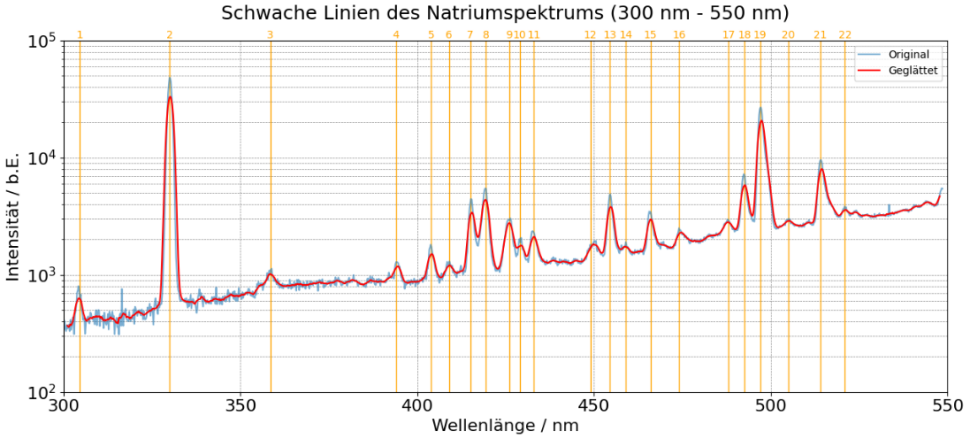


Abbildung 3.8: Schwache Linien im Bereich: 300nm − 550nm

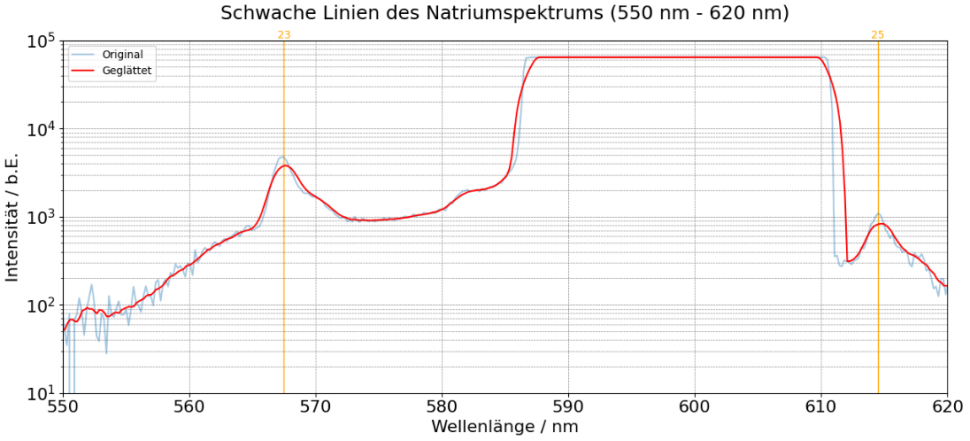


Abbildung 3.9: Schwache Linien im Bereich: 550nm − 620nm

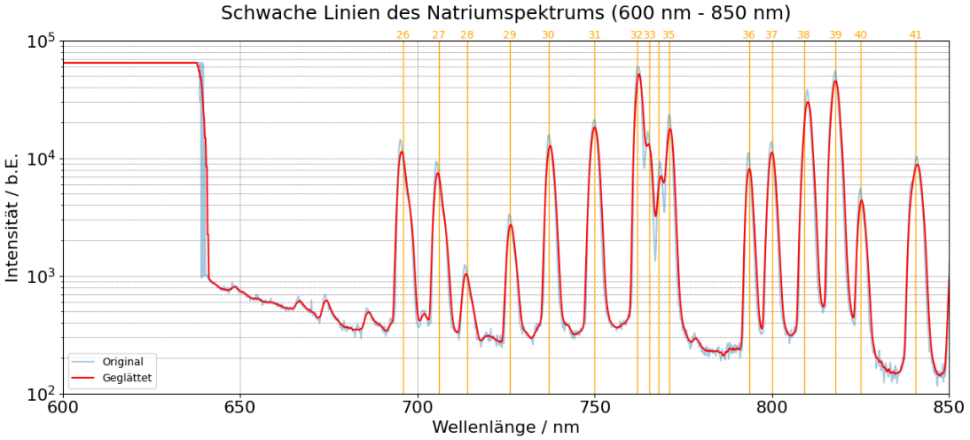


Abbildung 3.10: Schwache Linien im Bereich: 600nm − 850nm

Es wurde in dem Plots noch eine geglättete Kurve aufgetragen, um die Linien besser zu visualisieren. Hier wurde der Durschnitt von etwa von einem 1nm gebildet. Da das Rauschen des Signals kleiner als 1nm ist, wird hier das Rauschsignal des Plots minimiert

und ermöglicht eine bessere Visualisierung. Man hätte hier auch im Programm den Scans-to-Average Wert höher einstellen als wir es haben. Die Linien sind dann in der folgenden Tabelle aufgetargen:
300 nm − 550 nm:

Tabelle 3.3: Emissionslinien im Wellenlängenbereich 300nm − 550nm

Nr.	λ_{exp}[nm]
1	$304,5 \pm 1,0$
2	$330,0 \pm 0,8$
3	$358,5 \pm 1,1$
4	$394,0 \pm 1,0$
5	$404,0 \pm 1,1$
6	$409,0 \pm 1,2$
7	$415,0 \pm 0,9$
8	$419,5 \pm 0,8$
9	$426,0 \pm 0,9$
10	$429,0 \pm 0,7$
11	$433,0 \pm 1,1$
12	$449,0 \pm 1,2$
13	$454.5 \pm 1,1$
14	$459,0 \pm 1,3$
15	$466,0 \pm 1,0$
16	$474,0 \pm 1,2$
17	$488,0 \pm 1,0$
18	$492,5 \pm 0,9$
19	$497,0 \pm 1,0$
20	$505,0 \pm 1,1$
21	$514,0 \pm 1,0$
22	$521,0 \pm 0,8$

550nm − 620nm:

Tabelle 3.4: Emissionslinien im Wellenlängenbereich 550nm − 620nm

Nr.	λ_{exp}[nm]
23	$567,5 \pm 1,9$
25	$614,5 \pm 2,1$

600nm − 850nm:

Tabelle 3.5: Emissionslinien im Wellenlängenbereich 600nm − 850nm

Nr.	λ_{exp}[nm]
26	$696,0 \pm 1,2$
27	$706,0 \pm 1,1$
28	$714,0 \pm 1,2$
29	$726,0 \pm 1,1$
30	$737,0 \pm 1,1$
31	$750,0 \pm 1,1$
32	$762,0 \pm 0,9$
33	$765,5 \pm 0,8$
34	$728,0 \pm 1,1$
35	$771,0 \pm 1,0$
36	$793,5 \pm 1,0$
37	$800,0 \pm 1,0$
38	$810,0 \pm 1,0$
39	$818,0 \pm 1,2$
40	$825,0 \pm 1,0$
41	$840,5 \pm 1,4$

Als Fehler wurde hier die Halbwertsbreite abgeschätzt, also die Breite des Peaks bei der halben Intensität.

