

Versuch 234: Lichtquellen

Yago Obispo Gerster

1. März 2024

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Physikalische Grundlagen	2
1.1.1 Temperaturstrahler	2
1.1.2 Nichttemperaturstrahler	3
1.1.3 Natriumlampe	3
2 Messprotokoll	4
3 Auswertung	8
3.1 Vergleich der verschiedenen Lichtquellspektren	8
3.2 Auswertung des Sonnenspektrums	9
3.3 Auswertung des Natriumspektrums	13
3.4 Zuordnung der gefundenen Linien zu Serien	14
3.4.1 Erwartete Linien für die erste Nebenserie $md \Rightarrow 3p$	15
3.4.2 Erwartete Linien für die zweite Nebenserie: $ms \Rightarrow 3p$	16
3.4.3 Erwartete Linien für die Hauptserie: $mp \Rightarrow 3s$	17
3.5 Bestimmung der Serienenergien und der l-abhängigen Korrekturfaktoren	17
4 Zusammenfassung und Diskussion	18
4.1 Diskussion	20
5 Quellen und Python Code	22

1 Einleitung und Motivation

Das Ziel dieses Versuches ist uns mit unterschiedlichen Lichtquellen zu beschäftigen und ihre Spektrallinien zu analysieren. Dafür werden wir ein Gitterspektrometer verwenden. Dabei wollen wir insbesondere die Fraunhofer- und Balmer-Serie beim Sonnenlicht und die Neben- und Hauptserien bei Natrium analysieren, um damit die Rydberg- und Seienenergie zu bestimmen.

test

(1)

1.1 Physikalische Grundlagen

1.1.1 Temperaturstrahler

Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt sendet elektromagnetische Strahlung aus. Nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz entspricht die emittierte Strahlungsleistung eines Körpers genau der absorbierten. Jedoch unterscheiden sich verschiedene Körper in ihrem Absorptionsvermögen. Als Idealisierung kann das Modell eines schwarzen Körpers verwendet werden, welcher einen Absorptionsvermögen von 1 hat - d.h. alle eingehende Strahlung wird absorbiert. Die emittierte Strahlung wird durch das Planksche Strahlungsgesetz beschrieben:

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

Dabei ist M_λ die Strahlungsleistung, vom Flächenelement dA im Wellenlängenintervall $\lambda, \lambda+d\lambda$, die in den Halbraum gestrahlt wird. k die Boltzmannkonstante, Weiterhin ist T die Temperatur, h das Plancksche Wirkungsquantum und c die Lichtgeschwindigkeit. Die Intensitätsverteilung des Strahlungsgesetzes ist anschaulich in Abbildung 1 dargestellt. Differenziert man das Planksche Strah-

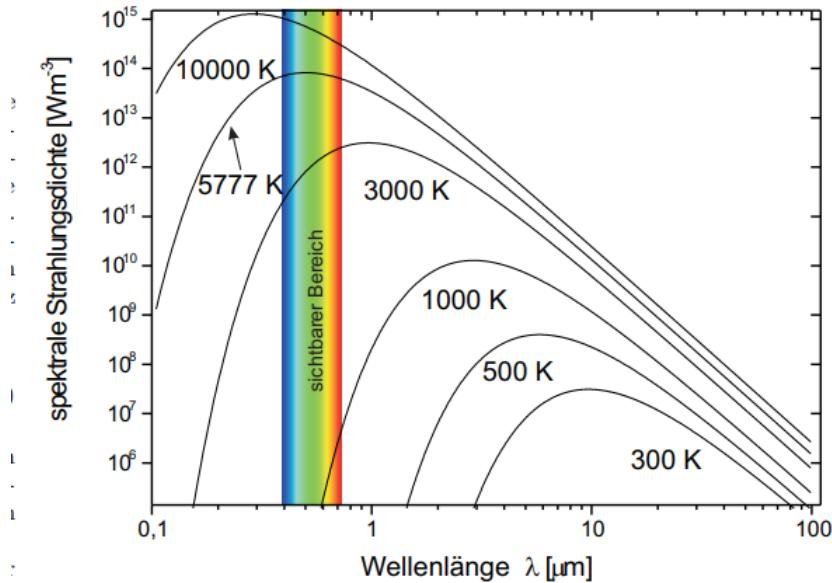


Abbildung 1: Veranschaulichung des Plankschen Strahlungsgesetzes (Quelle: Praktikumsskript v234 s2)

lungsgesetz bei fester Temperatur und setzt die Ableitung gleich 0, so kommt

man auf das Wiensche Verschiebungsgesetz, welches die Wellenlänge λ_{max} angibt, bei der die Strahlungsleistung maximal ist:

$$\lambda_{max} = \frac{2897,8\mu mK}{T} \quad (3)$$

Jeder Temperatur kann also ein λ_{max} zugeordnet werden, weshalb man auch oft von *Farbtemperatur* spricht. Bei $0K$ erscheint jeder Körper schwarz. Erwärmst man ihn ein wenig so wirkt er rot, dann orange, gelb und ab $5500K$ werden näherungsweise alle Wellenlängen mit der gleichen Intensität emittiert. Stärkere Erwärmungen führen zu blauen und violetten Tönen.

Licht mit hohem Blauanteil wird als Kaltlicht und Licht mit hohem Rotanteil als Warmlicht bezeichnet.

Zum Beispiel ist das Sonnenlicht eigentlich warm, wird aber durch die Streuung an unserer Atmosphäre bläulich kalt. Interessant ist dabei, dass dieses ein kontinuierliches Spektrum aufweist, welches durch einige schwarze (Fraunhofer-)Linien durchzogen ist. Diese Linien entstehen durch die Absorption in der Sonnen- und Erdatmosphäre. Mithilfe dieser Linien kann die Zusammensetzung der Sonnen- und Erdatmosphäre analysiert werden, da jedes Element charakteristische Absorptionslinien besitzt.

1.1.2 Nichttemperaturstrahler

Daneben existieren auch sogenannte *Nichttemperaturstrahler*, dessen Strahlung nicht durch Wärme entsteht, sondern durch die Anregung von Atomzuständen in Gasen oder Festkörpern oder durch Rekombination von Elektron-Loch Paaren in Halbleitern. Beispielsweise Gasentladungslampen, Leuchtdioden und LASER zählen zu dieser Kategorie.

Der entscheidende Unterschied zu den Temperaturstrahlern ist, dass diese kein kontinuierliches Spektrum aufweisen, sondern ein diskretes, da dieses von den benutzten Elementen abhängig ist.

Bei Leuchtdioden (LED) wird Licht durch die Rekombination von Elektron-Loch Paaren in einem pn-Übergang emittiert.

1.1.3 Natriumlampe

In diesem Versuch wollen wir uns mit Gasentladungslampen am Beispiel von einer Natriumlampe beschäftigen.

Alkaliatome besitzen nur ein *Leuchtelektron* und haben somit wasserstoffähnliche Spektren. Das Leuchtelektron beim Natrium befindet sich in der Nähe des Kerns im kugelsymmetrischen Coulombpotential:

$$V(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (4)$$

und weit entfernt im Wasserstoffpotential

$$V(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (5)$$

Hier sind die Energieniveaus nicht nur noch von der Hauptquantenzahl n abhängig, sondern auch vom Drehimpuls l . Näherungsweise gilt:

$$E_{n,l} = E_{Ryd} \cdot \frac{1}{(n - \Delta_{l,n})^2} \quad (6)$$

wobei der Korrekturterm $\Delta_{l,n}$ nur wenig von n abhängig ist.

Im Grundzustand befindet sich das Elektron im $3s$ Zustand. Die Hauptserie ist durch $mp \rightarrow 3s$ gegeben, die erste Nebenserie durch $md \rightarrow 3p$ und die zweite Nebenserie durch $ms \rightarrow 3p$. Dieses Spektrum ist jedoch abhängig von Faktoren wie Druck oder Feldstärke, weshalb es insbesondere nicht konstant ist.

2 Messprotokoll

Versuch 234: Lichtquelle und Gitterspektrometer

Yago Obispo
Juan Busto

Geruter
Fontanilla

Montag, 11 Dezember
14.-17.00

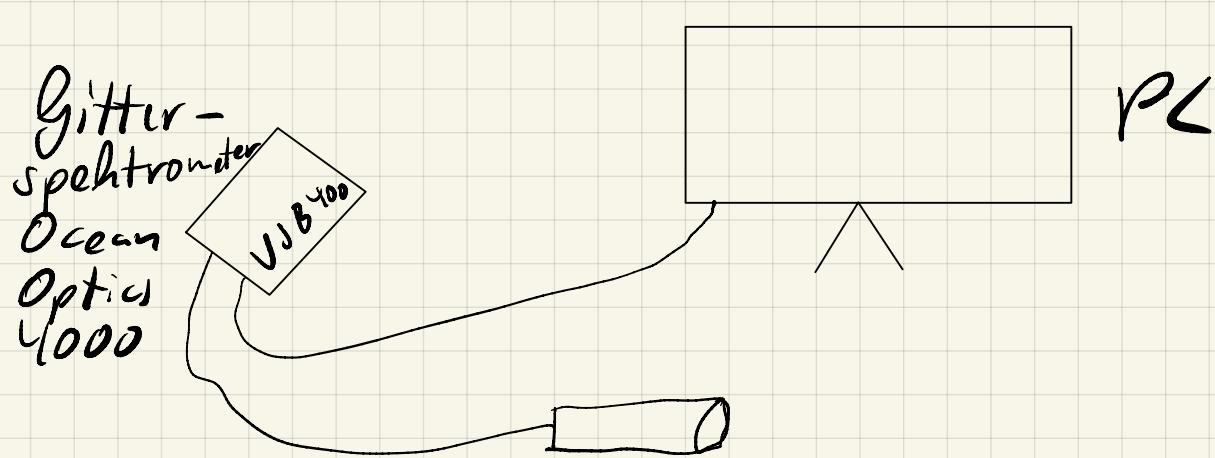


Abbildung 7: Versuchsaufbau

Unterschiedliche Lichtquellen die zur Verfügung stehen:

- LED
- Laser

(1) Sonnenpektrum messen

- Mit Fenster geschlossen
- Mit Fenster offen
- An diesem Versuchstag kein direktes Sonnenlicht weshalb dieses nicht gemessen werden konnte

(2) Qualitativer Vergleich unterschiedlicher Lichtquellen



LED RGB



Jahwaffe (weiß) Glühlampe



Glühlampe stark weiß



Glühlampe mittelstark weiß



Grüner Laserpointer

Abbildungen 2: Unterschiedliche Lichtquellen

(3) Natriumspektrum



11.12.2023
Vanessa Deuschler

3 Auswertung

3.1 Vergleich der verschiedenen Lichtquellenspektren

Zu Beginn wurde des Spektrum mehrerer zur Verfügung stehender Lichtquellen untersucht. Diese werde ich im folgenden in sinnvollen Kategorien grafisch darstellen und auf deren Unterschiede eingehen.

Während des Versuches wurden Bilder von den relevanten Lichtquellen gemacht. Diese sind im Messprotokoll aufgelistet.

An erster Stelle werde ich eine übliche Glühbirne mit einer Energiesparlampe vergleichen. Das Spektrum ist in Abbildung 2 dargestellt. Dabei kann man

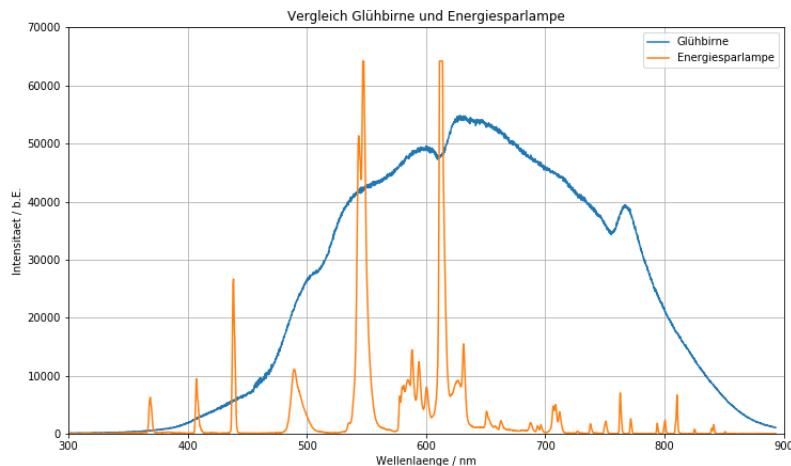


Abbildung 2: Vergleich Glühlampe und Energiesparlampe

erkennen, dass das Spektrum der Glühbirne kontinuierlich auf den sichtbaren und leicht infraroten Bereich verteilt ist, während das Spektrum der Energiesparlampe nur einzelne scharfe Peaks im sichtbaren Bereich besitzt (die beiden schärfsten bei 550nm und 610nm). Dadurch verbraucht die Glühbirne deutlich mehr, da die Fläche unter dem Spektrum deutlich grösser ist und die Energiesparlampe spart durch das Ausnutzen von starken und scharfen Peaks Energie. Beide emittieren weisses Licht, da diese mehrere Wellenlängen im sichtbaren Bereich enthalten welche sich überlagern.