3.3.1 1.Nebenserie

Für die erste Nebenserie $md \to 3p$ kann angenommen werden, dass der Korrekturterm für die d-Energieniveaus verschwindet. Damit ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$-\frac{hc}{\lambda_m} + \frac{13,605\,\text{eV}}{m^2} = E_{3p} \tag{8}$$

Wie im PAP Skript verlangt wird hier der Linie 39($\hat{=}(818 \pm 1,2)$ nm) dem Wert $m = 3$ zugeordnet. Wir erhalten also folgenden Wert:

$$E_{3p} = (-3,0274 \pm 0,0018)\,\text{eV}$$

Der Fehler wurde nach Gaussscher Fehlerfortpflanzung berechnet. Die Fehlerformel lautet:

$$\Delta E_{3p} = \frac{\partial E_{3p}}{\partial \lambda_m}\Delta\lambda_m \tag{9}$$

$$= E_{3p} \cdot \frac{\Delta\lambda_m}{\lambda_m} \tag{10}$$

Man kann mit Gleichung (8) auch die zu erwartenden Wellenlängen berechnen indem man die Gleichung wie folgt umstellt:

$$\lambda_m = \frac{1,2398 \cdot 10^3 [\text{nm} \cdot \text{eV}]}{-13,605 \frac{[\text{eV}]}{(m-\Delta_d)^2} - E_{3p}} \tag{11}$$

$$\approx \frac{1,2398 \cdot 10^3 [\text{nm} \cdot \text{eV}]}{-13,605 \frac{[\text{eV}]}{m^2} - E_{3p}} \tag{12}$$

Die Fehlerformel lautet:

$$\Delta\lambda_m = \lambda_m \frac{\Delta E_{3p}}{E_{3p}} \tag{13}$$

Diese sind in der folgenden Tabelle aufgetragen:

Tabelle 3.6: Vergleich der gemessenen und berechneten Wellenlängen der ersten Nebenserie

m	λ_{theo}[nm]	λ_{exp}[nm]	Nr.	σ-Abw.
3	$818,0 \pm 1,0$	$818 \pm 1,2$	39	0
4	569,5 $\pm 0,5$	$567,5 \pm 1,9$	23	1,02
5	499,3 $\pm 0,4$	$497,0 \pm 1,0$	19	2,14
6	467,9 $\pm 0,3$	$466,0 \pm 1,0$	15	1,82
7	450,9$\pm 0,3$	$449,0 \pm 1,2$	12	1,54
8	440,5$\pm 0,3$	–	–	–
9	433,6$\pm 0,3$	$433,0 \pm 1,1$	11	0,53
10	428,8$\pm 0,3$	$429,0 \pm 0,7$	10	0,26
11	425,3$\pm 0,3$	$426,0 \pm 0,9$	9	0,74
12	422,7$\pm 0,3$	$419,5 \pm 0,8$	8	3,75

Leider konnte hier für 8 hat keine Linie gefunden werden. Auch kann man in diesem Bereich kein Indiz für eine Linie finden. Mögliche Gründe werden in der Diskussion besprochen. Auch ist die Linie für die Quantenzahl $m = 12$ nicht im 3σ-Fehlerintervall.
Um aus die Rydbergkonstante E_R, die E_{3p} Energie sowie den Korrekturterm Δ_d zu bestimmen, werden im folgenden Plot die gefundenen Wellenlängen als Funktion der Hauptquantenzahlen m aufgetragen. Die Fitfunktion ist analog zu (11):

$$\lambda_m = \frac{1,2398 \cdot 10^3 [\text{nm} \cdot \text{eV}]}{-13,605 \frac{[\text{eV}]}{(m-\Delta_d)^2} - E_{3p}} \tag{14}$$

Der Plot:

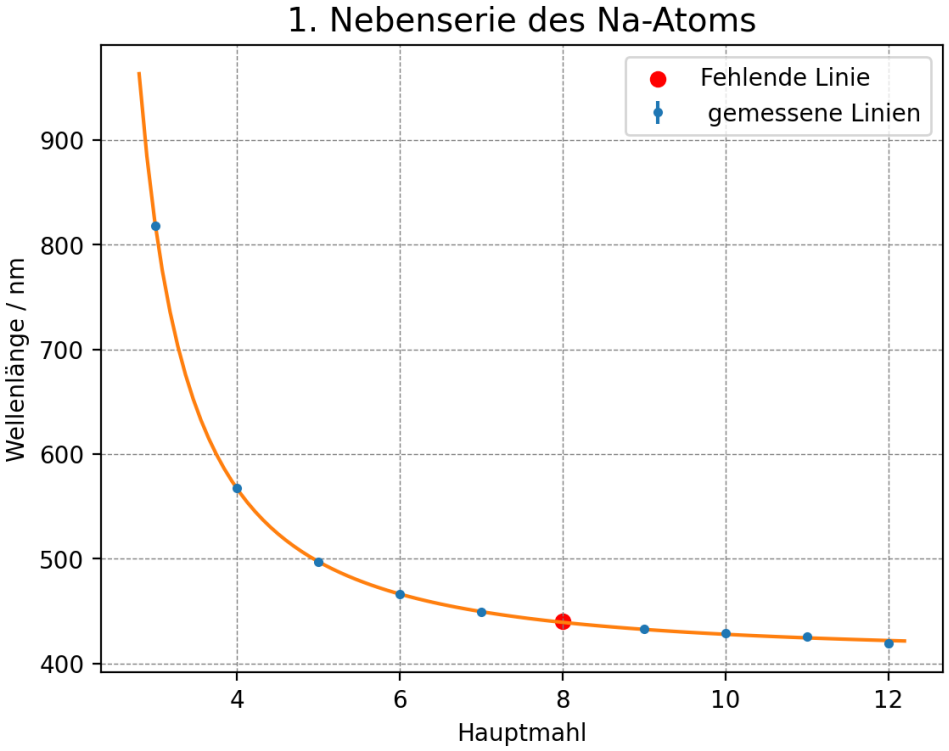


Abbildung 3.11: 1.Nebenserie von Natrium

Man erhält aus dem Fit folgende Werte:
Rydberg-Energie: $E_R = (-13,2 \pm 0,4)\,\text{eV}$
Zustandsenergie: $E_{3p} = (-3,031 \pm 0,006)\,\text{eV}$
Korrekturterm: $\Delta_d = (0,05 \pm 0,04)$
Die χ^2-Summe

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{\text{Funktionswert}_i - \text{Messwert}_i}{\text{Fehler}_i}\right)^2 \tag{14}$$

gibt an wie gut die Fit-Kurve zu den Messwerten passt. Die Fit-WahrscheinlichkietW_{fit} wird wie χ^2 in Python berechnet. Die Fitwahrscheinlichkeit W_{fit} gibt an zu welcher Wahrscheinlichkeit dass bei einer Wiederholungsmessung einen größeren oder gleichen χ^2 erhält. Die Werte aus dem Python-Scripte sind gegeben als:
χ^2: $10,33$
χ^2_{red}: $1,72$
W_{Fit}:11%
Je kleiner der χ^2 Wert ist recht groß. Dies deutet auf ein schlechten Fit hin. Die Güte des Fits wird in der Diskussion weiter besprochen.

3.3.2 2.Nebenserie

Die zweite Nebenserie beschreibt den Übergang $ms \to 3p$. Die gelbe D-Linie von Natrium liegt bei $\lambda = (589 \pm 1)\,\text{nm}$ und entspricht dem Übergang$3p \to 3s$, womit die Energie des

Grundzustands E_{3s} berechnet werden kann:

$$E_{3s} = E_{3p} - \frac{1,2398 \cdot 10^3[\text{nm} \cdot \text{eV}]}{\lambda} \tag{15}$$

Mit der Fehelerformel:

$$\Delta E_{3s} = \sqrt{(\Delta E_{3p})^2 + (\frac{1,2398 \cdot 10^3[\text{nm} \cdot \text{eV}]}{\lambda^2}\Delta\lambda)^2} \tag{16}$$

Wir erhalten also

$$E_{3s} = (-5,132 \pm 0,004)\text{eV}$$

Der Korrekturfaktor Δ_s kann hier wie folgt berechnet werden:

$$E_{3s} = \frac{-13,605\,\text{eV}}{(3-\Delta_s)^2} \tag{17}$$

$$\Rightarrow \Delta_s = 3 - \sqrt{\frac{-13,605\,\text{eV}}{E_{3s}}} \tag{18}$$

Die Fehlerformel:

$$\Delta(\Delta_s) = \sqrt{\frac{-13,605\,\text{eV}}{E_{3s}^3}}\frac{\Delta E_{3s}}{2} \tag{19}$$

Wir erhalten dann

$$\Delta_s = (1,3782 \pm 0,0006)$$

Für $4 \leq m \leq 9$ kann man mit

$$\lambda_m[\text{nm}] \approx \frac{1,2398 \cdot 10^3\,[\text{nm} \cdot \text{eV}]}{\frac{-13,605\,\text{eV}}{(m-\Delta_9)^2} - E_{3p}[\text{eV}]} \tag{19}$$

Die Fehlerformel:

$$\Delta\lambda_m = \frac{\lambda_m}{\frac{-13,605\,\text{eV}}{(m-\Delta_s)^2} - E_{3p}} \cdot \sqrt{\Delta E_{3p}^2 + \left(\frac{27,21\,\text{eV}}{(m-\Delta_s)^3}\Delta(\Delta_s)\right)^2} \tag{20}$$

Diese werden dann in folgender Tabelle aufgetragen:

Tabelle 3.7: Vergleich der gemessenen und berechneten Wellenlängen der zweiten Nebenserie

m	λ_{theo}[nm]	λ_{exp}[nm]	Nr.	σ-Abw.
4	1183,3 ±5	–	-	–
5	623,9±1, 4	$614,5 \pm 2,1$	23	3, 72
6	519,6 ±0, 8	$521,0 \pm 0,8$	22	1, 24
7	477,4±0, 7	$474,0 \pm 1,2$	16	2, 45
8	456,2±0, 7	$454,5 \pm 1,1$	13	1, 30
9	443,6±0, 6	$449,0 \pm 1,2$	12	4, 02

Für $m = 4$ wurden keine passende Linie gemessen, womit dieser Hauptquantenzahl keine Wellenlänge zugeordnet werden kann. Diese liegt auch außerhalb des Auflösungsbereich des Gitterspektroskops. Wir erhalten folgenden Plot:

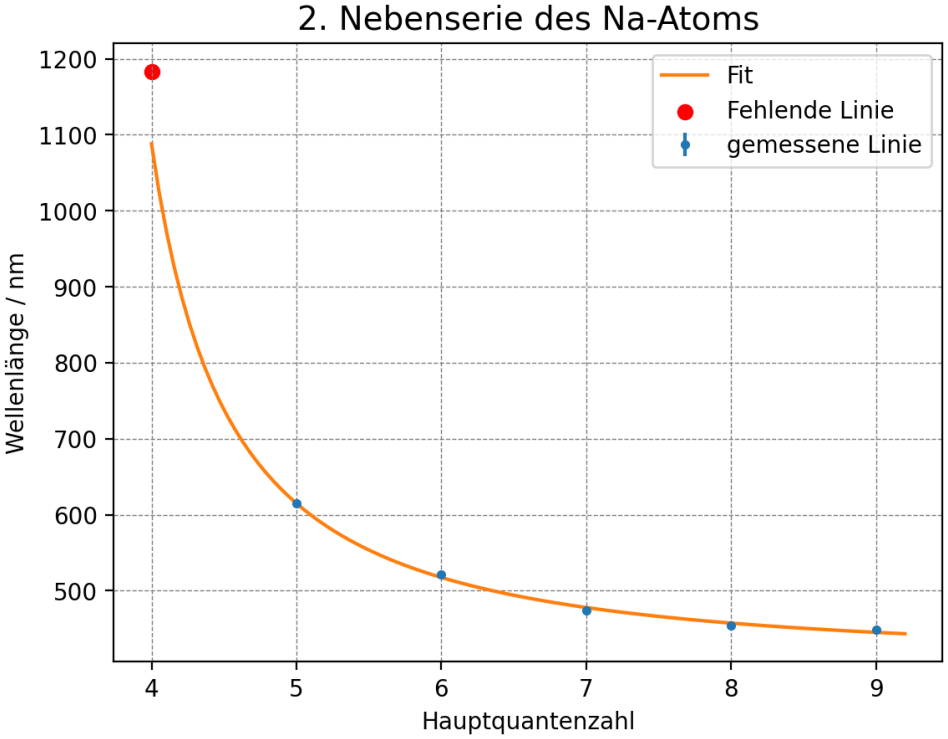


Abbildung 3.12: 2.Nebenserie

Wir erhalten analog zur 1.Nebenserie folgende Werte:
Rydberg-Energie:$E_R = (-13,72 \pm 0,24)\,\text{eV}$
Zustandsenergie:$E_{3p} = (-3,02 \pm 0,08)\,\text{eV}$
Korrektur: $\Delta_s = (1,29 \pm 0,7)$
Die Fitparameter:
$\chi^2 = 5,06$
$\chi^2_{red} = 2,53$

$W_{fit} = 8\%$
Dies ist eine äußerst kleine Fit-Wahrscheinlichkeit. Also passt hier das Modell nicht zu den gemessenen Daten. Auf mögliche Gründe wird später in der Diskussion eingegangen.