Weiterhin wurde während des Versuches das Spektrum mehrerer unterschiedlicher LED's aufgezeichnet. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt. Dabei kann man erkennen, wie jede LED ein Maximum bei der ihr zugrundeliegenden Farbe besitzt und im Fall der weissen LED - in Analogie zur Glühbirne von davor - ein kontinuierlichen Wellenlängenbereich.

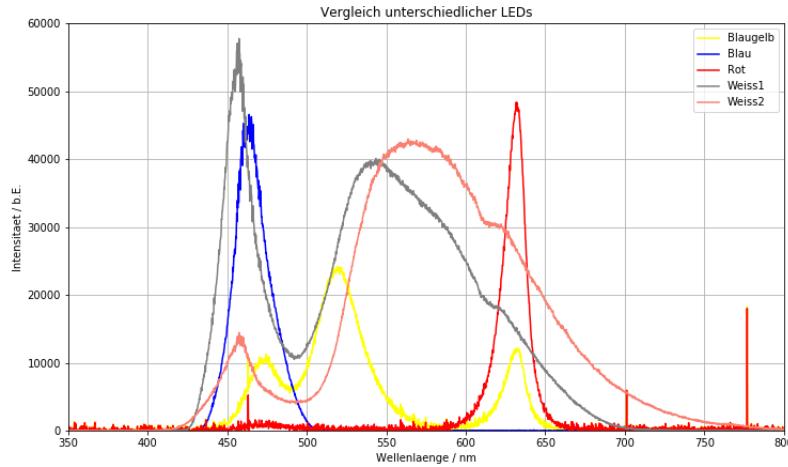


Abbildung 3: Vergleich Spektrum unterschiedlicher LED's

Zum Beispiel besitzt hier kaltes Licht wie blau, eine mittlere Wellenlänge von 465nm, blaugelb bei 475nm, 520nm und 630nm und Warmlicht wie rot bei 635nm.

Bei allen zuvor gezeigten Spektren konnte eine mehr oder weniger kontinuierliche Verteilung beobachtet werden. Die Spektren hatten bisher zwar Maxima, waren jedoch nicht besonders scharf. Anders sieht es bei einem Laser (hier der Farbe grün) aus, dessen Spektrum in Abbildung 4 dargestellt wurde. Laser sind stark monochromatisch und emittieren somit nur eine Wellenlänge mit einer gewissen Bandbreite die jedoch über die letzten Jahrzehnte auf beeindruckend geringe Größenordnungen reduziert werden konnte.

Der in diesem Versuch untersuchte Laser hat eine Wellenlänge von 535nm und ist somit etwas kälter als z.B. ein roter Laser.

3.2 Auswertung des Sonnenspektrums

Im zweiten Versuchsschritt soll das Sonnenspektrum genauer untersucht werden. Dabei beschäftigen wir uns zuerst mit der Absorption von Glas.

Während des Versuches haben wir sowohl das Sonnenspektrum bei geöffnetem Fenster als auch bei geschlossenem Fenster aufgenommen. Dabei muss erwähnt werden, dass der Versuch am 11. Dezember in Heidelberg durchgeführt wurde, weshalb die Intensität der Strahlung in diesem Fall nicht besonders hoch war und es bei den aufgezeichneten Spektren zu einigen Schwankungen kommt.

In Abbildung 5 wurde die gemessene Intensität für jede Wellenlänge grafisch aufgetragen. Das Spektrum stimmt mit den Erwartungen überein, da man deutlich

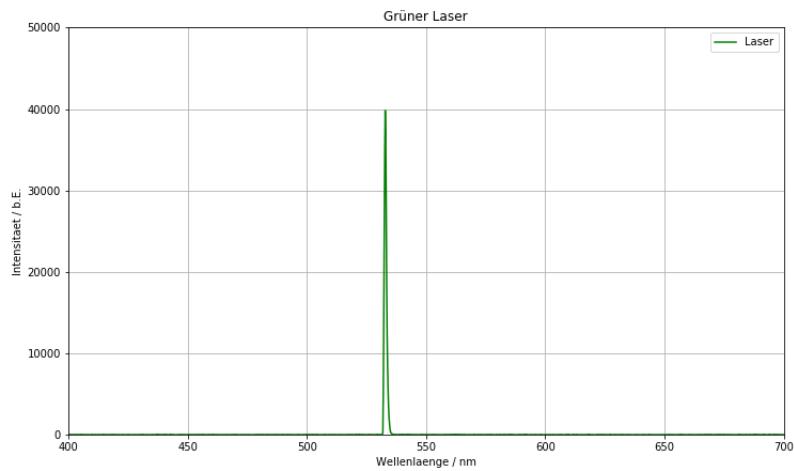


Abbildung 4: Spektrum eines grünen Lasers

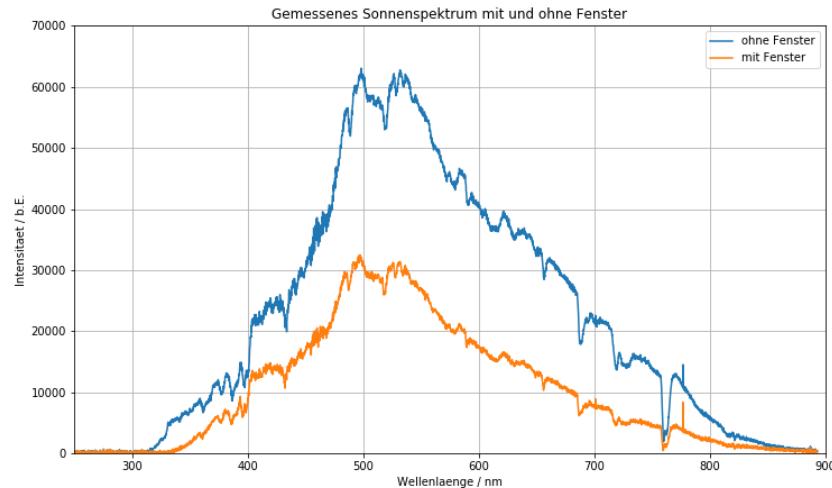


Abbildung 5: Spektrum des Himmellichts mit und ohne Glas

erkennen kann, dass die gesamte Intensität des Spektrums ohne Glas deutlich grösser ist als die mit Glas (betrachte dazu die Fläche der beiden Graphen). Das Glas absorbiert bzw. reflektiert somit einen erheblichen Anteil der einkommenden Strahlung. Insbesondere ist das Spektrum mit Glas an jedem Punkt kleiner

als das Spektrum ohne.

An dieser Darstellung ist es jedoch schwer erkennbar, ob das Glas einige spezifischen Wellenlängen stärker absorbiert als andere, weshalb die Absorption von Glas gemäss:

$$A_{Glas} = 1 - \frac{I_{mit}}{I_{ohne}} \quad (7)$$

wobei I die gemessene Intensität mit bzw. ohne Glas beschreibt. Berechnet man die Absorption für jede Wellenlänge und trägt diese grafisch auf, so erhält man den Verlauf in Abbildung 6. Hieran kann man erkennen, dass das Sonnenlicht

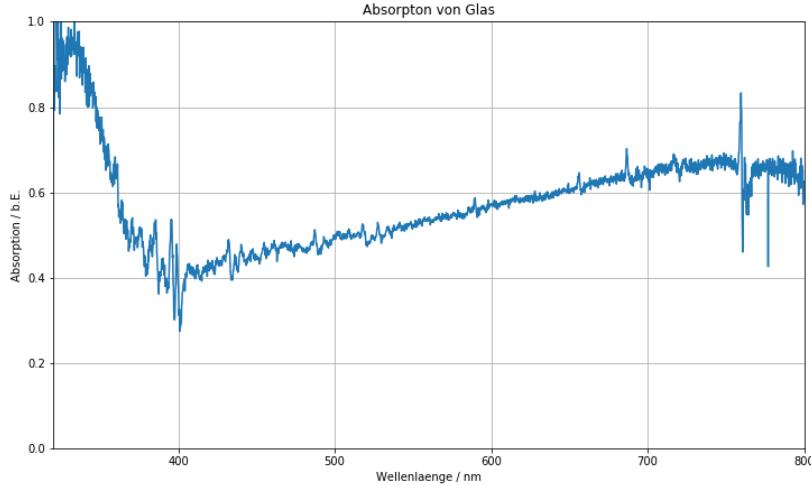


Abbildung 6: Absorption Glas für unterschiedliche Wellenlängen

vom Glas vor allem im infraroten und ultravioletten Bereich besonders stark absorbiert wird, während die Absorption im sichtbaren Bereich geringer ist. Im sichtbaren Bereich nimmt die Absorption langsam mit grösser werdenden Wellenlänge zu. Dies stimmt auch mit der alltäglichen Erfahrung überein, da das Fenster durchsichtig erscheint und die Farben bei Öffnen und Schliessen des Fensters sich für die menschliche Wahrnehmung nicht stark verändern.

Im Anschluss betrachten wir nur noch das Himmelsspektrum ohne Glas und versuchen darin die Fraunhoferlinien bzw. die Balmerlinien von Wasserstoff zu identifizieren.

Um die Spektrallinien von der Balmer Serie von Wasserstoff im Sonnenspektrum zu identifizieren, wird in das Diagramm des Himmelsspektrum reingezoomt und die Umgebungen um Stellen der bereits bekannten Werte der Balmer Serie genauer untersucht. Auffallende Knicke in diesen Umgebungen werden markiert und

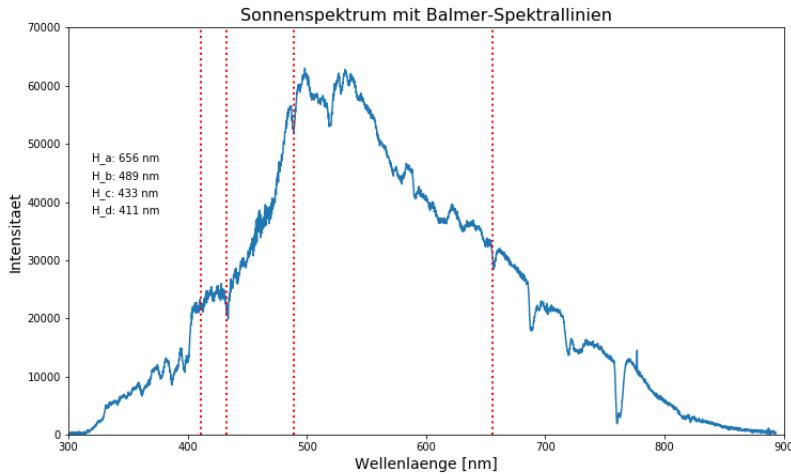


Abbildung 7: Balmer-Spektrallinien

grafisch in Abbildung 7 dargestellt. Das gleiche Verfahren wird für die Fraunhoferlinien in Abbildung 8 wiederholt. Die manuell identifizierten Werte für die

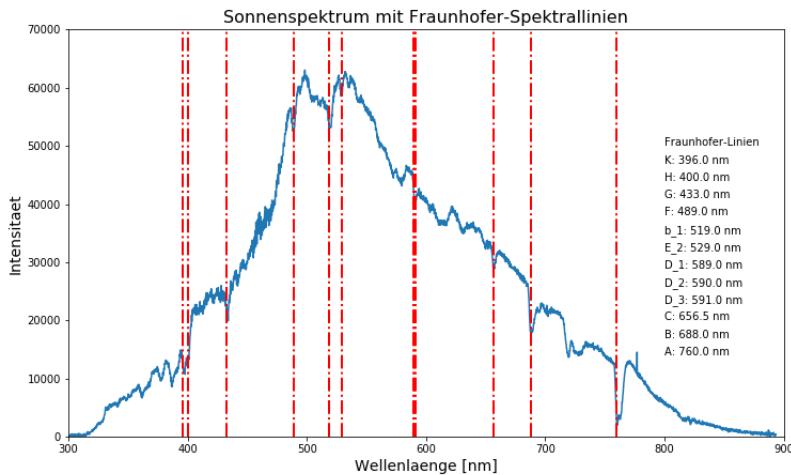


Abbildung 8: Fraunhofer-Spektrallinien

Wellenlänge werden in der Diskussion mit den Literaturwerten verglichen und deren Abweichung wird diskutiert.