3.3.3 Hauptserie

Die Hauptserie also der Übergang $mp \to 3s$. Der Korrektuerfaktor Δ_p lässt sich aus E_{3p} berechnen, analog zu (18)
Wir erhalten folgenden Korrekturfaktor:

$$\Delta_p = (0,880 \pm 0,006)$$

Die Wellenlängen lassen sich analog zu (14) berechnen für die Quantenzahlen$m = 4$und $m = 5$:

Tabelle 3.8: Vergleich der gemessenen und berechneten Wellenlängen der Hauptserie

m	λ_{theo}[nm]	λ_{exp}[nm]	Nr.	σ-Abw.
4	332,4 $\pm 0,8$	$330 \pm 0,8$	2	2,12
5	286,6$\pm 0,6$	–	–	–

Für $m = 5$ liegt die Wellenlänge außerhalb des Auflösungsspektrums.

3.4 Vergleich mit der Literatur

Um die Plausibilität der bestimmten werte zu überprüfen, ist ein Vergleich mit der Literatur sinnvoll.
Die Literatur gibt an ,dass die Rydberg-Energie

$$E_R = -13,605\,\text{eV}$$

beträgt(Quelle: Jens Wagner, "Physikalisches Anfängerpraktikum PAP 2.1", Stand:2025).
Die folgende Tabelle gibt die σ-Abweichungen der beiden gemessenen Werte an.

Tabelle 3.9: Vergleich der gemessenen Rydbergenergie mit der Literatur

Nebenserie	$E_{R_{exp}}$	σ-Abw.
1	$-13,2 \pm 0,4$	1,01
2	$-13,72 \pm 0,24$	0,48

Nun kann man noch die Zustandsenergie von $3p$:

$$E_{3p} = (3,05 \pm 0,15)\,\text{eV}$$

Hier wurde dies aus folgendem Diagramm abgeschätzt:

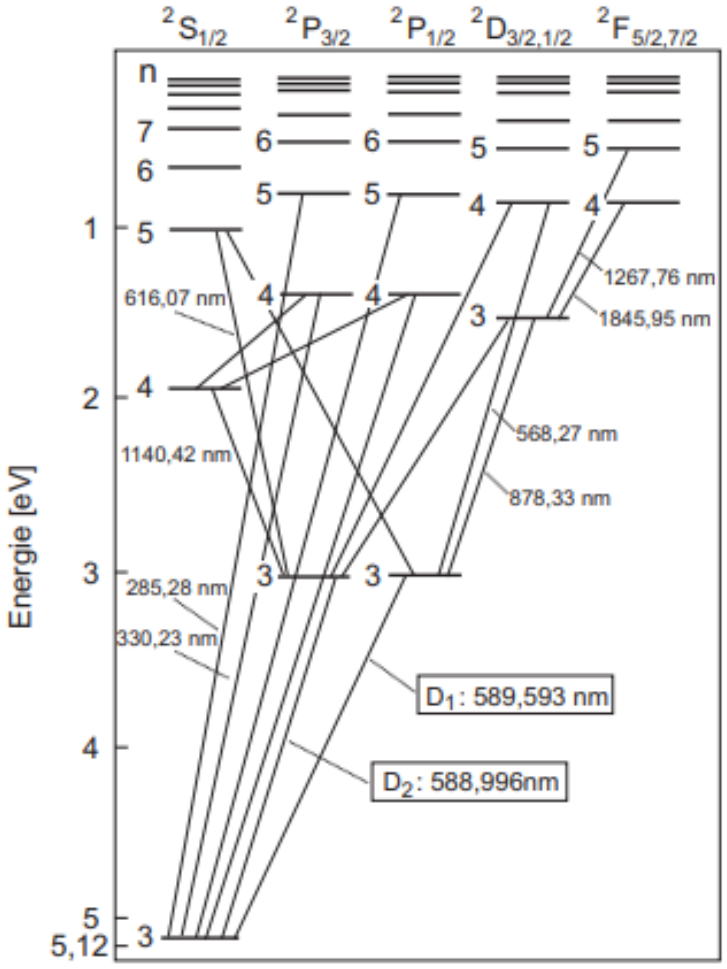


Abbildung 3.13: Energieschema und Photonübergänge im Natriumatom(Quelle: Jens Wagner, "Physikalisches Anfängerpraktikum PAP 2.1", Stand:2025)

Tabelle 3.10: Vergleich der gemessenen Rydbergenergie mit der Literatur

Nebenserie	E_{3p}	σ-Abw.
1	$-3,031 \pm 0,06$	$0,12$
2	$-3,02 \pm 0,08$	$0,18$

Leider konnte ich für die Korrektur Δ_s & Δ_p keine Literaturwerte finden. Man kann aber hier für die 2. Nebenreihe den Wert für Δ_s den man berechnet hat $\Delta_{s_{cal}}$ und der Wert den man aus dem Plot 12 $\Delta_{s_{plot}}$ vergleichen.

$$\Delta_{s_{cal}} = (1,3782 \pm 0,0006)$$
$$\Delta_{s_{plot}} = (1,29 \pm 0,7)$$

Mit Gleichung 7.1 kann man nun eine σ-Abweichung berechnen.

$$0,13$$

also keine signifikante Abweichung.

4. Zusamenfassung und Diskussion

4.1 Zusammenfassung

In diesem Versuch wurden die Spektren verschiedener Lichtquellen aufgenommen und näher untersucht. In einem ersten Schritt wurde dafür das Sonnenspektrum mit und ohne Glasscheibe aufgenommen. Wichtig anzumerken ist, dass nicht das Spektrum des direkten Sonnenlichts aufgenommen, sondern der Himmel beobachtet wurde. Idealerweise würden man ebenfalls beide Spektren gleichzeitig auf die gleiche Ausrichtung aufnehmen, da bereits kleine Änderungen in der Ausrichtung das gemessene Spektrum beeinflussen können (ebenso durch die Veränderung der Wolkenformation). Wie erwartet ergab sich eine starke Absorption im UV-Bereich, da Fensterglas die entsprechende Beschichtung aufweist und eine niedrige Transmission im sichtbaren Bereich des Lichts hat.

Anschließend konnten die Absorptionslinien aus dem Spektrum bestimmt werden und mit den Fraunhoferlinien identifiziert werden. Diese sind mit den σ-Abweichungen in der Tabelle 3.1 eingetragen.

Anschließend wurde das Spektrum verschiedener Leuchtmittel aufgenommen und miteinander verglichen. Wie erwartet, ergaben sich bei der Glühlampe und der weißen LED kontinuierliche Spektren, während die Energiesparlampe mehrere Peaks und der LED unterschiedlicher Farben aus dem Spektrum der weißen LED konnte ebenfalls dessen Funktionsweise bestätigt werden. Außerdem konnte hier aus dem Spektrum der Glühlampe und dem Himmelsspektrum die Temperatur der Glühlampe bzw. der Sonne bestimmen.

Im nächsten Teil wurde das Spektrum von Natrium aufgenommen und die starken und schwachen Linien bestimmt. Der 1. Nebenserie konnten 9 gemessene Linien zugeordnet werden. Bei beiden befanden sich diese größtenteils innerhalb des 3-Sigma-Bereichs. Wie aus Tabelle 3.6 zu entnehmen ist. Bei der ersten Nebenserie erhalten wir trotz den geringen σ-Abweichungen nur eine Fitwahrscheinlichkeit von 11%. Man konnte hier die richtigen Wellenlängen nur erahnen. Wie zum Beispiel liegt für $m = 12$ zwischen der theoretisch zu messende Wellenlänge λ_{theo} und der experimentellen Wert λ_{exp} eine große Diskrepanz. Für die zweite Nebenserie konnten nur drei Werte mit einer nicht signifikanten Abweichung und eine Linie gar nicht aufgenommen werden (Tabelle 3.7), was eigentlich zu wenig ist, um daraus einen Fit zu erhalten. Deshalb wurde mit $\chi^2_{red} = 2,53$ und einer Fitwahrscheinlichkeit von $W_H = 8\%$ für die 2. Nebenserie einen Fit bestimmt der nicht gut auf die Messwerte passt.

4.2 Diskussion

Bei der Aufnahme des Sonnenspektrums konnte nicht die Absorptionslinie bei $\lambda \approx 720nm$ gefunden werden, was wahrscheinlich am Wasserdampf bzw. den Wolken lag, die in diesem Wellenlängenbereich Absorbieren. Im nächsten Teil des Versuchs wurde zusätzlich die Temperatur der Glühlampe abgeschätzt. In der Regel liegt die Temperatur des Glühdrahts um die 2500°C Quelle (Stand:2025). Also eine Diskrepanz von etwa 1863K. Dies lässt sich dadurch erklären, dass man hier auch das Infrarot-Spektrum betrachten muss, da wahrscheinlich die Wellenlänge mit der größten Intensität im Infrarot-Bereich liegt.
Was sich als Problem beim aufnehmen des Natrium-Spektrums darstellte ist, dass das Rauschen durch Hintergrund-Strahlung, wie das Licht von draußen, nicht minimiert haben. Hier hätte man für genauere Messergebnisse die Fenster für diesen Teil abdunkel sollen. Eine andere Möglichkeit um das Rauschen zu minimieren wäre, den Scans-to-Average Wert zu erhöhen. Dies wurde hier durch die Rote geglättete Kurve erzielt.
Die Abweichungen in Tabelle 6 und **??** dadurch erklären ,dass der Wellenlängenwert, den man hier zur Berechnung der theoretischen Werten fehlerbehaftet ist. Wodurch sich der Fehler in die λ_{theo} fortpflanzt. Um diesen Fehler zu minieren, wäre es sinnvoll gewesen, wenn man mehrere Messungen, durchgeführt hätte. Die Fitwahrscheinlichkeit der Plots 3.11 und 3.12 lässt systematische Fehler vermuten. Die wahrscheinlichste Fehlerquelle ist hier, dass man hier die falschen Linien des Emissionsspektrums zu den $\lambda_{\mathbf{theo}}$ zugeorndet hat. Dies würde auch die großen σ-Abweichungen erkärt.

4.3 Fazit

Im Rahmen dieses Versuchs wurden die Spektren verschiedener Lichtquellen aufgenommen und die Bedienung eines Gitterspektrometers erlernt. Die Messungen des Sonnenspektrums verliefen erfolgreich und zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Literaturwerten. Beim Spektrum der Natriumlampe traten hingegen mehrere Abweichungen auf, die sich durch wiederholte Messreihen reduzieren lassen.

5. Python-Code

Versuch 234-Copy1

March 11, 2025

1 Versuchg 234 - Spektroskopie von Lichtquellen

[1]:
```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

%matplotlib inline

def comma_to_float(valstr):
    return float(valstr.decode("utf-8").replace(',', '.'))
from scipy.stats import chi2
```

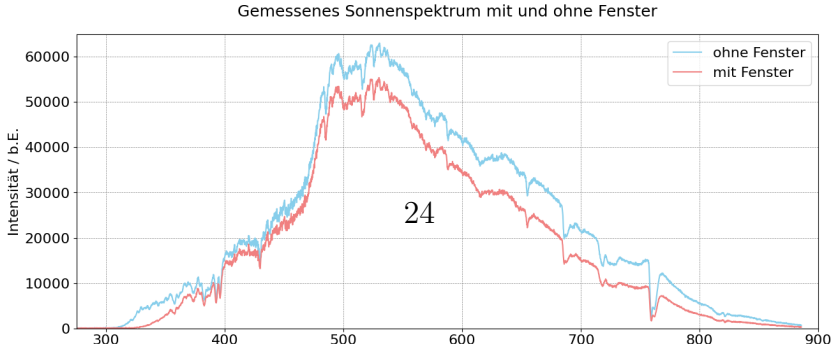
1.0.1 Aufgabe 1

[2]:
```
lamb_og, inten_og = np.loadtxt('Daten/1_ohne.txt', skiprows = 14, converters =␣
↪{0:comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments = '>', unpack=True)
```

[3]:
```
lamb_mg, inten_mg = np.loadtxt('Daten/1_Fenster.txt', skiprows = 14, converters␣
↪= {0:comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments = '>', unpack=True)
```

[4]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
plt.plot(lamb_og, inten_og, label='ohne Fenster', color = "skyblue")
plt.plot(lamb_mg, inten_mg, label='mit Fenster', color = "lightcoral")
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.title('Gemessenes Sonnenspektrum mit und ohne Fenster', pad = 20, fontsize=␣
↪18)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.legend(loc="best", fontsize = 16)
plt.ylim((0,65000))
plt.xlim((275,900))
#plt.savefig("Himmel_m_o_G.png", format ="png", dpi = 200)
```

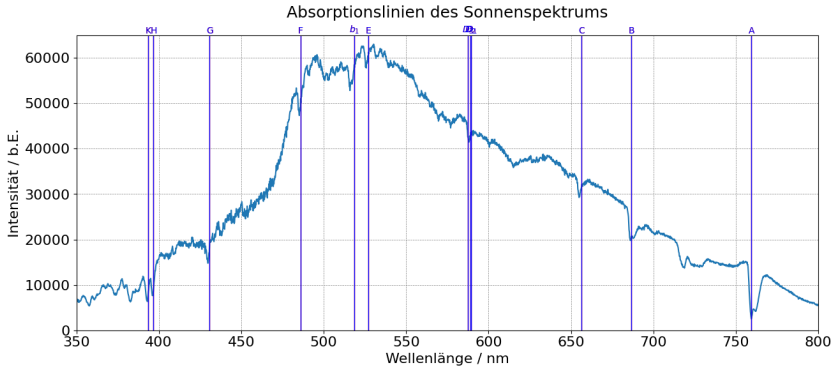
[4]: (275.0, 900.0)