Für den Fehler der angegebenen Wellenlängen wurde $\Delta\lambda = 1\text{nm}$ abgeschätzt, was etwa dem Bereich um die angegebene Wellenlänge entspricht in dem man bei leichtem Verschieben des Cursors noch behaupten könnte, dass die Wellenlänge dort liegt. Da alle Literaturwerte im Praktikumsskript für die Linien auf eine Nachkommastelle gerundet wurden, werden wir ebenfalls einen Fehler von $\Delta\lambda_{Lit} = 0,5\text{nm}$ für den Literaturwert berücksichtigen.

3.3 Auswertung des Natriumspektrums

Im letzten Versuchsschritt wurde eine Natriumlampe analysiert. Dabei beobachteten wir die sehr starke gelbe Linie und entschlossen uns, 2 Messungen durchzuführen: Eine bei welcher die gelbe hochintensive Linie in Sättigung geht und wir die schwachen Linien untersuchen können und eine bei welcher auch die starken Linien berücksichtigt werden.

Für die schwachen Linien betrachten wir separat die Bereiche zwischen $300 - 550\text{nm}$ und $600 - 850\text{nm}$ und für die starken den gesamten Bereich $300 - 850\text{nm}$.

Uns ist dabei bereits während dieses Versuches aufgefallen, dass die starke gelbe

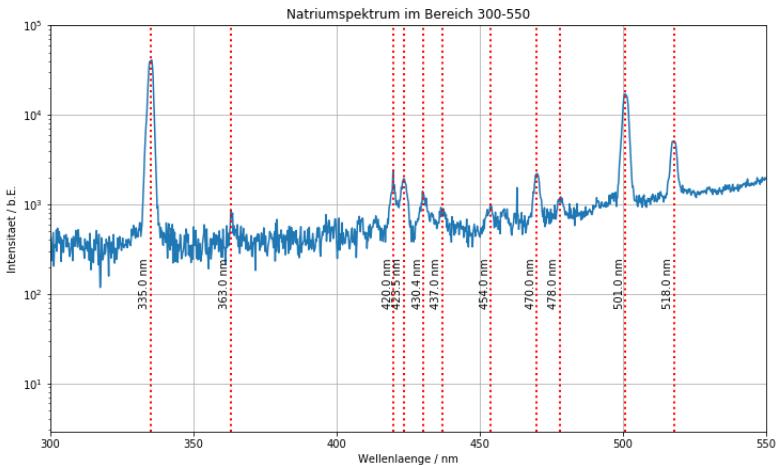


Abbildung 9: Schwache Spektrallinien im ersten Bereich

Linie des Natriumspektrums selbst bei der starken Messung noch in Sättigung ist, was jedoch unerwünscht war. Auf Hinweis der Tutorin sollten wir die gesättigte Linie ignorieren, da unser Gitterspektrometer diese nicht gut auflösen konnte.

Deshalb nehmen wir für alle Linien mit Ausnahme der starken gelben Linie, wieder einen Fehler von $\Delta\lambda = 1\text{nm}$ an. Für die in Sättigung liegende Linie sind wir entsprechend gezwungen einen grossen Fehler zu berücksichtigen, da der Versuch nicht besser durchgeführt werden konnte. Hierfür gilt: $\Delta\lambda = 20\text{nm}$.

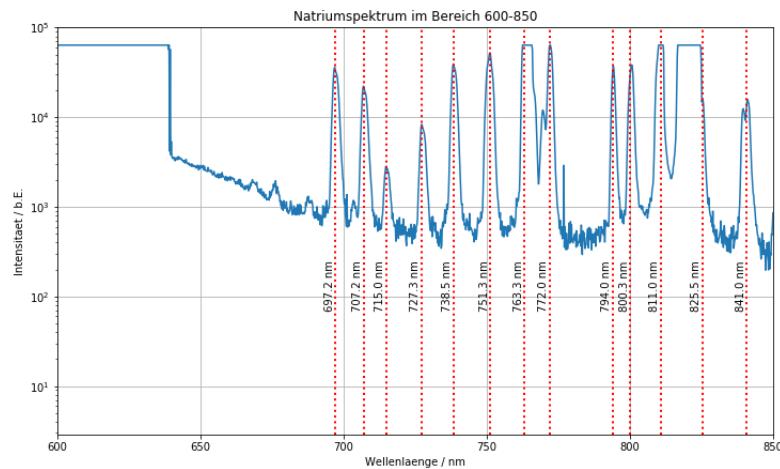


Abbildung 10: Schwache Spektrallinien im zweiten Bereich

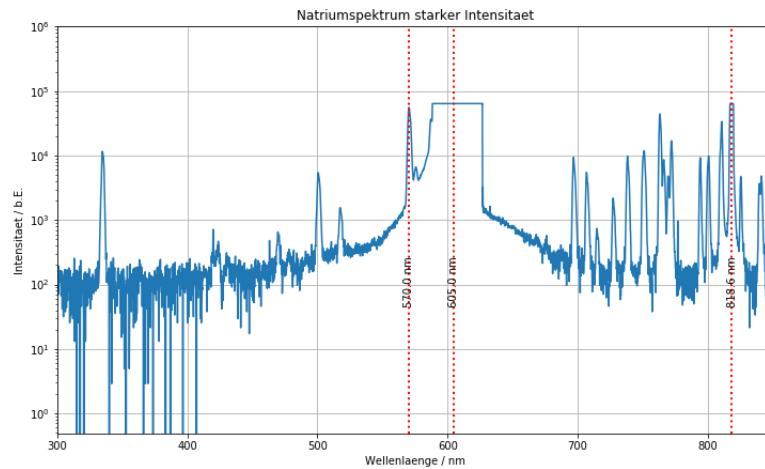


Abbildung 11: Starke Spektrallinien

3.4 Zuordnung der gefundenen Linien zu Serien

Die im Natriumspektrum identifizierten Linien werden den drei Serien des Natriums zugeordnet. Dafür muss die ungefähre Wellenlänge jeder Serie berechnet werden und mit den gefundenen Wellenlängen verglichen werden.

3.4.1 Erwartete Linien für die erste Nebenserie $m_d \Rightarrow 3p$

Zunächst können wir in erster Näherung annehmen, dass der Korrekturterm für die d-Energieniveaus Null ist. Dann gilt für die Wellenlänge der Hauptquantenzahl m des d-Niveaus eines Übergangs

$$\lambda_m = \frac{hc}{\frac{E_{Ry}}{m^2} - E_{3p}} \quad (8)$$

$$E_{Ry} = -13,605 \text{ eV} \quad (9)$$

Der Linie im Bereich 819 nm - welche in meinem Spektrum bei $(818,6 \pm 1) \text{ nm}$ liegt - wird die Ordnung $m = 3$ zugewiesen weshalb für E_{3p} folgt:

$$E_{3p} = \frac{E_{Ry}}{3^2} - \frac{hc}{818,6 \text{ nm}} \quad (10)$$

$$\Delta E_{3p} = hc \cdot \frac{\Delta \lambda}{\lambda^2} \quad (11)$$

$$E_{3p} = (-3,0262 \pm 0,0019) \text{ eV} \quad (12)$$

Anschliessend soll für $m \in \{3, \dots, 12\}$ die erwartete Wellenlänge im Natriumspektrum bestimmt werden und dieser Wert soll mit meinen bestimmten Linien verglichen werden. Dazu gehe ich am besten tabellarisch vor: Die gemessene Linie

m	λ erwartet [nm]	λ zugeordnet [nm]
3	819.00	818.6
4	569.98	570.0
5	499.66	501.0
6	468.28	470.0
7	451.20	keine
8	440.76	437.0
9	433.88	430.4
10	429.08	430.4
11	425.61	423.5
12	423.00	420.0

Tabelle 1: Zuordnung der erwarteten Linien zu gemessenen Linien

bei $430,4 \text{ nm}$ wurde dabei zwei möglichen Linien zugeordnet. Eine davon wird wahrscheinlich die richtige sein, während die andere nicht beobachtet wurde.

3.4.2 Erwartete Linien für die zweite Nebenserie: ms \Rightarrow 3p

Die gelbe D-Linie des Natriums bei $\lambda = 589\text{nm}$ soll dem Übergang $3p \Rightarrow 3s$ entsprechen. Damit wird die Bindungsenergie des Grundzustands berechnet:

$$E_{3s} = E_{3p} - \frac{hc}{\lambda} \quad (13)$$

$$\Delta E_{3s} = \sqrt{\Delta E_{3p}^2 + \left(\frac{hc\Delta\lambda}{\lambda^2}\right)^2} \quad (14)$$

$$E_{3s} = (-5, 130 \pm 0, 004)\text{eV} \quad (15)$$

Hier wurde der Wert 589nm verwendet, anstatt die eigene gemessene Linie, da unsere gelbe Linie in Sättigung war. Daraus kann der Korrekturfaktor gemäss

$$\Delta_s = 3 - \sqrt{\frac{E_{Ry}}{E_{3s}}} \quad (16)$$

$$\Delta(\Delta_s) = \frac{\Delta E_{3s} \cdot \sqrt{\frac{E_{Ry}}{E_{3s}^3}}}{2} \quad (17)$$

$$\Delta_s = (1, 3716 \pm 0, 0004) \quad (18)$$

bestimmt werden. Für die Wellenlänge gilt dann

$$\lambda_m = \frac{hc}{\frac{E_{Ry}}{(m - \Delta_s)^2} - E_{3p}} \quad (19)$$

Ich liste im Anschluss erneut tabellarisch die berechneten Wellenlängen und die von mir dazugeordneten Wellenlängen auf.

m	λ erwartet[nm]	λ zugeordnet [nm]
4	1173.81	keine
5	622.36	keine
6	518.66	518.0
7	477.58	478.0
8	456.51	454.0
9	444.11	keine

Tabelle 2: Zuordnung der erwarteten Linien zu gemessenen Linien (2te Nebenserie)

3.4.3 Erwartete Linien für die Hauptserie: $mp \Rightarrow 3s$

Aus E_{3p} wird der Korrekturfaktor Δ_p berechnet:

$$\Delta_p = 3 - \sqrt{\frac{E_{Ry}}{E_{3p}}} \quad (20)$$

$$\Delta(\Delta_p) = \frac{\Delta E_{3p} \cdot \sqrt{\frac{E_{Ry}}{E_{3p}^2}}}{2} \quad (21)$$

$$\Delta_p = 0,8794 \pm 0,0006 \quad (22)$$

Für $m = 4$ bzw. 5 werden die Wellenlängen mit

$$\lambda_m = \frac{hc}{\frac{E_{Ry}}{(m-\Delta_p)^2} - E_{3s}} \quad (23)$$

bestimmt. Wir erhalten nach Identifikation mit gemessenen Linien: Insbeson-

m	λ erwartet [nm]	λ zugeordnet [nm]
4	332.09	335.0
5	286.39	keine

Tabelle 3: Zuordnung der erwarteten Linien zu gemessenen Linien (Hauptserie)

dere konnte für $m = 5$ keine Wellenlänge identifiziert werden, da wir nur den Bereich von $300 - 850\text{nm}$ untersucht haben.

Es konnten insgesamt also viele Wellenlängen bekannten Übergängen zugeordnet werden. Besonders im hochwellenlängigen Bereich jedoch (um die 700nm) befinden sich noch viele gemessene Wellenlängen, welche keinem Übergang zugeordnet wurden. Diese gehören zum Grossteil zu Krypton, werden aber nicht tiefer untersucht.

3.5 Bestimmung der Serienenergien und der l-abhängigen Korrekturfaktoren

Die gemessenen Serien der Wellenlängen werden verwendet um die Rydbergenergie E_{Ry} , E_{3p} und Δ_d , Δ_s zu bestimmen. Damit können unsere vorherige Ergebnisse überprüft werden.