```
[-21.92156863 -21.92156863 -21.92156863 …   0.54838039   0.51715473
  0.54222882]
```

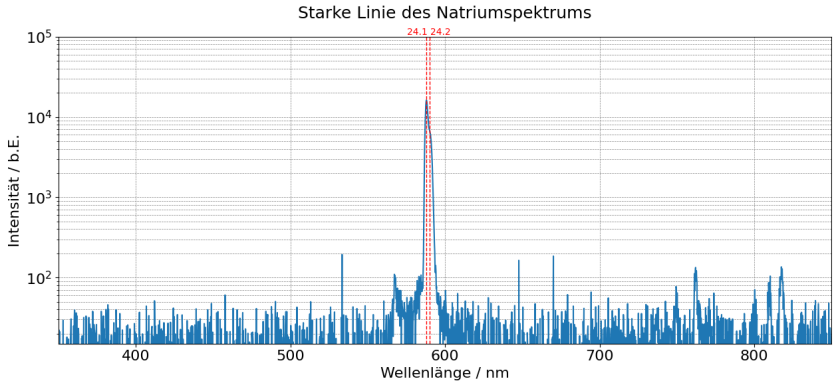
[6]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
plt.plot(lamb_og, inten_og)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.title ('Absorptionslinien des Sonnenspektrums', pad=20, fontsize = 18)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.ylim((0, 65000))
plt.xlim((350, 800))
absorptionslinien_lit = [
 (393.4, 'K'), (396.8, 'H'), (430.8, 'G'), (486.1, 'F'),(518.4, r'$b_1$'),
(527, 'E'),(587.6, r'$D_3$'),(589, r'$D_2$'),(589.6, r'$D_1$'), (656.3, 'C'),␣
 ↪(686.7, 'B'), (759.4, 'A')]
for wavelength_lit, symbol_lit in absorptionslinien_lit:
    plt.axvline(x=wavelength_lit, color='red', linewidth=1,␣
 ↪label='Literaturwert')
    plt.text(wavelength_lit, 65000, f'{symbol_lit}', color='red',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')

absorptionslinien = [
 (393, 'K'), (396, 'H'), (430, 'G'), (485.4, 'F'),(516.4, r'$b_1$'),
(526, 'E'),(587.6, r'$D_3$'),(589, r'$D_2$'),(589.6, r'$D_1$'), (655.3, 'C'),␣
 ↪(686.7, 'B'), (759.4, 'A')]
for wavelength, symbol in absorptionslinien_lit:
    plt.axvline(x=wavelength, color='blue', linewidth=1, label='Messwert')
    plt.text(wavelength, 65000, f'{symbol}', color='blue',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')
#plt.axvline(x=720, color='blue', linestyle='--', linewidth=1)
#plt.legend()
plt.savefig('Fraunhofer.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```



[7]:
```
lamb_d_g, inten_d_g = np.loadtxt('Daten/Na_ungesättigt.txt', skiprows =␣
↪14,converters = {0:comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments =␣
↪'>',unpack=True)
```

[8]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
plt.plot(lamb_d_g, inten_d_g)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.ylim((1.5*10**1, 10**5))
plt.xlim((350, 850))
plt.yscale("log")
plt.title ('Starke Linie des Natriumspektrums', pad=20, fontsize = 18)
plt.axvline(x=588 , color='red', linestyle='--', linewidth=1)
plt.text(582, 10**5, 24.1, color='red',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')
plt.axvline(x=590 , color='red', linestyle='--', linewidth=1)
plt.text(597, 10**5, 24.2, color='red',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')
plt.savefig('na_starke_linie.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```



[9]:
```
lamb_na_g_u, inten_na_g_u = np.loadtxt('Daten/Aufgabe 3 400-540␣
↪2_USB4F035431__0__10-01-05-907.txt', skiprows = 585, max_rows =1230␣
↪,converters = {0:comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments =␣
↪'>',unpack=True)
```

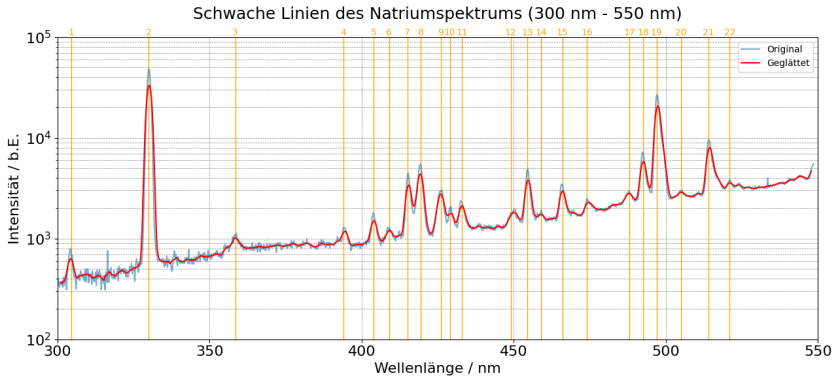
[10]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
#plt.plot(lamb_na_g_u, inten_na_g_u)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.ylim((10**2, 10**5))
plt.xlim((300, 550))
plt.yscale("log")
plt.title ('Schwache Linien des Natriumspektrums (300 nm - 550 nm)',␣
↪pad=20,fontsize = 18)


#Linien
absorptionslinien_2 = [(304.5, 1), (330, 2), (358.5, 3), (394,4),(404,5), (409,␣
↪6), (415, 7), (419.5, 8), (426, 9),
(429, 10),(433, 11), (449, 12), (454.5, 13), (459, 14), (466, 15), (474, 16),␣
↪(488, 17), (492.5, 18), (497, 19),(505, 20), (514, 21), (521, 22)]
for wavelength_2, symbol_2 in absorptionslinien_2:
    plt.axvline(x=wavelength_2, color='orange', linewidth=1)
    plt.text(wavelength_2, 10**5, symbol_2 , color='orange',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')
```

```
#Glätten der Kurve Durschnitt von etwa 1 nm
def moving_average(data, window_size=10):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size, mode='valid')

y_smooth = moving_average(inten_na_g_u, window_size=10)

# Plot
plt.plot(lamb_na_g_u, inten_na_g_u, alpha=0.6, label="Original" )  # Originale␣
 ↪Kurve mit Transparenz
plt.plot(lamb_na_g_u[:len(y_smooth)]+1, y_smooth, label="Geglättet",␣
 ↪color="red")  # Glatte Kurve
plt.legend()
plt.show()
plt.savefig('na_schwache_linie_u.png', dpi=300)
```




```
<Figure size 640x480 with 0 Axes>
```

[11]:
```
lamb_na_o, inten_na_o = np.loadtxt('Daten/5.txt', skiprows = 14,converters = {0:
 ↪comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments = '>',unpack=True)
```