Dazu werden die gefundenen Linien und die dazugehörigen Quantenzahlen in Python Arrays eingetragen und tragen die Wellenlänge gegen die Quantenzahl grafisch auf.

$$\lambda(m) = \frac{hc}{\frac{E_{Ry}}{(m-\Delta_d)^2} - E_{3p}} \quad (24)$$

Für den Übergang $md \Rightarrow 3p$ fitten wir diese Funktion an unsere Messdaten (Abbildung 13). Somit erhalten wird als Fitparameter:

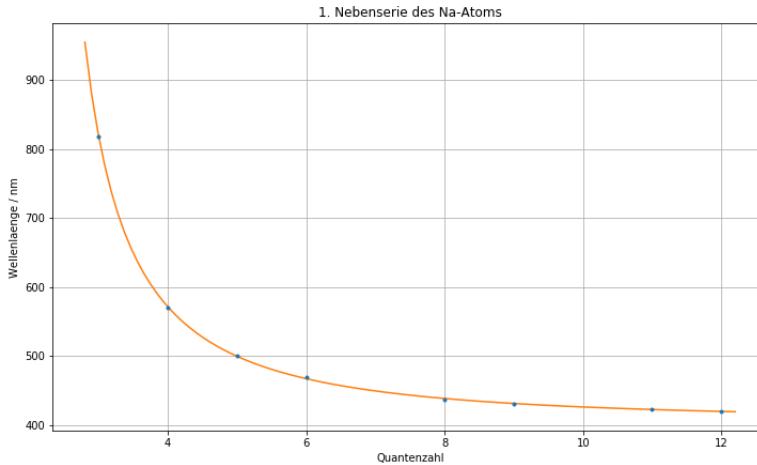


Abbildung 12: Grafische Bestimmung der Energien und Korrekturterme

$$E_{Ry1} = (-15,2 \pm 0,7)eV \quad (25)$$

$$E_{3p1} = (-3,055 \pm 0,010)eV \quad (26)$$

$$\Delta_d = (-0,14 \pm 0,06) \quad (27)$$

Die Güte des Fits wird in der Diskussion genauer untersucht.

Das gleiche Verfahren wird ein zweites Mal für die 2te Nebenserie wiederholt (dabei wird nun anstatt Δ_d , Δ_s bestimmt).

Bei der zweiten Nebenserie wurden jedoch nur 3 der 6 Linien identifiziert. Da der Fit für die drei Punkte (welche ausgerechnet auch die Quantenzahlen 6, 7 und 8 haben und somit dicht beieinander liegen) nicht zielführend ist, wird eine weitere theoretisch existente Linie hinzugenommen. Mit diesem Ansatz erhalte ich als Fitparameter:

$$E_{Ry2} = (-14,6 \pm 1,6)eV \quad (28)$$

$$E_{3p2} = (-3,05 \pm 0,03)eV \quad (29)$$

$$\Delta_{s2} = (1,29 \pm 0,13) \quad (30)$$

4 Zusammenfassung und Diskussion

Zusammenfassend haben wir uns in diesem Versuch mit der Spektralanalyse von unterschiedlichen Lichtquellen beschäftigt.

Dazu haben wir als Erstes das Spektrum einer Glühbirne mit dem von einer Energiesparlampe verglichen und erkannt, dass die Glühbirne weisses Licht erzeugt, indem sie kontinuierlich einen weiten Bereich des sichtbaren Spektrums

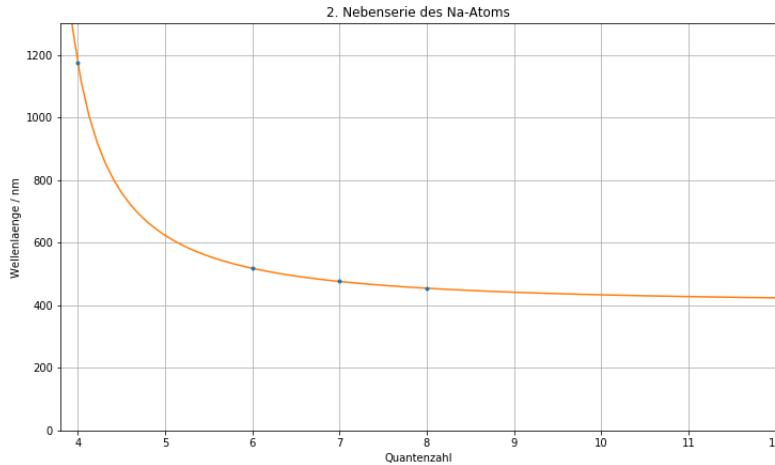


Abbildung 13: Grafische Bestimmung der Energien und Korrekturterme

abdeckt, während die Energiesparlampe durch stark intensive verteilte schärfere Peaks einen ähnlichen Effekt erreicht. Auch das Spektrum verschiedenfarbiger LED's wurde untereinander verglichen und festgestellt, dass die Maxima mit den dazugehörigen Farben übereinstimmten. Im letzten Schritt dieses Versuchsteils haben wir das Spektrum eines grünen Lasers beobachtet und festgestellt, dass dieser die kleinste Bandbreite aufwies und somit monochromatisch war.

Als Zweites haben wir uns mit dem Sonnenspektrum befasst und die Absorption von Himmelslicht durch Glas beobachtet. Durch eine grafische Darstellung des Absorptionsverhaltens gegen die Wellenlänge ist uns klargeworden, dass Glas vor allem Wellenlängen im ultravioletten und infraroten Bereich absorbiert und für Wellenlängen im sichtbaren Bereich durchsichtbarer ist. In diesem Sonnenpektrum haben wir weiterhin die Balmer Serie von Wasserstoff und die Fraunhoferlinien gekennzeichnet.

Zuletzt wurde das Natriumspektrum unter die Lupe genommen. Dabei haben wir grafisch die Spektrallinien der beiden relevanten Nebenserien und der Hauptserie gekennzeichnet und diese mit den theoretisch zu erwartenden Werte verglichen. Dabei wurden auch die Energien zu $E_{3p} = (-3,0262 \pm 0,0019)eV$ und $E_{3s} = (-5,130 \pm 0,004)eV$ bestimmt, sowie die Korrekturen $\Delta_s = (1,3716 \pm 0,0004)$ und $\Delta_p = 0,8794 \pm 0,0006$.

Im letzten Schritt wurden die vorherigen Ergebnisse verifiziert, indem die Energien und Korrekturen über eine andere Methode bestimmt wurden. Diese bestand darin, die identifizierten Wellenlängen grafisch gegen die Quantenzahl

aufzutragen und eine Wellenlängenfunktion anzufitten. Der Fit lieferte $E_{Ry2} = (-14,6 \pm 1,6)eV$, $E_{3p2} = (-3,05 \pm 0,03)eV$ und $\Delta_{s2} = (1,29 \pm 0,13)$.

4.1 Diskussion

Im Anschluss werden die Ergebnisse des Versuches untereinander und mit Literaturwerten verglichen und deren Fehler kritisch untersucht. Weiterhin werde ich einige Verbesserungsvorschläge dafür präsentieren, wie diese Fehler durch eine geeigneteren Versuchsdurchführung minimiert werden könnten. Für die Sigma-Abweichungen wird folgende Formel verwendet:

$$\frac{|Wert1 - Wert2|}{\sqrt{Fehler1^2 + Fehler2^2}} \quad (31)$$

Bezüglich der Messung des Sonnenspektrums, ist es uns gelungen zu erkennen, dass bei der Nutzung von Glas einige Wellenlängen im ultravioletten und infraroten absorbiert werden. Jedoch wäre dieser Effekt vermutlich noch stärker zum Ausdruck gekommen, wenn die Messung an einem geeigneteren Tag durchgeführt worden wäre. Diese wurde nämlich am 11. Dezember in Heidelberg - an einem bewölkten, leicht regnerischen Tag durchgeführt, weshalb die Intensität des Lichts etwas geringer war. Bei dem Graphen der Absorption kann man beispielweise erkennen, wie die Absorption immer über 30% liegt. Dies liegt wahrscheinlich nicht daran, dass das sichtbare Licht so stark absorbiert wird, sondern daran, dass zwischen der Messung bei direktem Sonnenlicht und der mit Fenster ein wenig Zeit vergangen ist, in welcher sich die Verteilung der Wolken am Himmel vermutlich verändert hat. Deshalb sollte man eine mögliche Verschiebung dieses Graphen nach oben oder unten mitberücksichtigen.

Nun will ich die identifizierten Fraunhofer- und Balmer-Linien mit den Literaturwerten vergleichen (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5).

Dabei kann man erkennen, dass die Linien alle innerhalb des signifikanten 3σ -Bereiches miteinander übereinstimmen (diese wurden nämlich auch so gewählt, sodass sie zu den theoretischen Werten passen). Es ist uns also mit dem Spektrometer gelungen, die wichtigen Linien zu identifizieren. Um die Linien besser identifizieren zu können müsste die Dunkelmessung sorgfältiger durchgeführt werden und die Intensität des Himmelslichts erhöht werden.

Anschliessend soll noch die Güte des Fits im letzten Versuchsteil beim Natriumspektrum untersucht werden. Dazu verwenden wir die χ^2 -Methode. Dabei muss noch einmal betont werden, dass ich bei der zweiten Nebenserie eine theoretische Linie hinzugefügt habe um den Graphen fitten zu können, da die 3 gefundenen Messpunkte nicht ausreichten um den Graphen an die Messpunkte zu fitten (mindestens 4 Messungen waren nötig).

Für die erste Nebenserie erhalten wir eine Fitwahrscheinlichkeit von 1% und für die zweite von 7%. Beides sind eindeutig geringe Fitwahrscheinlichkeiten, was

Symbol	$\lambda_{Versuch} \pm 1[\text{nm}]$	$\lambda_{Lit} \pm 0,5[\text{nm}]$	Abs. Abw.[nm]	Sig. Abw. σ
A	760.0	759.4	0.6	0.5
B	688.0	686.7	1.3	1.2
C	656.5	656.3	0.2	0.18
D3	591.0	589.6	1.4	1.3
D2	590.0	589.0	1.0	0.9
D1	589.0	587.6	1.4	1.3
E2	529.0	527.0	2.0	1.8
b1	519.0	518.4	0.6	0.5
F	489.0	486.1	2.9	2.6
G	433.0	430.8	2.2	2.0
H	400.0	396.8	3.2	2.9
K	396.0	393.4	2.6	2.3

Tabelle 4: Vergleich der Fraunhoferlinien mit Literaturwerten

Symbol	$\lambda_{Versuch} \pm 1[\text{nm}]$	$\lambda_{Lit} \pm 0.5$	Abs. Abw.[nm]	Sig. Abw.
a	656	656.3	0.3	0.27
b	489	486.1	2.9	2.60
c	433	434.0	1.0	0.9
d	411	410.1	0.9	0.8

Tabelle 5: Vergleich der Balmerlinien mit Literaturwerten

wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, dass einige Linien falsch zugeordnet wurden bzw. das deren Abweichung von den theoretischen Werten ziemlich gross ist. Weiterhin sollte man beachten, dass Δ_d eine empirische Näherungsformel ist und in Wirklichkeit auch noch schwach von der Quantenzahl n abhängig ist, was hier jedoch laut Praktikumsskript vernachlässigt werden konnte.

Um zu überprüfen wie scherwiegend diese schlechte Fitwahrscheinlichkeit ist, werde ich noch die ermittelte Rydberg-Energie, E_{3p} und Korrekturen mit den Literaturwerten vergleichen.

Für die Rydberg-Energie gilt für den Literaturwert: $E_{Ry} = -13.605\text{eV}$. Die Kurvenanpassung der 1. Nebenserie lieferte $(-15.2 \pm 0,7)\text{eV}$ was einer absoluten Abweichung von $1,6\text{eV}$ und einer Sigma-Abweichung von $2,3$ entspricht. Die 2. Nebenserie lieferte eine Abweichung von 1.0 - also 0.6σ .

E_{3p} wurde zu $E_{3p} = -3.0262 \pm 0,0019\text{eV}$ bestimmt. Die Energie der 1. Nebenserie weicht somit um $0,028\text{eV}$ von dieser ab, was einer Abweichung von $2,9\sigma$ entspricht. Die Energie der 2. Nebenserie weicht um 0.024 bzw. 0.7σ davon ab. Für die Korrektur $\Delta_d = 0$ besitzt die 1. Nebenserie eine Abweichung von 0.14 bzw. 2.3σ .

Für die Korrektur $\Delta_s = 1,3716 \pm 0,0006$ besitzt die 2.Nebenserie eine Abweichung von 0.07 . Wir sehen also, das, obwohl die Fitwahrscheinlichkeit ziemlich schlecht ist, die Werte noch innerhalb des 3σ Bereiches miteinander übereinstimmen und somit die Messung zwar nicht genau aber gültig ist. Insgesamt will ich

auch noch einmal betonen, dass bei allen Teilschritten dieses Versuches, bei denen Spektrallinien identifiziert werden sollten, wir uns immer nach den bereits bekannten Wellenlängen gerichtet haben. Die Situation wäre deutlich erschwert, wenn wir keine Literaturwerte zur Verfügung gehabt hätten an denen wir uns orientieren könnten und von denen wir wussten, dass die gemessenen Linien in einer Umgebung liegen mussten. Gleichzeitig hat das Wissen a priori der Linien möglicherweise auch unsere Ergebnisse geprägt, da wir gezielt in solchen Bereichen gesucht haben.

5 Quellen und Python Code

- PAP 2.1 Anleitung der Universität Heidelberg

Lichtquellen

February 15, 2024

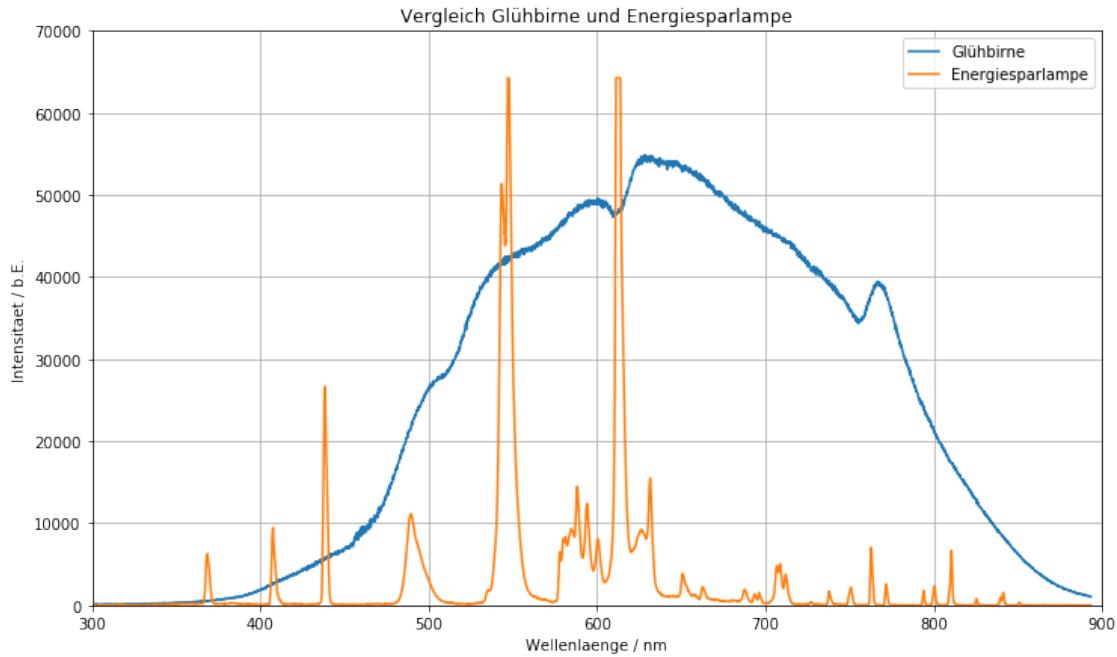
0.0.1 Auswertung Versuch 234 Lichtquellen

Yago Obispo Gerster |mn304

```
[1]: %matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
def comma_to_float(valstr):
    return float(valstr.decode("utf-8").replace(',', '.'))
```

```
[2]: #Vergleich Spektrum unterschiedlicher Lichtquellen
#Glühbirne vs. Energiesparbirne
lamb_g, inten_g=np.loadtxt('GlLam.txt', skiprows=17,converters= {0:
    ↪comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)
lamb_e, inten_e=np.loadtxt('GlSpar.txt', skiprows=17,converters= {0:
    ↪comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_g, inten_g,label="Glühbirne")
plt.plot(lamb_e,inten_e,label="Energiesparlampe")
plt.title('Vergleich Glühbirne und Energiesparlampe')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.grid()
plt.legend()
plt.ylim((0,70000))
plt.xlim((300,900))
plt.savefig("VersuchLichtquellen/Glühvs.Energie.png", format="png")
```

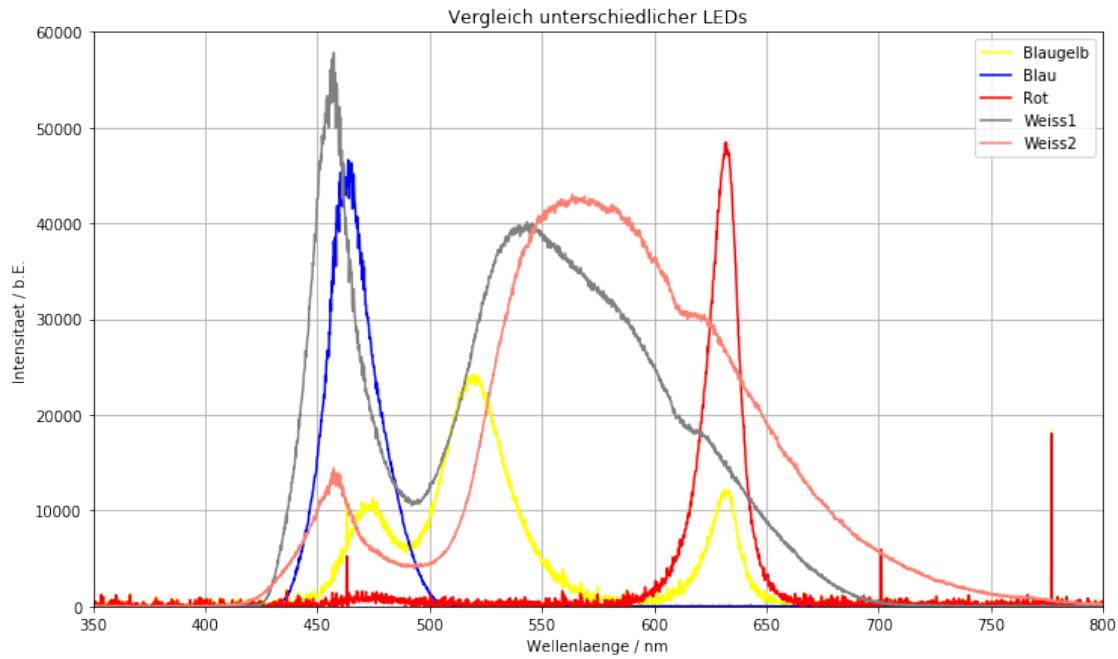


```
[3]: #Vergleich unterschiedlicher LED's
lamb_bg, inten_bg=np.loadtxt('LEDbg.txt', skiprows=17,converters= {0:
    >comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)
lamb_bl, inten_bl=np.loadtxt('LEDb1.txt', skiprows=17,converters= {0:
    >comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)
lamb_Red, inten_Red=np.loadtxt('LEDRed.txt', skiprows=17,converters= {0:
    >comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)
lamb_w, inten_w=np.loadtxt('LEDW.txt', skiprows=17,converters= {0:
    >comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)
lamb_we2, inten_we2=np.loadtxt('LEDwe2.txt', skiprows=17,converters= {0:
    >comma_to_float, 1:comma_to_float},comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_bg, inten_bg,label="Blaugelb",color="yellow")
plt.plot(lamb_bl,inten_bl,label="Blau",color="blue")
plt.plot(lamb_Red,inten_Red,label="Rot",color="red")
plt.plot(lamb_w,inten_w,label="Weiss1",color="grey")
plt.plot(lamb_we2,inten_we2,label="Weiss2",color="salmon")

plt.title('Vergleich unterschiedlicher LEDs')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.grid()
plt.legend()
plt.ylim((0,60000))
```

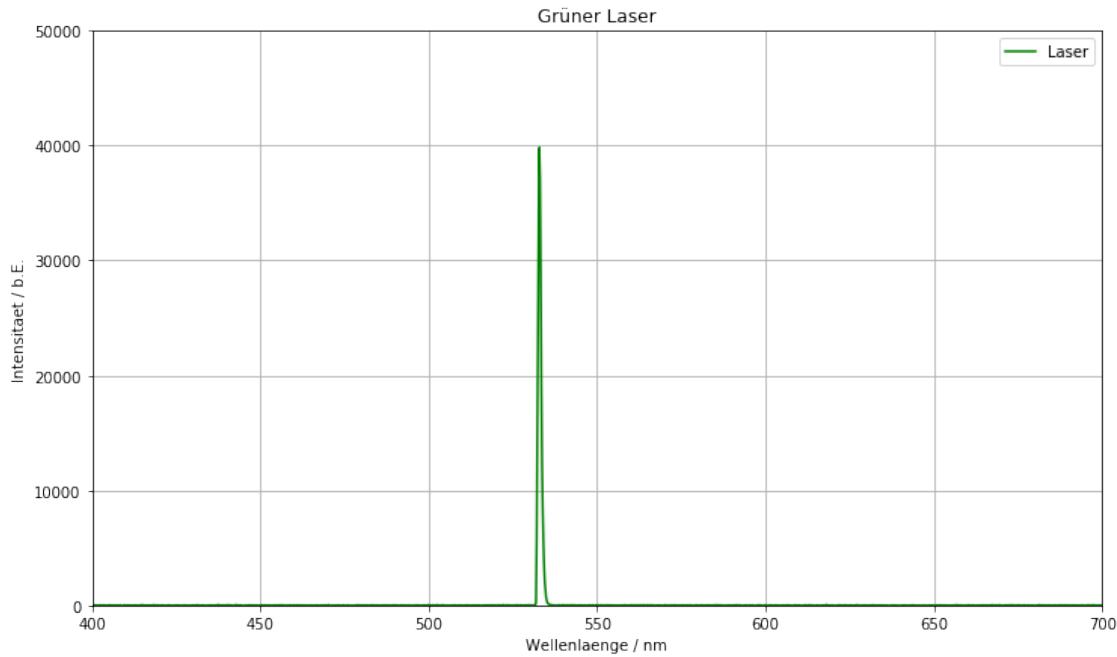
```
plt.xlim((350,800))
plt.savefig("VersuchLichtquellen/LEDsVergleich.png", format="png")
```



```
[4]: #Grüner Lase
lamb_l, inten_l=np.loadtxt('Lasgr.txt', skiprows=17, converters= {0:
    <--comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_l, inten_l,label="Laser",color="green")

plt.title('Grüner Laser')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.grid()
plt.legend()
plt.ylim((0,50000))
plt.xlim((400,700))
plt.savefig("VersuchLichtquellen/GrünerLaser.png", format="png")
```



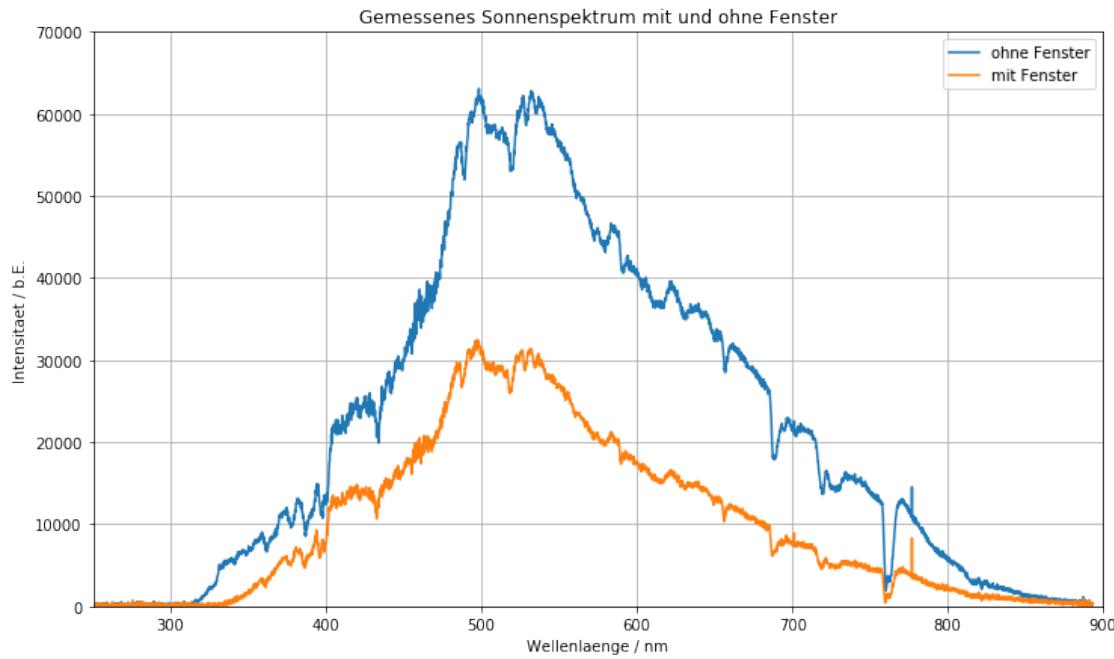
```
[5]: #Auswertung des Sonnenspektrums
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

def comma_to_float(valstr):
    return float(valstr.decode("utf-8").replace(',', '.'))

#Importiere Dateien für Himmelslicht ohne Glas und Himmelslicht mit Glas
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('opFen.txt', skiprows=17, converters= {0:
    comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments='>', unpack=True)
lamb_mg, inten_mg=np.loadtxt('clfFen.txt', skiprows=17, converters= {0:
    comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments='>', unpack=True)

#Auftragen der beiden Spektren in ein gemeinsames Diagramm
plt.figure(figsize = (12, 7))
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((0,70000))
plt.xlim((250,900))
```

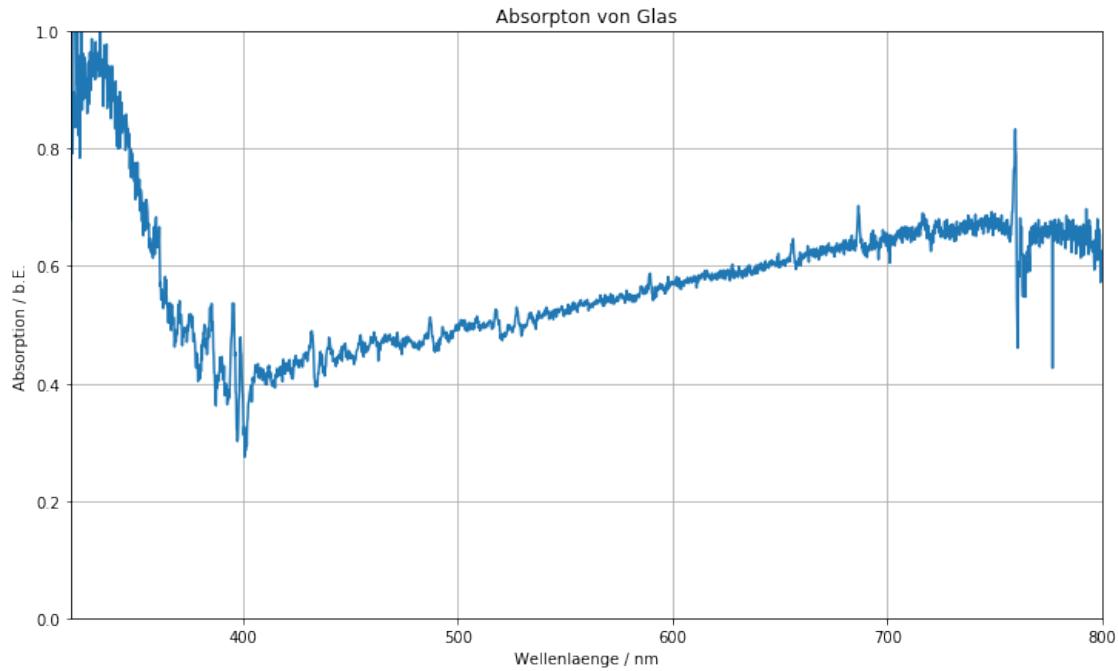
```
plt.savefig("VersuchLichtquellen/Himmel_m_o_G.png", format="png")
```



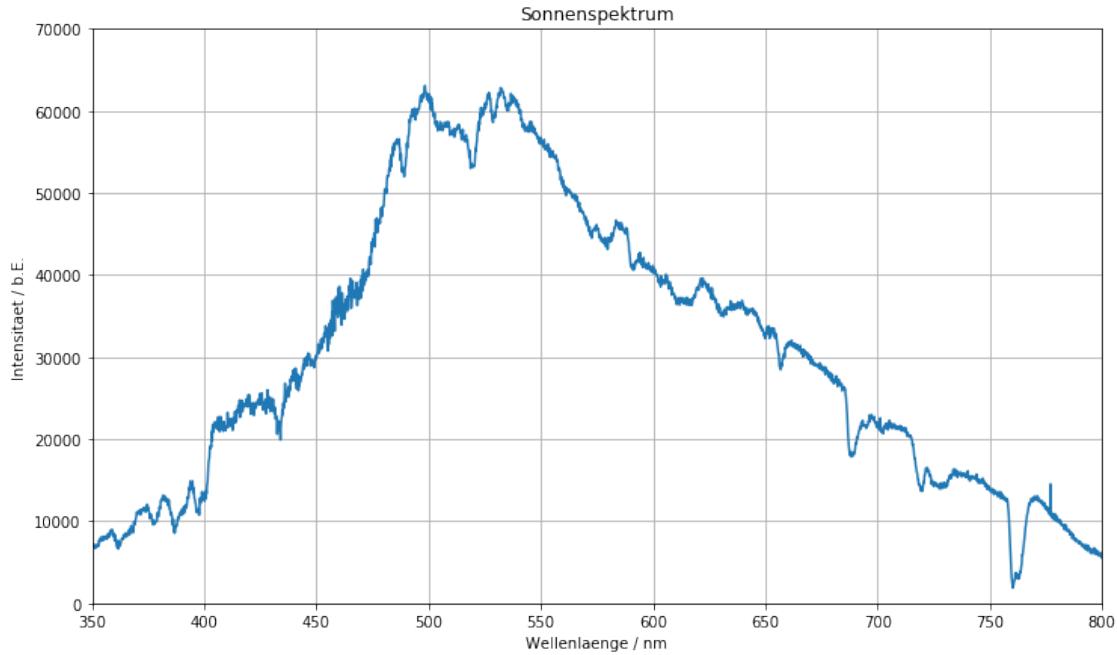
[6]: *#Berechnung der Absorption von Glas und grafische Darstellung für unterschiedliche Wellenlängen*

```
A=1-inten_mg/inten_og
```

```
plt.figure(figsize=(12,7))
plt.plot(lamb_mg, A)
plt.title('Absorptio von Glas')
plt.xlabel('Wellenlänge / nm')
plt.ylabel('Absorption / b.E.')
plt.grid()
plt.ylim((0,1))
plt.xlim((320,800))
plt.savefig("VersuchLichtquellen/Absorption_Glas.png", format="png")
```



```
[7]: #Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum
plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og)
plt.title("Sonnenspektrum")
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.grid()
plt.ylim((0,70000))
plt.xlim((350,800))
plt.plot()
plt.savefig("VersuchLichtquellen/Fraunhofer.png", format="png")
```



```
[8]: #Identifikation der Fraunhofer und Balmerlinien
def linien(serien_name, serie, col, style):
    plt.axvline(serie[0], label = serien_name, color = col, linestyle = style, ↴
    linewidth = 2)
    for i in serie[1:]:
        plt.axvline(i, color = col, linestyle = style, linewidth = 2)

fraunhofer_Namen = np.array(['K', 'H', 'G', 'F', 'b_1', 'E_2', 'D_1', 'D_2', 'D_3', ↴
    'C', 'B', 'A'])

#Schätzung der Fraunhoferlinien durch Einzoomen
fraunhofer_Wellenlängen = np.array([396, 400, 433, 489, 519, 529, 589, 590, 591, ↴
    656.5, 688, 760])
sig_lambda = 1
fraunhofer_Literaturwerte = np.sort(np.array([759.4, 686.7, 656.3, 589. ↴
    6, 589, 587.6, 527.0, 518.4, 486.1, 430.8, 396.8, 393.4]))
sig_lambda_lit = 0.1
balmer_Namen = np.array(['H_a', 'H_b', 'H_c', 'H_d'])
balmer_Wellenlängen = np.array([656, 489, 433, 411])
balmer_Literaturwerte = np.array([656.3, 486.1, 434, 410.1])

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og, label = 'Sonnenspektrum mit Balmer-Spektrallinien')
linien('Balmer-Linien', balmer_Wellenlängen, 'red', ':')
for i in range(len(balmer_Wellenlängen)):
```

```

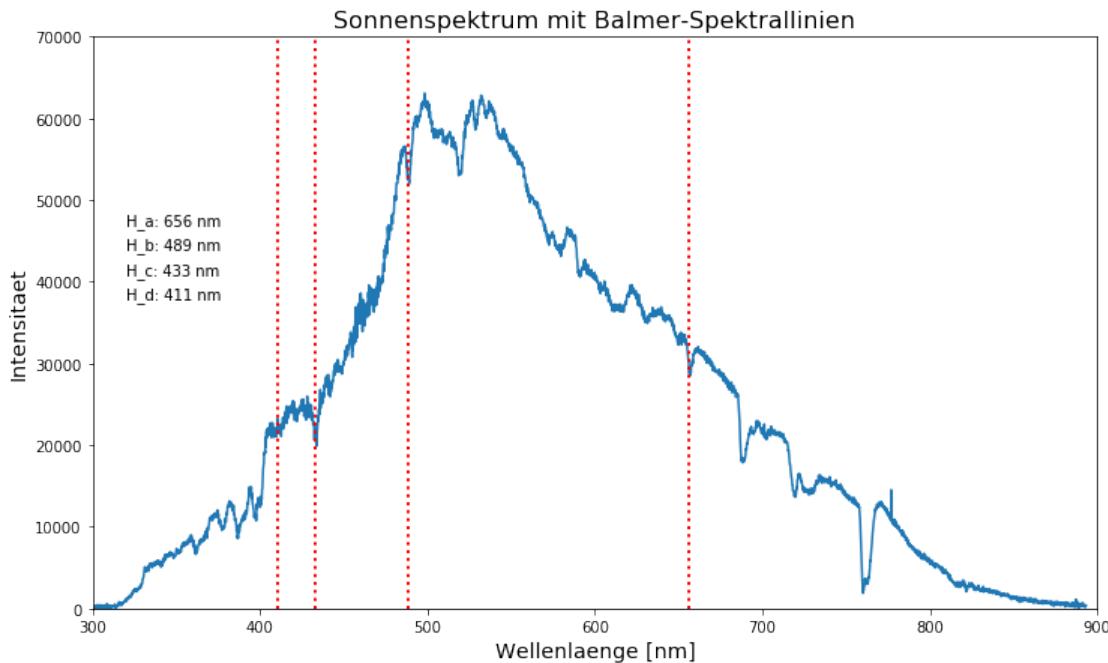
plt.text(320, 50000 - 3000 * (i + 1), balmer_Namen[i]+ ': ' +_
         str(balmer_Wellenlängen[i]) + ' nm')
plt.title('Sonnenpektrum mit Balmer-Spektrallinien', size = 16)
plt.xlabel('Wellenlaenge [nm]', size = 14)
plt.ylabel('Intensitaet', size = 14)
plt.ylim((2,70000))
plt.xlim((300, 900))
plt.savefig('VersuchLichtquellen/HimmelBalmer.png')
#print(fraunhofer_Literaturwerte-fraunhofer_Wellenlängen)
#print((fraunhofer_Literaturwerte-fraunhofer_Wellenlängen)/np.sqrt(1+0.5**2))
print(balmer_Literaturwerte-balmer_Wellenlängen)
print((balmer_Literaturwerte-balmer_Wellenlängen)/np.sqrt(1+0.5**2))
print(balmer_Literaturwerte[0],balmer_Wellenlängen[0])

```

```

[ 0.3 -2.9  1.  -0.9]
[ 0.26832816 -2.59383885  0.89442719 -0.80498447]
656.3 656

```



```

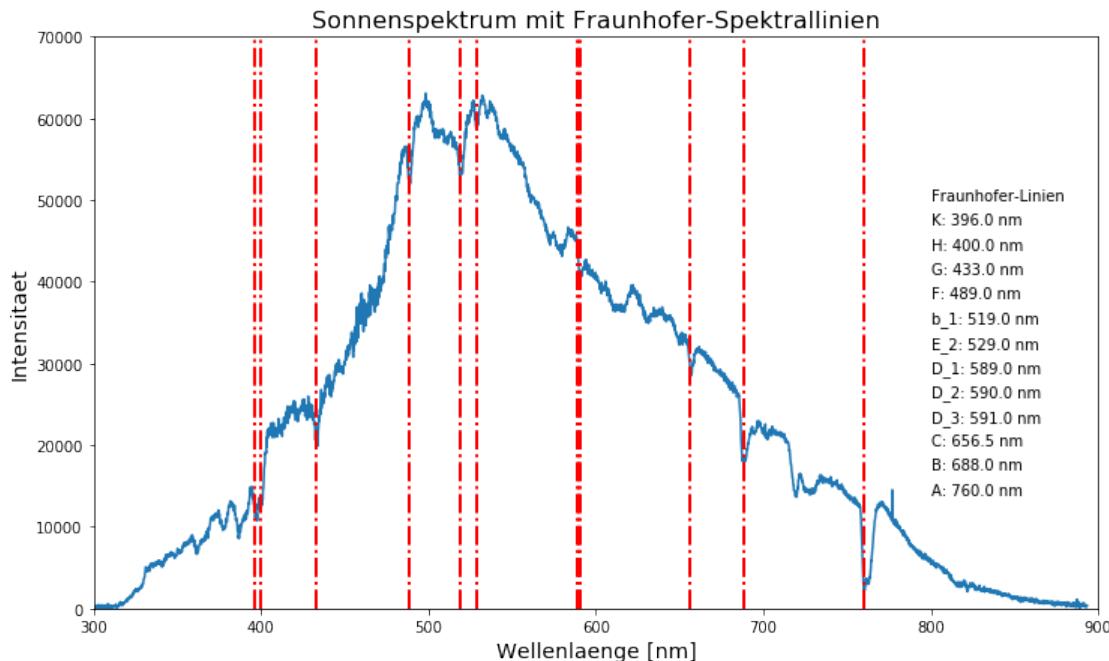
[9]: plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og, label = 'Sonnenpektrum')
linien('Fraunhofer-Linien', fraunhofer_Wellenlängen, 'red', '-.')
plt.text(800, 50000, 'Fraunhofer-Linien')
for i in range(len(fraunhofer_Wellenlängen)):
    plt.text(800, 50000 - 3000 * (i + 1), fraunhofer_Namen[i]+ ': ' +_
             str(fraunhofer_Wellenlängen[i]) + ' nm')

```

```

plt.title('Sonnenspektrum mit Fraunhofer-Spektrallinien', size = 16)
plt.xlabel('Wellenlaenge [nm]', size = 14)
plt.ylabel('Intensitaet', size = 14)
plt.ylim((2,70000))
plt.xlim((300, 900))
plt.savefig('VersuchLichtquellen/HimmelFraunhofer.png')

```



```

[10]: #Auswertung Natriumspektrum
#Schwache Linien im Bereich 300-550, markiere intensive gut erkennbare Linien und schätze Fehler durch Halbwertsbreite ab
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('NaSpekSch.txt', skiprows=17, converters= {0: comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments='>', unpack=True)

plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og)

schwache = np.array([335, 363, 420, 423.5, 430.4, 437, 454, 470, 478, 501, 518])
linien('Schwache', schwache, 'red', ':')
for i in range(len(schwache)):
    plt.text(schwache[i] - 4, 2e2, str(schwache[i]) + ' nm', rotation='vertical')

plt.title('Natriumspektrum im Bereich 300-550')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')

```

```

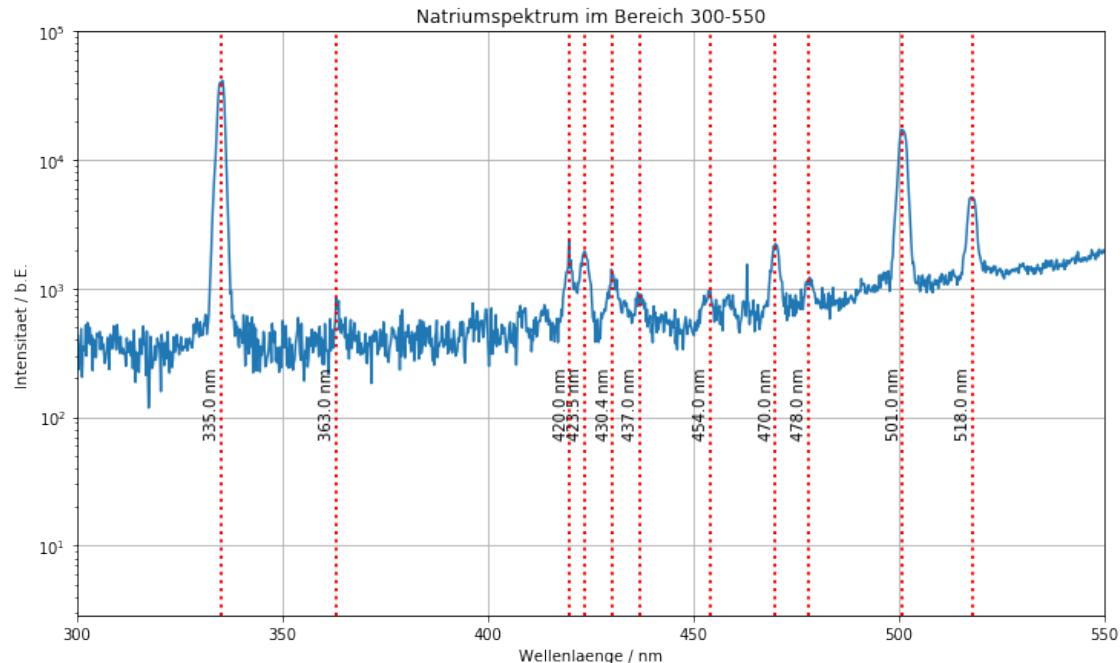
plt.grid()
plt.yscale('log')
plt.ylim((0,100000))
plt.xlim((300,550))
plt.savefig('VersuchLichtquellen/300-550schwach.png')

```

```

/usr/lib/python3/dist-packages/matplotlib/pyplot.py:1479: UserWarning: Attempted
to set non-positive bottom ylim on a log-scaled axis.
  Invalid limit will be ignored.
  ret = ax.set_ylimits(*args, **kwargs)

```



```

[11]: #Linien im Bereich 600-850
plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og)

schwache = np.array([697.2, 707.2, 715, 727.3, 738.5, 751.3, 763.3, 772, 794, 800.3, 811, 825.5, 841])
linien('Schwache', schwache, 'red', ':')
for i in range(len(schwache)):
    plt.text(schwache[i] - 4, 2e2, str(schwache[i]) + ' nm', rotation='vertical')

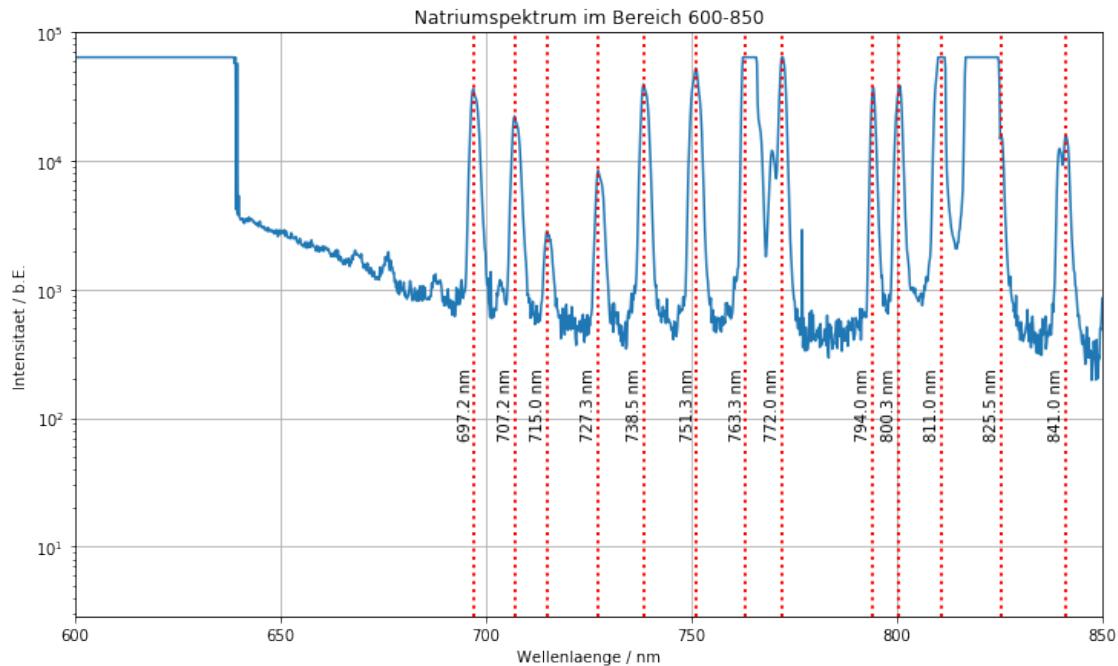
plt.title('Natriumspektrum im Bereich 600-850')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')

```

```

plt.grid()
plt.yscale('log')
plt.ylim((0,100000))
plt.xlim((600,850))
plt.savefig('VersuchLichtquellen/600-850schwach.png')

```



```

[12]: #Starke Linie
lamb_og, inten_og=np.loadtxt('SpekStark2.txt', skiprows=17, converters= {0:
    ↪comma_to_float, 1:comma_to_float}, comments='>', unpack=True)

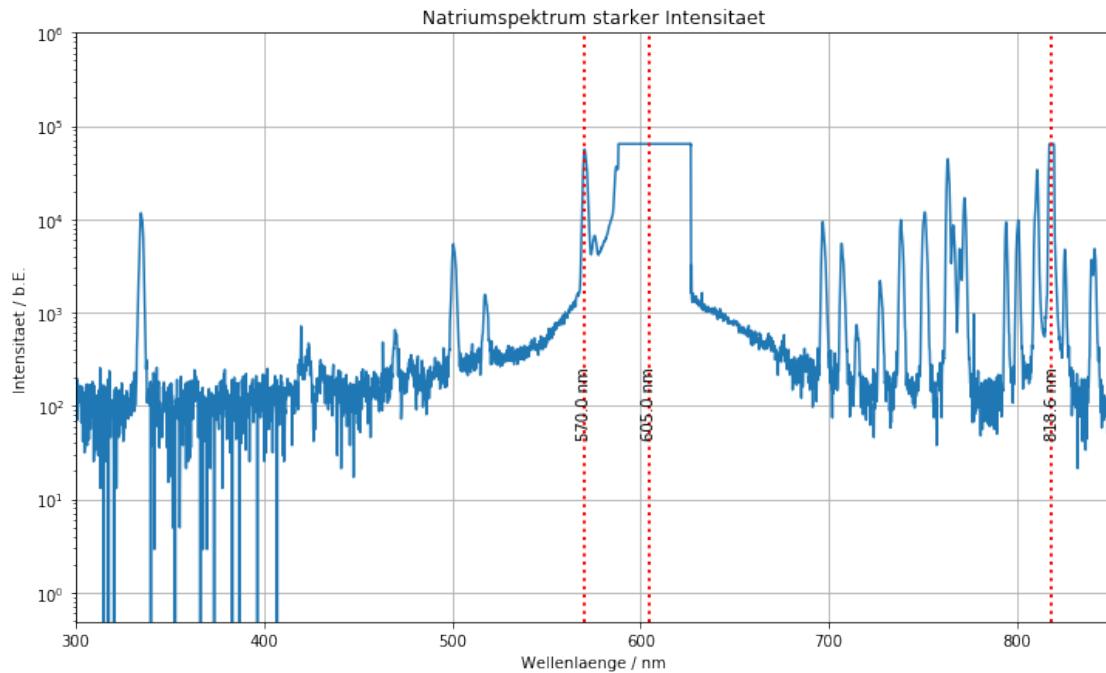
plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.plot(lamb_og, inten_og)

starke = np.array([570,605,818.6])
linien('starke', starke, 'red', ':')
for i in range(len(starke)):
    plt.text(starke[i] - 4, 2e2, str(starke[i]) + ' nm', rotation ='vertical')

plt.title('Natriumspektrum starker Intensitaet')
plt.xlabel('Wellenlaenge / nm')
plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
plt.grid()
plt.yscale('log')
plt.ylim((0,1000000))
plt.xlim((300,850))

```

```
plt.savefig('VersuchLichtquellen/300-850stark.png')
```



[13]: #Zuordnung der Linien zu Serien

#Erste Nebenserie

```
E_Ry = - 13.605 #eV
hc = 1.2398e3 # nm eV
m = 3
lamb = 818.6 # nm
sig_lamb = 1
```

```
E_3p = (E_Ry / m ** 2) - hc / lamb
sig_E_3p = hc * (sig_lamb / lamb ** 2)
print(E_3p,sig_E_3p)
```

-3.026203681081521 0.0018501551605361035

[14]: #Berechne Wellenlänge für die Serie bis $m=12$

#Verwende für E_{3p} nicht eigenen Wert sondern Wert für 819

```
E_3p = (E_Ry / m ** 2) - hc / 819
```

```
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))
```

m= 3, lambda=819.00
m= 4, lambda=569.98

```
m= 5, lambda=499.66
m= 6, lambda=468.28
m= 7, lambda=451.20
m= 8, lambda=440.76
m= 9, lambda=433.88
m=10, lambda=429.08
m=11, lambda=425.61
m=12, lambda=423.00
```

```
[15]: #Zweite Nebenserie
l_g = 589 #nm
sig_l_g = 1
E_3s = E_3p - (hc / l_g)
sig_E_3s = np.sqrt(sig_E_3p ** 2 + (hc * sig_l_g / (l_g ** 2)) ** 2)
print(E_3s,sig_E_3s)
```

-5.130387579784863 0.0040242489147808425

```
[16]: #Korrekturterm
Ds = 3 - np.sqrt(E_Ry / E_3s)
sig_Ds = 0.5 * sig_E_3s * np.sqrt(E_Ry / (E_3s ** 3))
print(Ds,sig_Ds)
```

1.3715509119579206 0.0006386734309461271

```
[17]: for m in range(4,10):
    l=1.2398E3/(-13.605/(m-Ds)**2-E_3p)
    sig_l = np.sqrt((2 * E_Ry * hc / ((m - Ds) ** 3* (E_Ry / (m - Ds) ** 2 - E_3p) ** 2) *sig_Ds) ** 2+ (hc / (E_Ry / (m - Ds) ** 2 - E_3p) ** 2 *sig_E_3p)** 2)
    print('m={m:2d}, lambda={l:6.2f}'.format(m=m,l=l))
```

```
m= 4, lambda=1173.81
m= 5, lambda=622.36
m= 6, lambda=518.66
m= 7, lambda=477.58
m= 8, lambda=456.51
m= 9, lambda=444.11
```

```
[18]: #Hauptserie
#Korrekturterm
Dp = 3 - np.sqrt(E_Ry / E_3p)
sig_Dp = 0.5 * sig_E_3p * np.sqrt(E_Ry / (E_3p ** 3))
print(Dp,sig_Dp)
```

0.8794267453437401 0.000648394688505833

```
[19]: for m in [4,5]:
    l=1.2398E3/(-13.605/(m-Dp)**2-E_3s)
    sig_l = np.sqrt((2 * E_Ry * hc / ((m - Dp) ** 3* (E_Ry / (m - Dp) ** 2 - E_3s) ** 2) *sig_Dp) ** 2+ (hc / (E_Ry / (m - Dp) ** 2 - E_3s) ** 2 *sig_E_3s)** 2 )
    print('m={m:2d}, lambda={l:6.2f}'.format(m=m,l=l))
```

m= 4, lambda=332.09
m= 5, lambda=286.39

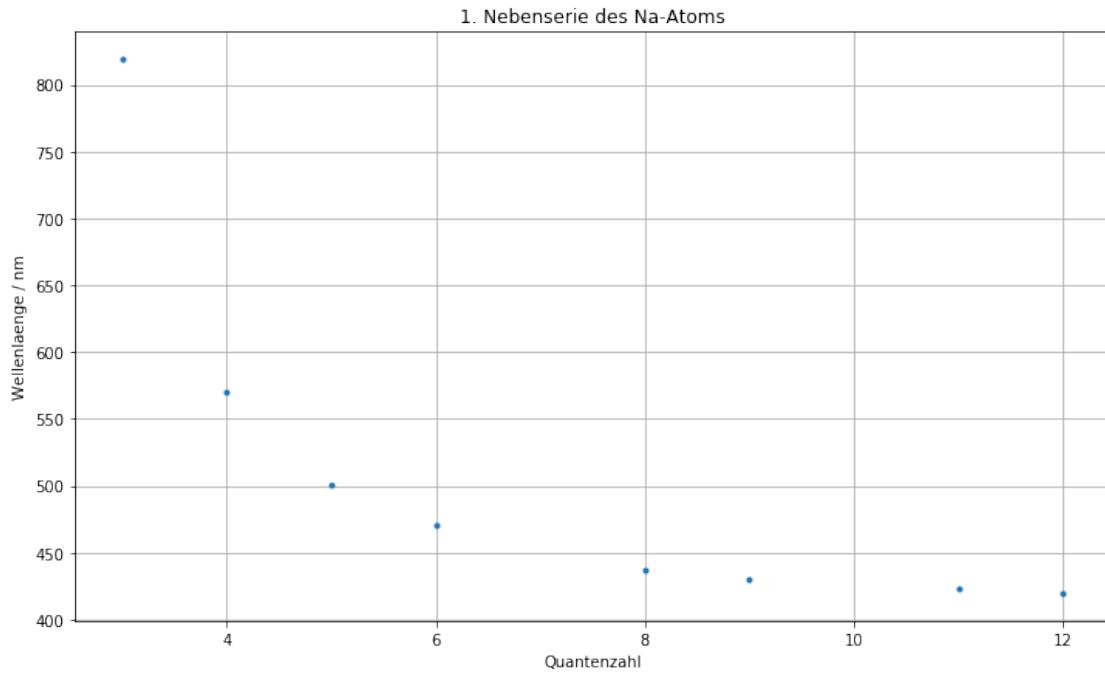
```
[20]: #Bestimmung Serienenergien und Korrekturfaktoren
wellenl=np.array([818.6,570.0,501,470,437,430.4,423.5,420.0])
fehler=np.ones(8)
quantenz=np.array([3,4,5,6,8,9,11,12])

plt.figure(figsize=(12,7))
plt.errorbar(quantenz,wellenl,fehler, fmt=". ")
plt.xlabel('Quantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlaenge / nm')
plt.grid()
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]))

print(popt[0]+13.605,(popt[0]+13.605)/np.sqrt(pcov[0][0]))
print(popt[1]+3.0262,(popt[1]+3.0262)/np.sqrt(pcov[1][1]+0.
    ↪0018501551605361035**2))
print(popt[2],(popt[2])/np.sqrt(pcov[2][2]))
```

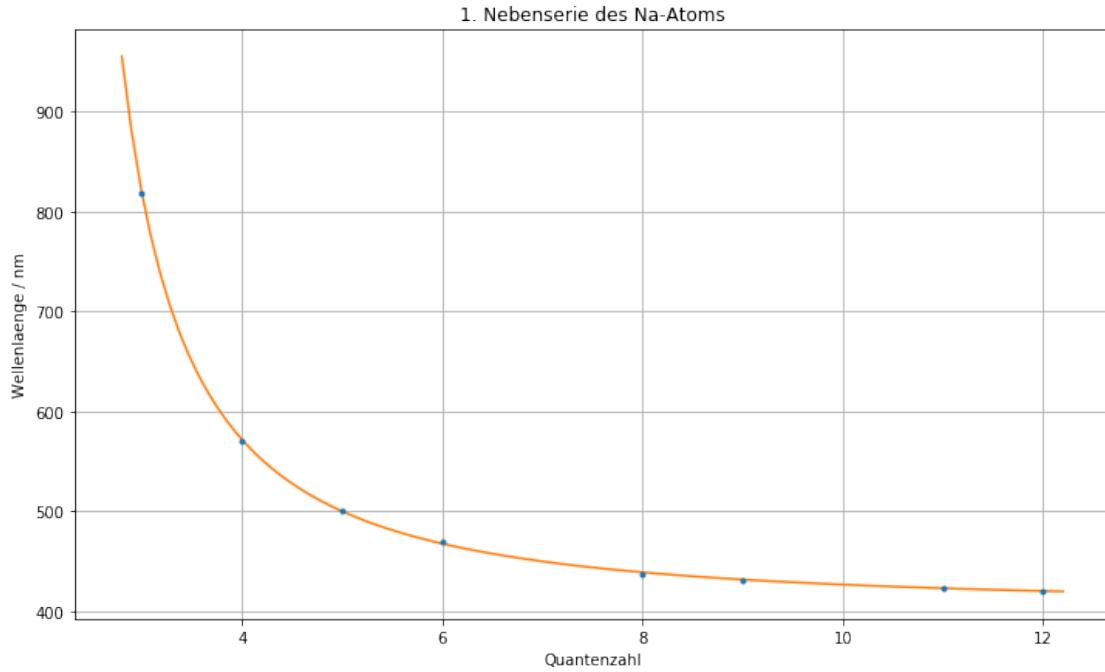
E_Ry= -15.157409918172227 , Standardfehler= 0.6609685165826792
E_3p= -3.054517284561284 , Standardfehler= 0.009598221662347651
D_d= -0.13760056575850127 , Standardfehler= 0.060613891410167424
-1.552409918172227 -2.34868965650354
-0.02831728456128424 -2.8969345529428936
-0.13760056575850127 -2.2701160172570614



```
[21]: #Chi-Analyse für Güte des Fits
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)
from scipy.stats import chi2
prob=round(1-chi2.cdf(chi2_,dof),2)*100
print("Wahrscheinlichkeit:", prob,"%")
```

```
chi2= 15.065185016409377
chi2_red= 3.0130370032818754
Wahrscheinlichkeit: 1.0 %
```

```
[22]: plt.figure(figsize=(12,7))
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))
plt.grid()
plt.savefig("VersuchLichtquellen/1_Nebenserie.png", format="png")
```



```
[23]: #Wiederhole für 2te Nebenserie
#Bestimmung Serienenergien und Korrekturfaktoren
wellenl=np.array([1173.81,518,478,454])
fehler=np.array([1,1,1,1])
quantenz=np.array([4,6,7,8])

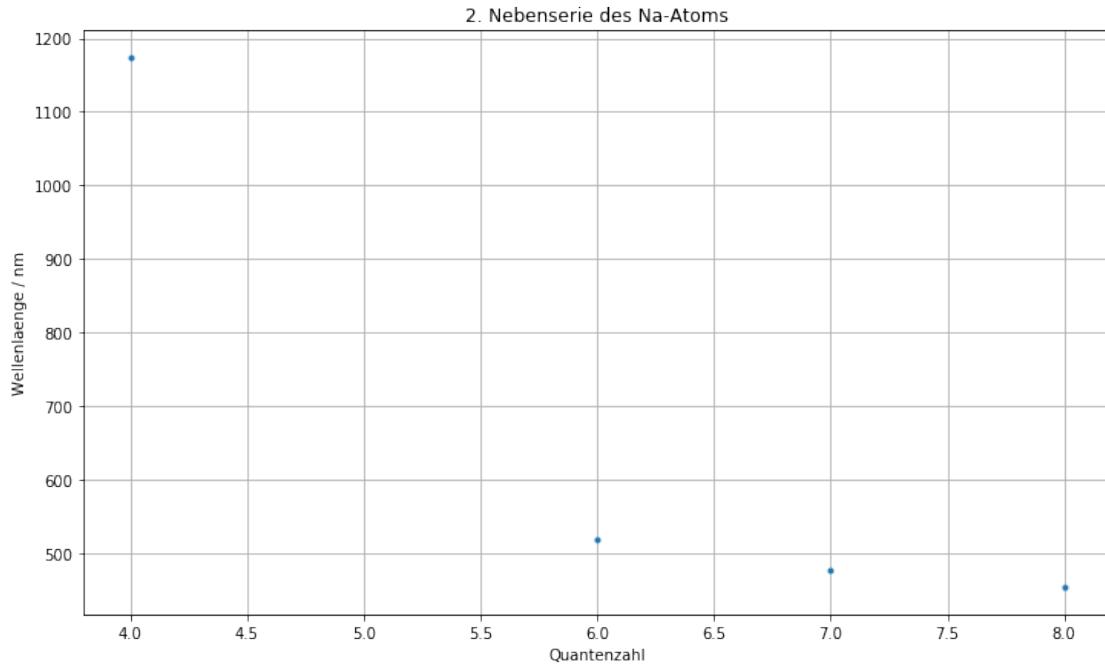
plt.figure(figsize=(12,7))
plt.errorbar(quantenz,wellenl,fehler, fmt=".")
plt.xlabel('Quantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlaenge / nm')
plt.grid()
plt.title('2. Nebenserie des Na-Atoms')

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_s=",popt[2], ", Standardfehler=", np.sqrt(pcov[2][2]))
print(Ds-popt[2],(Ds-popt[2]/np.sqrt(pcov[2][2]+sig_Ds**2)))
print(13.605+popt[0],(13.605+popt[0])/np.sqrt(pcov[0][0]))
print(3.0262+popt[1],(3.0262+popt[1])/np.sqrt(pcov[1][1]+0.
    ↪0018501551605361035**2))
```

```

E_Ry= -14.592339000674862 , Standardfehler= 1.6043856795170603
E_3p= -3.0499482261659607 , Standardfehler= 0.031197080745217185
D_s= 1.294611068145443 , Standardfehler= 0.12809274977554255
0.07693984381247754 -8.73514894749048
-0.9873390006748615 -0.6154000333461357
-0.02374822616596095 -0.7598971649078466

```



```

[24]: #Chi-Analyse für Güte des Fits
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)
from scipy.stats import chi2
prob=round(1-chi2.cdf(chi2_,dof),2)*100
print("Wahrscheinlichkeit:", prob, "%")

```

```

chi2= 3.2554768208081537
chi2_red= 3.2554768208081537
Wahrscheinlichkeit: 7.000000000000001 %

```

```

[25]: plt.figure(figsize=(12,7))
plt.errorbar(quantenz,wellenl,fehler, fmt=".")
plt.xlabel('Quantenzahl')
plt.ylabel('Wellenlaenge / nm')
plt.title('2. Nebenserie des Na-Atoms')

```

```

x=np.linspace(2.8,12.2, 100)
plt.plot(x, fit_func(x,*popt))
plt.grid()
plt.ylim(0,1300)
plt.xlim(3.8,12)
plt.savefig("VersuchLichtquellen/2_Nebenserie.png", format="png")

```