[12]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
#plt.plot(lamb_na_o, inten_na_o)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.ylim((10**2, 10**5))
plt.xlim((600, 850))
plt.yscale("log")
```

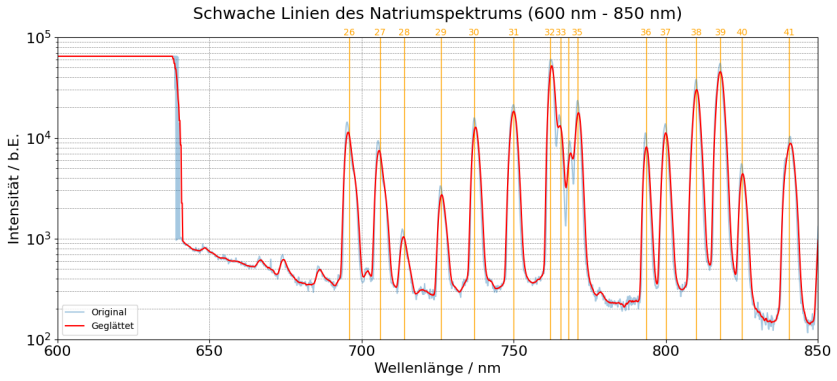
```
plt.title ('Schwache Linien des Natriumspektrums (600 nm - 850 nm)',␣
 ↪pad=20,fontsize = 18)
absorptionslinien_4 = [(696, 26), (706, 27), (714, 28), (726, 29), (737, 30),␣
 ↪(750, 31), (762, 32),
(765.5, 33), (768, ""), (771, 35), (793.5, 36), (800, 37), (810, 38), (818,␣
 ↪39), (825, 40),
(840.5, 41)]
for wavelength_4, symbol_4 in absorptionslinien_4:
    plt.axvline(x=wavelength_4, color='orange', linewidth=1)
    plt.text(wavelength_4, 10**5, symbol_4 , color='orange',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')


#Glätten der Kurve
def moving_average(data, window_size=10):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size, mode='valid')

y_smooth = moving_average(inten_na_o, window_size=10)

# Plot
plt.plot(lamb_na_o, inten_na_o, alpha=0.4, label="Original")  # Originale Kurve␣
 ↪mit Transparenz
plt.plot(lamb_na_o[:len(y_smooth)]+1, y_smooth, label="Geglättet", color="red")␣
 ↪ # Glatte Kurve
plt.legend()
plt.show()

plt.savefig('na_schwache_linie_o.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```




```
<Figure size 640x480 with 0 Axes>
```

7

[13]:
```
lamb_na_g_m, inten_na_g_m = np.loadtxt('Daten/Aufgabe 3 570␣
↪615_USB4F035431__0__10-06-32-811.txt', skiprows = 14,converters = {0:
↪comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments = '>',unpack=True)
```

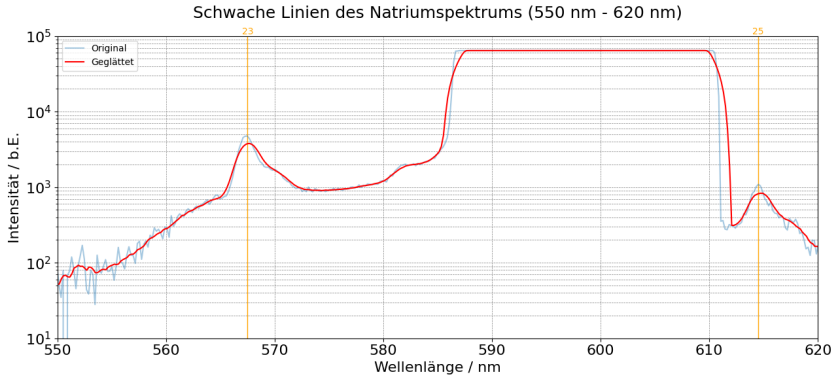
[14]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
#plt.plot(lamb_na_g_m, inten_na_g_m)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.ylim((10**1, 10**5))
plt.xlim((550, 620))
plt.yscale("log")
plt.title ('Schwache Linien des Natriumspektrums (550 nm - 620 nm)',␣
↪pad=20,fontsize = 18)
absorptionslinien_3 = [(567.5 , 23), (614.5, 25)]
for wavelength_3, symbol_3 in absorptionslinien_3:
    plt.axvline(x=wavelength_3, color='orange', linewidth=1)
    plt.text(wavelength_3, 10**5, symbol_3 , color='orange',
rotation=0, horizontalalignment='center',verticalalignment='bottom')

#Glätten der Kurve
def moving_average(data, window_size=10):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size, mode='valid')

y_smooth = moving_average(inten_na_g_m, window_size=10)

# Plot
plt.plot(lamb_na_g_m, inten_na_g_m, alpha=0.4, label="Original")  # Originale␣
↪Kurve mit Transparenz
plt.plot(lamb_na_g_m[:len(y_smooth)]+1, y_smooth, label="Geglättet",␣
↪color="red")  # Glatte Kurve
plt.legend()
plt.show()

plt.savefig('na_schwache_linie_m.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```



<Figure size 640x480 with 0 Axes>

[15]:
```
def fit_func(m, E_Ry, E_3p, D_d):
    return 1.2398E3/(E_Ry/(m-D_d)**2-E_3p)
wellenl = np.array([818.8, 568.1, 497.8, 466.3, 449.2, 438.7, 433.2, 429.5, 426.
↪3])
fehler = np.array([1.2, 1.0, 1.0, 1.1, 2.0, 1.2, 0.9, 0.9, 1.3])
quantenz = np.arange(3,12)


plt.errorbar(quantenz, wellenl, fehler, fmt = ".")
plt.xlabel('Hauptquantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlänge / nm')
plt.title('1. Nebenserie des Na-Atoms', fontsize = 14)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)


para = [-13.6, -3, -0.02]
popt, pcov = curve_fit(fit_func, quantenz, wellenl, sigma = fehler, p0=para)

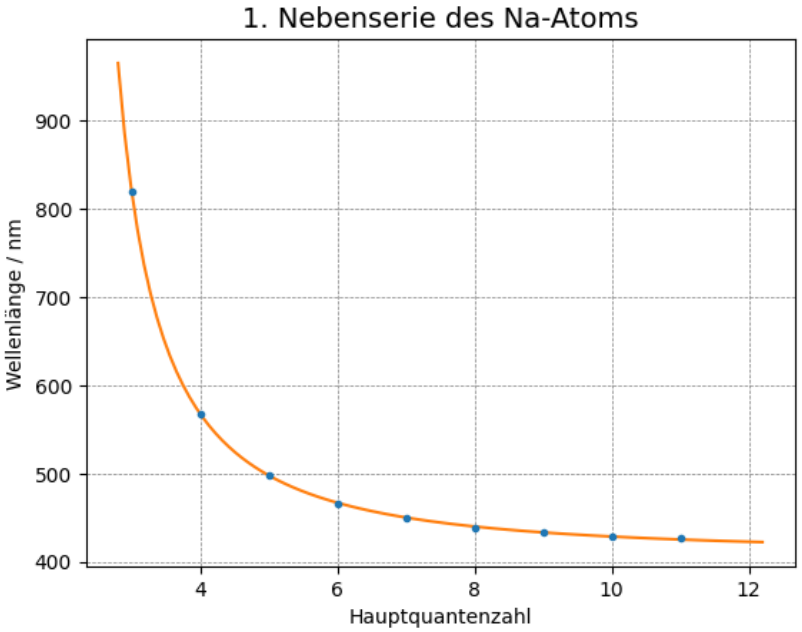

print("E_Ry = ", popt[0], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[0][0]))
print("E_3p = ", popt[1], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[1][1]))
print("D_d = ", popt[2], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[2][2]))


x=np.linspace(2.8,12.2, 100)
plt.plot(x,fit_func(x,*popt))
```

```
#plt.savefig("figures/1_Nebenserie.pdf",format="pdf")
chi2_=np.sum((fit_func(quantenz,*popt)-wellenl)**2/fehler**2)
dof=len(quantenz)-3#dof:degreesoffreedom,Freiheitsgrad
chi2_red=chi2_/dof
print("chi2=",chi2_)

print("chi2_red=",chi2_red)
prob=round(1-chi2.cdf(chi2_,dof),2)*100
print("Wahrscheinlichkeit:",prob,"%")
plt.savefig('1_nebenserie.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```

```
E_Ry =  -12.95283748129419 , Standardfehler =  0.26733133920129115
E_3p =  -3.023325708365462 , Standardfehler =  0.004333247423653862
D_d =  0.07053481742504598 , Standardfehler =  0.026955862291700636
chi2= 3.619772576231491
chi2_red= 0.6032954293719152
Wahrscheinlichkeit: 73.0 %
```



[18]:
```
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)
wellenl = np.array([615.2, 514.8, 474.6, 455.1])
fehler = np.array([1.8, 1.3, 1.1, 0.8])
quantenz = np.arange(5,9)
```

[19]:
```
plt.errorbar(quantenz, wellenl, fehler, fmt = ".")
plt.xlabel('Hauptquantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlänge / nm')
plt.title('2. Nebenserie des Na-Atoms', fontsize = 14)
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)


para = [-13.6, -3, -0.02]
popt, pcov = curve_fit(fit_func, quantenz, wellenl, sigma = fehler, p0=para)

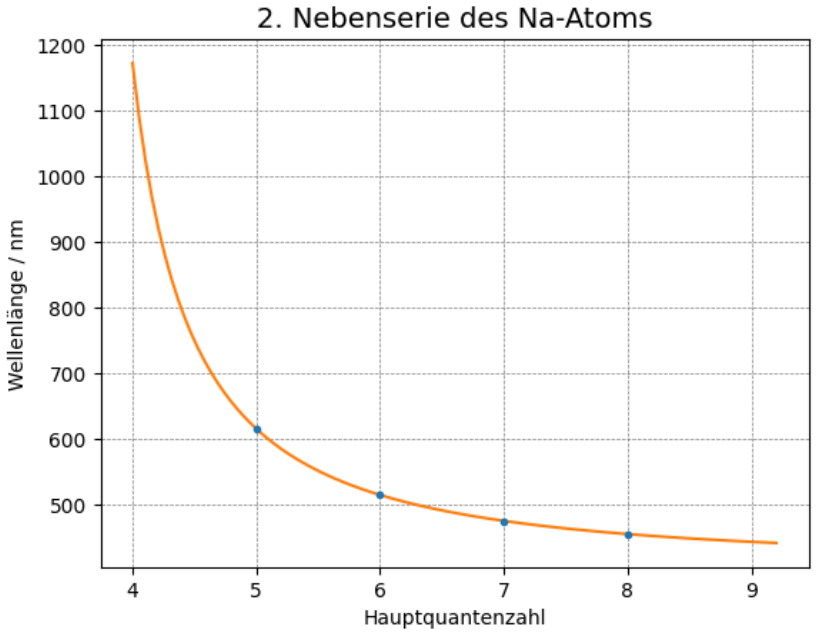

print("E_Ry = ", popt[0], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[0][0]))
print("E_3p = ", popt[1], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[1][1]))
print("D_d = ", popt[2], ", Standardfehler = ", np.sqrt(pcov[2][2]))


x=np.linspace(4 ,9.2, 100)
plt.plot(x,fit_func(x,*popt))


plt.savefig("1_Nebenserie.pdf",format="pdf")
chi2_=np.sum((fit_func(quantenz,*popt)-wellenl)**2/fehler**2)
dof=len(quantenz)-3#dof:degreesoffreedom,Freiheitsgrad
chi2_red=chi2_/dof
print("chi2=",chi2_)
print("chi2_red=",chi2_red)


prob=round(1-chi2.cdf(chi2_,dof),2)*100
print("Wahrscheinlichkeit:",prob,"%")
plt.savefig('2_nebenserie.png', dpi = 200, bbox_inches ="tight")
```

```
E_Ry =  -12.319995299729095 , Standardfehler =  0.8354932836907002
E_3p =  -3.015855511512123 , Standardfehler =  0.012382418112284384
D_d =  1.491426275266532 , Standardfehler =  0.09949412657243709
chi2= 0.2508655570486375
chi2_red= 0.2508655570486375
Wahrscheinlichkeit: 62.0 %
```

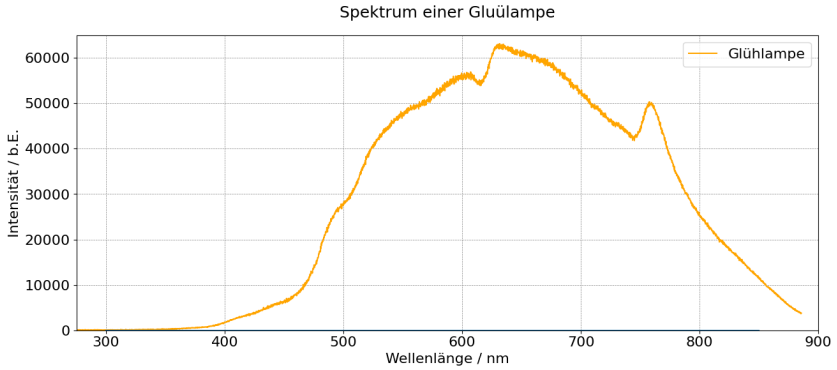


[31]:
```
lamb_G, inten_G = np.loadtxt('Daten/Glühlampe.txt', skiprows = 14, converters =␣
↪{0:comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments = '>', unpack=True)
```

[32]:
```
plt.figure(figsize=(15,6))
plt.plot(lamb_G, inten_G, label='Glühlampe', color = "orange")

plt.grid(True, which='both', linestyle='--', color='gray', linewidth=0.5)
plt.title('Spektrum einer Gluülampe', pad = 20, fontsize= 18)
plt.xlabel('Wellenlänge / nm', fontsize = 16)
plt.ylabel('Intensität / b.E.', fontsize = 16)
plt.xticks(fontsize=16)
plt.yticks(fontsize=16)
plt.legend(loc="best", fontsize = 16)
plt.ylim((0,65000))
plt.xlim((275,900))
plt.savefig("Glühlampe.png", format ="png", dpi = 200)
```

```
/tmp/ipykernel_3737705/573502939.py:6: OptimizeWarning: Covariance of the
parameters could not be estimated
  popt, pcov = curve_fit(Planck,lamb_G, inten_G, p0=2500+273.15 )
```


Spektrum einer Gluülampe
Glühlampe
Intensität / b.E.
Wellenlänge / nm
0
10000
20000
30000
40000
50000
60000
300
400
500
600
700
800
900

[ ]: