

SS2021

—— PPBphys1 ——

Protokoll SP

—— Charlotte Geiger - Manuel Lippert - Leonard Schatt ——

Gruppe 4



Informationen

Versuchstag	24. März 2021
Versuchsplatz	NWII 2.1.02.671
Betreuer	Uwe Gerken
Gruppen Nr.	4
Auswertperson	Leonard Schatt
Messperson	Charlotte Geiger
Protokollperson	Manuel Lippert

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Fragen zur Vorbereitung	6
2.1	Das elektromagnetische Spektrum	6
2.2	Vom kontinuierlichen zum diskreten Spektrum	7
2.3	Hauptemissionslinien des Quecksilbers	8
2.4	Vorbereitung für den Versuchsaufbau	8
2.5	Spektrales Auflösungsvermögen des Monochromators	9
2.6	Faltung zweier Rechtecksfunktionen	10
3	Messprotokoll	12
4	Auswertung und Diskussion	20
4.1	Diskussion der Übersichtsmessungen	20
4.2	Literaturvergleich der gemessenen Werte	20
4.3	Auflösungsvermögen der Spektrometers	22
4.4	Linienbreite als Funktion der Ein-/Ausgangsspaltbreite	23
4.5	Faltung bei ungleicher Spaltbreite	25
5	Fazit	28
	Literaturverzeichnis	29

1 Einleitung

Oft fragt man sich, woher wissen bestimmte Wissenschaftler Tatsachen, beispielsweise wie warm oder kalt es auf anderen Planeten ist und aus was ihre Atmosphäre ist. Dadurch können sie Aussagen über die Bewohnbarkeit und das Vorkommen von Wasser auf dem Planeten machen. Dies verwundert so manchen vielleicht, da Wissenschaftler ja nicht auf jeden Planeten einen kleinen Roboter geschickt haben können - vor allem wenn sie außerhalb unseres Sonnensystems liegen.

Die einfache Antwort auf diese Frage ist Spektroskopie. Man muss nicht an einem Ort gewesen sein, um Aussagen über ihn treffen zu können. Oft genügt die emittierte Strahlung, um einen weitreichenden Einblick in die dortigen Gegebenheiten zu bekommen. Wenn man beispielsweise charakteristische Spektren aus der empfangenen Strahlung herausfiltern kann, ist es möglich detaillierte Aussagen über die Zusammensetzung der Materie zu machen.

In diesem Versuch werden wir einen etwas einfacheren Sachverhalt behandeln, um ein erstes Gefühl für die Spektroskopie zu bekommen. Wir werden das Spektrum einer Quecksilber-Dampflampe analysieren. Dabei wird uns wieder klar, wie vorsichtig man bei Phänomenen mit EM-Wellen sein muss, da sonst ungewollte Beugungseffekte auftreten, an die man nicht gedacht hat. Dabei werden wir mit Hilfe eines Blazegitters das Spektrum unserer Lampe zerlegen.

2 Fragen zur Vorbereitung

2.1 Das elektromagnetische Spektrum

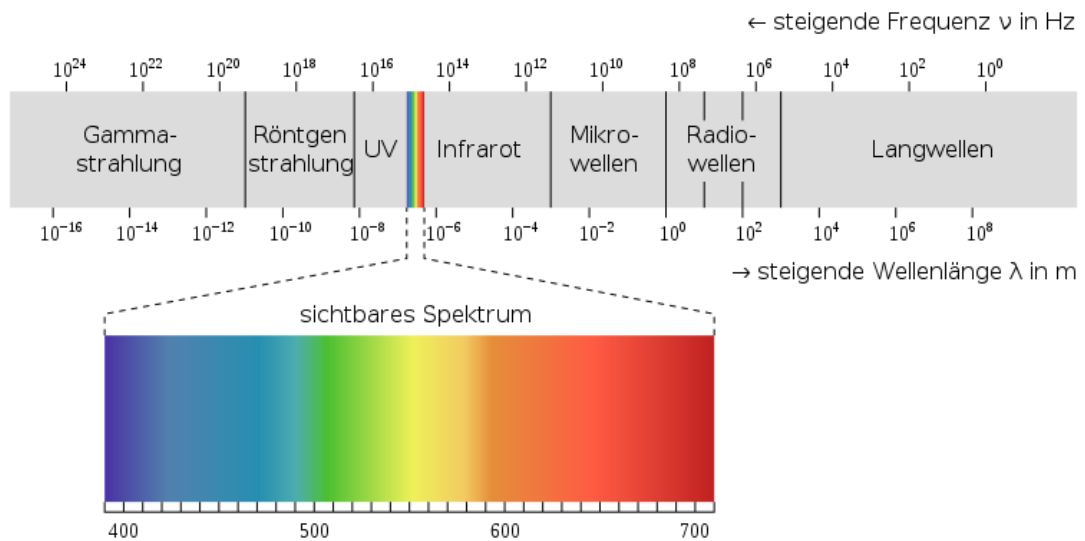


Abbildung 2.1: Das elektromagnetische Spektrum¹

- Gammastrahlung: Gammastrahlung entsteht bei Radioaktiven zerfällen, wie beispielsweise Selen mit der Nuklidzahl 70. Detektieren kann man die Strahlung mit einer Nebelkammer oder einem Geiger-Müller-Zählrohr.
- Röntgenstrahlung: Diese Strahlung wird in der Medizin und in der Industrie viel eingesetzt zur Untersuchung von Materialien. Die Röntgenstrahlung wird dabei in einer Röntgenröhre durch das abbremesen von schnellen Elektronen erzeugt. Man kann die Strahlung durch Fotoplatten nachweisen.
- UV: UV-Strahlung entsteht in der Sonne. Sie ist noch hochenergetisch genug um erbgutschädigend zu wirken. Man kann sie mit Fotoplatten oder über den Fotoeffekt nachweisen.
- Sichtbares Licht: Dieses wird von der Sonne emittiert. Nachweisen kann man es mit der Sonne oder einem Fotowiderstand und einem entsprechendem Messgerät.

¹<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:EM-Spektrum.svg>

2.2 Vom kontinuierlichen zum diskreten Spektrum

- Infrarot: Infrarotstrahlung entsteht auch in der Sonne. Man kann sie durch thermische Detektoren wie Bolometer nachweisen.
- Mikrowellen: Die wohl bekannteste technische Anwendung ist der "Mikrowellenherd". Dort werden die Wellen durch einen Magnetron erzeugt. Nachweisen kann man sie mit einer passenden Antennen und einem Messgerät. Die Länge der Antenne muss zur Welle passen.
- Radiowellen: Diese können natürlich entstehen. Dort werden sie durch die Temperatur der Atmosphäre selbst erzeugt. Detektieren kann man die Wellen mit einer passenden Dipolantenne.
- Langwellen: Langwellen können von Langwellensendern gesendet werden. Empfangen kann man sie mit einer passenden Dipolantenne.

2.2 Vom kontinuierlichen zum diskreten Spektrum

Wenn man die Wärmestrahlung betrachtet, sieht man kontinuierliche Spektren. Dies ändert sich, wenn man nur einzelne Atome, beziehungsweise Gase von Atomen betrachtet. Bei diesen kann man im Spektrum klar voneinander getrennte Linien erkennen. Diese Linien nennt man Spektrallinien.

Sie kommen zustande, weil in Atomen die Absorption und Emission von elektromagnetischen Wellen nicht kontinuierlich erfolgt. Die Energieniveaus der Atome sind diskret und somit können auch nur Wellen bestimmter Energien absorbiert und emittiert werden. Dass die Spektrallinien nicht monochromatisch sind lässt sich mit unterschiedlichen Argumenten erklären. Mit Hilfe der Quantenmechanik lassen sich folgende Aussagen treffen. Die Energie-Zeit-Unschärfe folgt aus der Unschärferelation der Quantenmechanik. Da die Operatoren für Energie und Zeit nicht kommutieren, muss das Folgende gelten.

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{1}{2} [\hat{H}, \hat{T}] = \frac{\hbar}{2} \quad (2.1)$$

Nehmen wir nun Gleichheit der linken und rechten Seite an und nennen

$$\Delta E = \frac{\Gamma}{2}$$

die Halbwertsbreite. Dann folgt:

$$\Delta E = \frac{\Gamma}{2} = \frac{\hbar}{2\mathcal{T}} \quad (2.2)$$

wobei die Lebensdauer des Teilchens

$$\mathcal{T} = \Delta t$$

hier folgendermaßen angenommen wird.

Man sieht sehr schön dass eine unendlich scharfe Spektrallinie zu Widersprüchen führen würde, wie beispielsweise:

$$\lim_{\Delta E \rightarrow 0} \implies \mathcal{T} \rightarrow \infty \quad (2.3)$$

2 Fragen zur Vorbereitung

Bei unendlich scharfen Spektrallinien müsste diese unendlich lange stabil bleiben. Es sollte also keine Emission geben.

Diese Behauptung widerspricht jedoch dem Experiment und ist somit falsch.

2.3 Hauptemissionslinien des Quecksilbers

Wie bei jeder Gasentladungslampe beruht der Leuchtprozess der Quecksilberdampf Lampe auf der Ionisation der Quecksilberatome. Den Quecksilber ist noch ein Edelgas beigemischt, welches die Zündung der Lampe erleichtert. Das Leuchten entsteht dabei nicht wie bei herkömmlichen Lampen durch einen glühenden Draht, sondern durch die Anregung der Quecksilberatome. Dies geschieht durch Stöße der Atome mit Elektronen, welche durch das Gas geleitet werden. Die angeregten Atome emittieren bei ihrem zurückkehren in den Grundzustand elektromagnetische Wellen. Diese sind bei Quecksilberlampen im UV-Bereich, welcher ungesund für Menschen ist.

Hier eine Liste der sieben hellsten Spektrallinien in Bereich 300 bis 900 nm.

- 404,65 nm (violett)
- 407,78 nm (violett)
- 435,83 nm (blau)
- 546,07 nm (grün)
- 576,95 nm (gelb-orange)
- 579,06 nm (gelb-orange)
- 614,95 nm (rot)

Außerdem existiert noch eine schwache Linie bei 491,60 nm.

2.4 Vorbereitung für den Versuchsaufbau

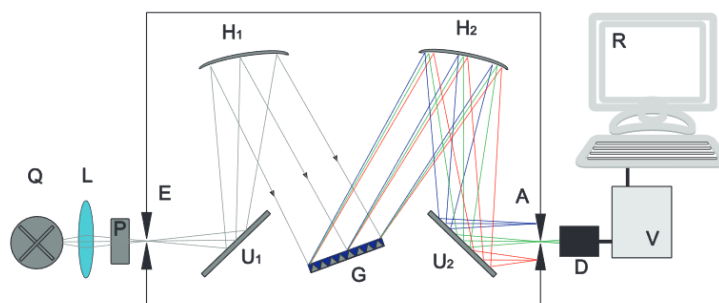


Abbildung 2.2: Versuchsaufbau

2.5 Spektrales Auflösungsvermögen des Monochromators

Die Sammellinse und der Eintrittsspalt müssen nach der Abbildungsgleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (2.4)$$

In der Abbildungsgleichung bezeichnet b den Abstand vom Bild zur Linse und g den Abstand vom Gegenstand zur Linse. f ist die Brennweite. Setze jetzt $b = g$, also der Abstand zwischen Lampe, Bild und Spalt sollte gleich sein. So schafft man eine 1:1 Abbildung.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1}{b} + \frac{1}{b}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{g} + \frac{1}{g}\right)^{-1} \Rightarrow g = b = 2f \quad (2.5)$$

ist dies der Fall. Die Sammellinse sollte also um b vom Eintrittsspalt entfernt sein.

Der Hohlspiegel fungiert in diesem Aufbau wie eine Linse. Damit die Strahlen, welche über einen Spiegel umgeleitet werden, nach dem Spiegel parallel liegen, muss der Eintrittsspalt genau in der Brennebene liegen. Der Abstand zwischen Eintrittsspalt und Hohlspiegel muss also f_{Spiegel} sein.

Beim zweiten Spiegel ist die Argumentation die Selbe, nur in die andere Richtung. Deswegen ist der Abstand zwischen Hohlspiegel und Austrittsspalt f_{Spiegel} .

2.5 Spektrales Auflösungsvermögen des Monochromators

Das spektrale Auflösungsvermögen des Monochromator lässt sich in zwei Teile aufteilen. Der eine Teil $\Delta\lambda_s$, welcher von den Spalten herrührt und den Teil $\Delta\lambda_G$, welcher vom Gitter erzeugt wird.

$\Delta\lambda_s$ wiederum lässt sich in die Teile $\Delta\lambda_{s_{\text{ein}}}$ und $\Delta\lambda_{s_{\text{aus}}}$ unterteilen, welche jeweils zu Eingangs- bzw. Ausgangsspalt gehören.

$$\Delta\lambda_s = \sqrt{(\Delta\lambda_{s_{\text{ein}}})^2 + (\Delta\lambda_{s_{\text{aus}}})^2} = \frac{b}{f} \sqrt{(s_{\text{Ein}})^2 + (s_{\text{Aus}})^2} \quad (2.6)$$

Hier ist b die Gitterkonstante, f die Brennweite des Hohlspiegel und $s_{\text{Ein/Aus}}$ die Spaltbreite des Ein-/Ausgangsspalt.

Dieser Linienbreite $\Delta\lambda$ ist in unserem Fall:

$$\Delta\lambda_s = \frac{\frac{1}{\frac{1200 \cdot \frac{1}{\text{mm}}}}}{250\text{mm}} \sqrt{2} * 20\mu\text{m} = 94.28\text{pm} \quad (2.7)$$

$\Delta\lambda_G$ ist in diesem Fall:

$$\Delta\lambda_G = \frac{\lambda}{kN} = \frac{546\text{nm}}{1 \cdot 58\text{mm} \cdot 1200 \cdot \frac{1}{\text{mm}}} = 7.84\text{pm} \quad (2.8)$$

Die beiden Werte liegen Größenordnungen auseinander.

$$\Rightarrow \Delta\lambda_M = \sqrt{(\Delta\lambda_s)^2 + (\Delta\lambda_G)^2} = 94,60\text{pm} \approx \Delta\lambda_s \quad (2.9)$$

Das heißt, dass der Anteil, der vom Gitter kommt, vernachlässigbar ist.

2.6 Faltung zweier Rechtecksfunktionen

Um eine Faltung zu berechnen gibt es mehrere Möglichkeiten. Eine Lösung ist es den Faltungssatz zu verwenden. Dieser besagt, dass bei Funktionen f und g im Ortsraum mit den zugehörigen Funktionen \tilde{f} und \tilde{g} im Fourierraum gilt:

$$f * g = \mathcal{F}^{-1}(\tilde{f} \cdot \tilde{g}) = g * f \quad (2.10)$$

Dieses Vorgehen ist aber manchmal etwas umständlich. In einfacheren Fällen wie diesem hier ist eine graphische Lösung einfacher. Bei dieser zeichnet man die Graphen beider Funktionen. Dann spiegelt man den zu verknüpfenden Graphen an der y-Achse und schiebt diesen dann über den ersten Graphen. Die Fläche die sie sich überschneiden ist dann die Funktion $f * g$.

In diesem Fall nehmen wir zwei Rechtecksfunktionen mit Höhe eins und Breite a bei Rechteck 1 und b bei Rechteck 2. Die beiden Rechtecke sind Achsensymmetrisch bezüglich der y-Achse. Jetzt können zwei Fälle auftreten:

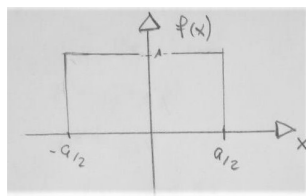


Abbildung 2.3: Skizze von f

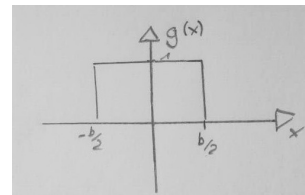


Abbildung 2.4: Skizze von g

- Fall 1: $a = b$

In diesem Fall entsteht ein perfektes Dreieck, da nur in einem Punkt die volle Fläche erreicht ist. Die maximale Überschneidung der beiden Graphen ist daher $a \cdot 1 = a$.

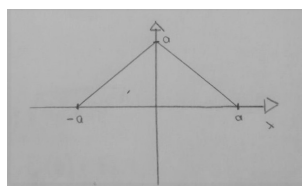


Abbildung 2.5: Skizze von $f * g$ mit $a = b$

- Fall 2: $a' > b'$ Diesmal sind die beiden Dreiecke nicht deckungsgleich. Deshalb ist die maximale Überschneidung hier nur $b' \cdot 1 = b'$. Es ist also kein Dreieck wie in Abbildung 2.5, sondern dem Dreieck wurde seine Spitze abgeschnitten.

2.6 Faltung zweier Rechtecksfunktionen

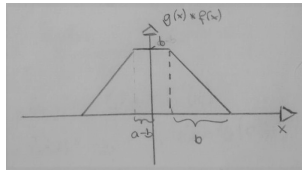


Abbildung 2.6: Skizze von $f * g$ mit $b < a$

- Fall 3: $a'' < b''$ Dieser Fall ist identisch zu Fall zwei, da man O.b.d.A. a'' und b'' vertauschen kann laut Gleichung 2.10. Das heißt, in diesem Fall erhält man wieder ein angeflachtes Dreieck.

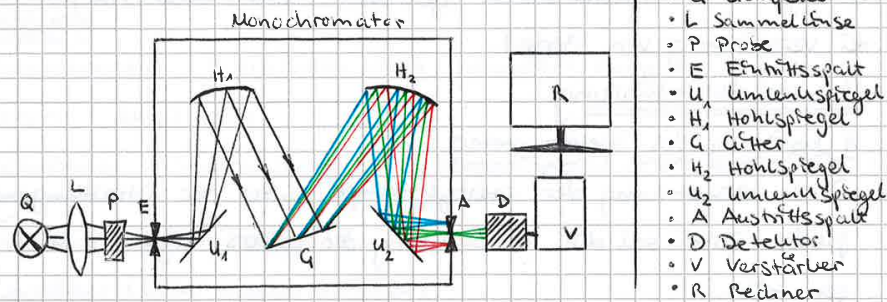
An dieser Stelle sieht man, dass es sinnvoll ist die Eingangs- und Ausgangsspaltbreite gleich zu wählen, da man dann den größten "Peak" bekommt. Wenn man sie nicht gleich groß wählt, schneidet es einem den höchsten Ausschlag ab, was schlecht für die Messung ist. Man sollte jedoch die Spalte nicht zu klein machen, da dann die Intensität nach den Spalten nachlässt.

3 Messprotokoll

Das Messprotokoll wurde am Versuchstag handschriftlich erstellt und hier als PDF-Datei eingefügt. Dabei wurden Durchführung und Aufbau schon vorher in dieses Dokument beschrieben, je nachdem. test

Versuch SP - Das Spektrometer

Versuchsaufbau und Messverfahren



Das ausgestrahlte Licht der Lichtquelle Q (verfügbar Halogenlampe, Hg-Lampe) wird von der Sammellinse L ($f_L = 80 \text{ mm}$) in den Eintrittsspalt E fokussiert (für möglichst hohe Lichtintensität). Dabei sind Eintrittsspalt E und Austrittsspalt A variabel von 0 bis 2 mm. Zwischen Linse und Eintrittsspalt befindet sich eine Halterung, in die verschiedene Filtergläser oder Proben P eingesetzt werden können. Im Monochromator wird das Bild am Eintrittsspalt vom ersten Hohlspiegel H_1 ($f_{H1} = 250 \text{ mm}$) ins Unendliche abgebildet und so eine ebene Wellenfront erzeugt, welche das Reflexionsgitter G ausleuchtet (gesteuert durch Schrittmotor \rightarrow Verdrehung Gitter). Das Licht, je nach Stellung des Gitters ein anderer Spektralbereich, wird am Hohlspiegel H_2 ($f_{H2} = 250 \text{ mm}$) in den Austrittsspalt abgebildet und gelangt so zum Detektor D, welcher ein elektrisches Signal über einen einstellbaren Verstärker V zum Rechner R schickt. U_1, U_2 nur Umkehrspiegel ohne optische Bedeutung. Reflexionsgitter (Breite 58 mm mit 1200 $\frac{\text{Linien}}{\text{mm}}$). Bei unerwünschten Sättigungen des Verstärkers werden mit einer gelben LED am Gerät ~~angezeigt~~ angezeigt.

3 Messprotokoll

Weiterhin wird ein gelber Kantenfilter (Langpassfilter) eingesetzt, um Wellenlängen kleiner als 490 nm zu blockieren. Auch wird mit einem Kompromiss zwischen Auflösungsvermögen und Spaltenbreite gearbeitet (Nichtwert: 60 μm bei Verstärkung von 3000).

Versuchsdurchführung

1 Justierung des Spektrometers

Durch Verwendung der Halogenlampe wird der Strahlengang justiert. Dabei soll die Ausleuchtung der Gitters möglichst homogen sein.

2 Messungen mit Hg-Lampe

1) Aufnahme des Spektrums der Hg-Lampe im Bereich von 300 bis 900 nm. Wiederholung der Messung mit Langpassfilter (Unterscheidung von Interferenzmaxima höherer Beugungsordnung)

2) Aufnahme Aufnahme von 5 Hg-Einzellinien bei möglichst kleiner Spaltenbreite

3) Messung der gelben Hg-Doppellinie bei unterschiedlichen Spaltbreiten im Bereich von 100 μm bis 1 mm

4) Messung der grünen Hg-Linie bei 10 unterschiedlichen Spaltbreiten zwischen 100 μm und 2 mm

Die zwei vorangegangenen Punkte dienen der Bestimmung des Auflösungsvermögens.

5) Messung der grünen Hg-Linie mit unterschiedlichen Ein- und Austrittsspalten.

Messung

Versuchsplatz : 2.1.02.671 I NW11 Universität Bayreuth Türplatz

Datum : 24.03.2021

Teilnehmer : Charlotte Geiger (MP), Leonhard Seischoltz (AP) Manuel Lippert (PP)

Messinstrumente + Messfehler:

Verstärker (keine Nummer vorhanden)

Spektrometer (HR250) Nr. 801012 → Fehler FzV

Halogenlampe (keine Informationen)

Quecksilber (Hg)-Lampe (keine Informationen)

Stahlmaßstab → Fehler bekannt

3 Messprotokoll

1. Justieren des Spektrometers

Mehrere Dinge sind auf einem Schlitzen justierbar. Darunter fallen
das die Lichtquelle G ^{und} Linse L_1 .

Abstand Eintrittsspalt E und Linse L : 15,8 cm

Eintrittsspalt E und Lichtquelle G : 31,0 cm

(gemessen ~~mit~~ Stahlmaßstab, relativ ungenau da Maßstab nur
gras anlegbar)

Diese Abstände wurden so ermittelt, dass die Lichtquelle G
(Halogenlampe) auf einen Schirm vor dem Spiegel U_1
ein möglichst homogenes rundes Licht erzeugt. Der Schirm
wird dabei von oben durch eine Vorrichtung eingeschoben.
Bei dem Gitter G soll es auch das gleiche ~~Bild~~ ~~Bild~~ Bild
zeigen und auf dem Schirm von U_2 soll ein Spektrum der
Halogenlampe zu erkennen sein.

2. Messungen mit Hg-Lampe

1) Einstellung:

Breite Eintrittsspalt E : 80 μm = Austrittsspalt A

Startwellenlänge : 3000 \AA ; Endwellenlänge : 9000 \AA

Schrittwerte : 5 \AA

Messdauer : 250 ms

Verstärkung

→ Einlegung des Gelbfilters

Einstellung gleich

Dateiname : D:/Daten/Gruppe-4/

Die Breite des Eintrittsspalts E und Austrittsspalt A
werden immer synchron verändert, weshalb es hier nur
noch von Spaltenbreite geschrieben wird.

2) Veränderung der Spaltbreite auf 80 μm

Messen dabei die einzelnen Linien aus dem Überbereichsbild des Spektrums. Gemessene Linien werden unter

D:\Daten\Gruppe_4\G4_Linie "Zahl".txt

gespeichert, wobei "Zahl" immer in dem Bereich der Linie liegt.

Die Aperatur wurde dabei immer mit der Verstärkung von 10000 betrieben, außer bei der Messung der dominanten Linie bei ≈ 5460 . Dort verwendet wird die Verstärkung von 3600. Bei jedem Bild wird von Hand die Höhe so angepasst, dass das Bild ausgefüllt wird.

Die Messperson entschließt sich aus Grundakzeptabereignungen Sicherheitshebel nach einem G-ten Messwert zu messen. ①

Außergewöhnliche Beobachtung:

Wenn der Messbereich nicht angemessen gewählt ist verschwindet die Linie komplett

① Linie nicht gut messbar.

3) ~~Ursprüngliches~~ von Beginn mit Spaltenbreite von 1mm und verkleinern diese ^{auf} 0,5 mm und danach in 0,1 mm Schritte.

Dabei suchen wird den Punkt bei dem das Auflösungsvermögen zu gering ist um die Linien zu unterscheiden.

Mit Verstärkung von 1000.

~~D:\Gruppe~~ D:\Daten\Gruppe_4\G4_gelbe-Dopp-[Linie].txt

Vergrößerung: 5450
bei 10000
Verstärkung: 3600
bei 5450
Ander: 3600
wird: 4350
10000

3 Messprotokoll

4) Startwellenlänge : 5420	D: / Crupp4
Endwellenlänge : 5485	Messungen wurden mit Langpassfilter
Verstärker : 1000	gemessen.
Spaltenbreite : 0,1 mm	
	[Spaltenbreite]
D: / Daten / Crupp4 / Cu - grüne - A4 - 0,1 mm .txt	
	<u>Veränderung</u>
Spaltenbreite : 0,4 mm →	Verstärker : 316
Spaltenbreite : 0,6 mm →	Startwellenlänge : 5420
	Endwellenlänge : 5490
Spaltenbreite : 0,8 mm →	Startwellenlänge : 5410
	Endwellenlänge : 5500
Spaltenbreite : 1,0 mm →	Verstärker : 99,856
Spaltenbreite : 1,2 mm →	Startwellenlänge : 5400
	Endwellenlänge : 5510
Spaltenbreite : 1,4 mm →	Start - " - 5390
	End - " - 5520
Spaltenbreite : 1,8 mm →	Start - " - 5380
	End - " - 5530
Spaltenbreite : 2,0 mm →	Start - " - 5370
	End - " - 5540

5)

Jahr	bE [mm]	bA [mm]
1	0,1	0,5
2	0,5	1,5
3	1,0	0,5
4	0,5	1,0
5	0,5	0,1
6		
7		
8		
9		
10		

Veränderung

→ Verstärker : 1000
 Start : 5370 End : 5540
 → Verstärker : 99,856

→ Start : 5410 End : 5500

Date:

D: / Daten / Gruppe 4 / G4-grüne-Hg-Linie

A5-~~Wert~~ E [Wert] - A [Wert].txt.

Stefan WPP Charlotte

4 Auswertung und Diskussion

4.1 Diskussion der Übersichtsmessungen

Nach dem Justieren der Apparatur mit der Halogenlampe verwenden wir die Quecksilberdampflampe, um deren Spektrum auszumessen. Dabei stellen wir fest, dass das Spektrum nicht kontinuierlich ist, wie man es vielleicht erwarten würde. Stattdessen stechen bestimmte Peaks klar heraus. Diese sind zum Teil charakteristisch für die Quecksilberdampflampe, was in Kapitel „4.2“ auf Seite S.20 genauer behandelt wird.

In der Übersichtsmessung des Spektrums stechen vor allem die Peaks bei 5460\AA und 4360\AA . Beim Vergleich der Messung mit und ohne dem Gelbfilter fällt auf, dass manche Linien bei der Messung mit Filter verschwinden. Das liegt an der Eigenschaft des Farbglasses die Beugungen höherer Ordnung herauszufiltern. Diese werden in der Intensität stark geschwächt. Um dies zu verdeutlichen haben wir bei der Darstellung 4.1 die Intensität jeweils durch den Maximalwert geteilt. Aus diesem Grund lässt sich das „Abdämpfen“ der Beugungen höherer Ordnung besser beobachten.

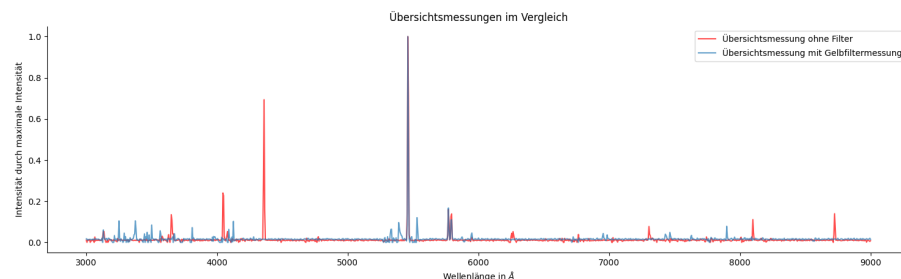


Abbildung 4.1: Messung mit und ohne Gelbfilter im Vergleich

Unter Berücksichtigung von Grafik 4.1 wird deutlich, dass die Peaks bei 4360\AA , 4045\AA und 3650\AA von der Beugung 2. Ordnung des Spektrometers kommen.

4.2 Literaturvergleich der gemessenen Werte

Im folgenden werden die Literaturwerte (Lide, 2003, S. 1474) mit den gemessenen Werten verglichen. Dabei wird der Peak im Diagramm abgelesen und dann der dazugehörigen exakten Messwert der x-Achse in den Daten nachgeschlagen. Die nicht in der Literatur erwähnten Peaks werden auöenvor gelassen, da sie vermutlich zu dem in der Lampe

4.2 Literaturvergleich der gemessenen Werte

verwendetem Edelgas gehören. Daraufhin wird die Differenz des Literaturwertes mit dem des Messwerts berechnet und der Messfehler des jeweiligen Messwertes ermittelt. Diese wird dann in der Grafik 4.2 in einem Diagramm aufgetragen. Verwende zur Berechnung

Literaturwerte in Å	Messwerte in Å	Betrag der Differenz in Å	Fehler der Messung in Å
3650.15	3655	4.85	3.7
4046.56	4045	1.56	3.7
4358.34	4360	1.66	3.7
5460.75	5460	0.75	3.7
5769.6	5770	0.4	3.7
5790.7	5795	4.3	3.7
6234.4	6265	30.6	3.7
7346	7305	41.0	3.7

Tabelle 4.1: Vergleich der gemessenen Werte mit den Literaturwerten

der Fehler folgende Formel:

$$\Delta\lambda = \sqrt{2} \cdot \frac{b}{f} * s_e \quad (4.1)$$

Hierbei ist b die Gitterkonstante, f die Hohlspiegelbrennweite und s_e die Breite des Ein-/Austrittsspalt.

Gitterkonstante b $833nm$
Hohlspiegelbrennweite f $250mm$

Wenn man dies in einem Diagramm aufträgt, sieht man sehr schön, dass Differenz und Messfehler in der gleichen Größenordnung liegen. Dabei werden nur die Hauptemissionslinien aufgetragen, da diese sehr eindeutig zuordenbar sind. Die aufgetragenen Linien sind die Linien bei 365nm, 404nm, 435nm, 576,9nm und 579,07nm.

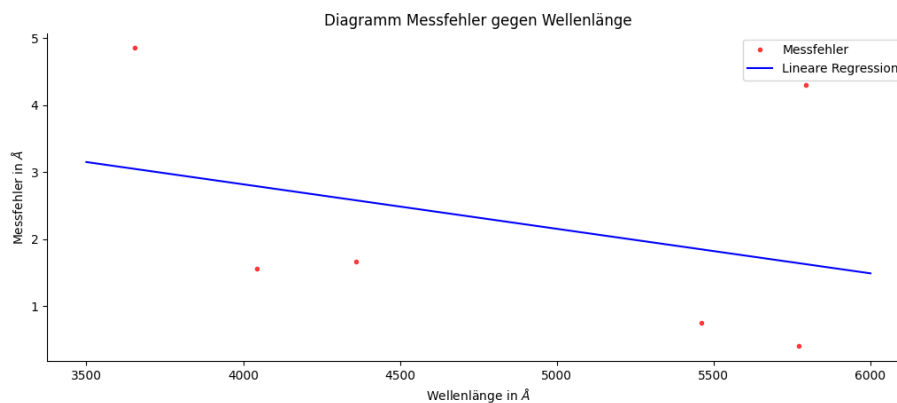
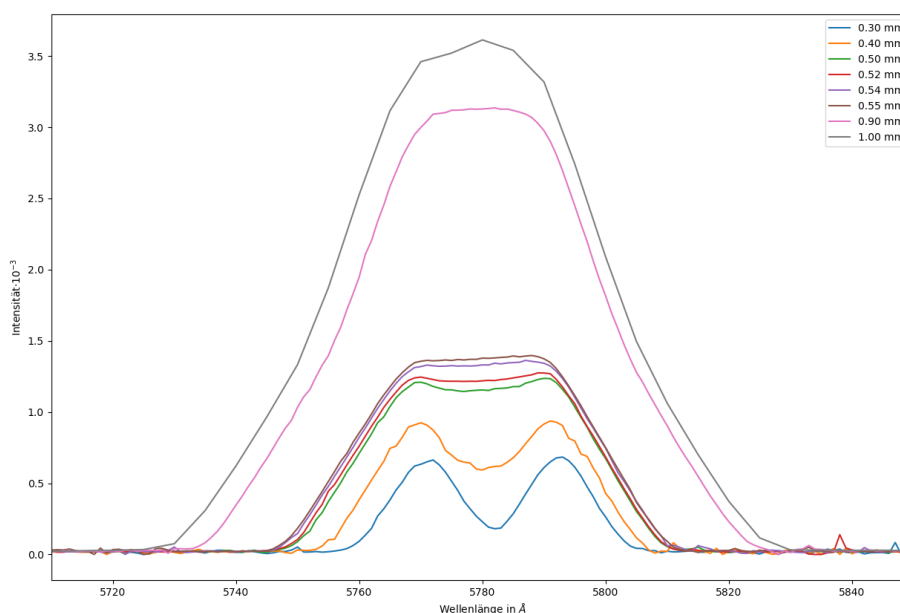


Abbildung 4.2: Fehler in der Übersichtsmessung

4.3 Auflösungsvermögen der Spektrometers

Für die Bestimmung des Auflösungsvermögens eines Spektrometers gibt es mehrere Möglichkeiten. Die im folgenden Ausgewertete ist die, bei der man zwei benachbarter Spektrallinien verwendet. Wir haben die gelbe Hg-Doppellinie bei unterschiedlichen Spaltbreiten im Bereich von $100\mu\text{m}$ bis 1mm gemessen. Unsere genauen Spaltbreiten sind: 1mm , $0,9\text{mm}$, $0,55\text{mm}$, $0,54\text{mm}$, $0,52\text{mm}$, $0,4\text{mm}$ und $0,3\text{mm}$. // Wie schon in den Fragen zur Vorbereitung erarbeitet, berechnen wir nun das Auflösungsvermögen. Dabei wird $\Delta\lambda_G$ wir schon beschrieben vernachlässigt. Die gerade noch so unterscheidbaren Peaks sind graphisch bei ca. $500\mu\text{m}$ auszulesen.



$$\Delta\lambda_M = \Delta\lambda_S = \sqrt{\frac{b^2}{f^2}(s_e^2 + s_a^2)} \quad (4.2)$$

Bei Annahme eines Rechteckprofils statt eines Gaußprofils und $s_e = s_a$:

$$\Delta\lambda_M = \sqrt{2} \frac{b}{f} \cdot s = \sqrt{2} \cdot \frac{0,5}{1200 \cdot 250} = 23,57\text{nm} \approx \Delta\lambda_s \quad (4.3)$$

wobei hier wie in den Fragen zur Vorbereitung beschrieben b die Gitterkonstante und f die Brennweite des Hohlspiegels ist und der Anteil der Gitterkonstante vernachlässigbar ist (siehe FzV 5)

4.4 Linienbreite als Funktion der Ein-/Ausgangsspaltbreite

Die Werte für das Auflösungsvermögen der beiden Peaks, kann man aus dem Graphen lesen. Somit folgt:

$$\lambda_1 = 577,5nm \quad \lambda_2 = 579,5nm \quad (4.4)$$

$$\Delta\lambda = 2nm \quad (4.5)$$

$$A_{S_1} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda_S} = 432,41 \quad A_{S_2} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda_S} = 433,91\mu m \quad (4.6)$$

Die theoretische Spaltbreite berechnet sich folgendermaßen:

$$s_{theoretisch} = \frac{\Delta\lambda f}{b} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 250}{1200} = 600\mu m$$

Beide Auflösungsvermögen (theoretisch und graphisch-rechnerisch) befinden sich in der gleichen Größenordnung. Jedoch unterscheiden sie sich deutlich voneinander. Da man schon ab 0,55 die Peaks nicht mehr unterscheiden kann und nur noch ein Plateau ersichtlich ist, erkennt man, dass auch bei $s = 600\mu m$ (wie der theoretische Wert) die Peaks nicht mehr zu unterscheiden sind, weshalb deutlich wird, dass der theoretische Wert nicht mit dem Experimentellen übereinstimmt.

4.4 Linienbreite als Funktion der Ein-/Ausgangsspaltbreite

Ein entscheidender Faktor bei der Spektroskopie ist die Breite des Eingangs- und Ausgangsspalt. Diese beeinflusst unter anderem maßgeblich die Breite, in der die Linien erscheinen. Deutlich wird dies in Grafik 4.3. In dieser wurden die auf Eins normierten Linien gleichzeitig dargestellt. Man sieht schön, dass bei breiteren Ein- und Ausgangsspalten auch die Linien breiter werden. Dies war auch zu erwarten, da sowohl bei rechteckigem als auch bei dem gaußförmigen Intensitätsprofil, die Linienbreite direkt proportional zu den Spaltbreiten ist. Die schwarze Linie mit dem Namen „Breitenmessung“ dient der Verdeutlichung der Auswertmethodik. Hier wurde grafisch ausgewertet. Um das Problem zu umgehen, zu entscheiden, wo genau die Linie bei Null beginnt, nimmt man sie einfach bei halber Intensität die Linienbreite. Dies vergrößert jedoch den Fehler, da die Ablesegenauigkeit durch die Auflösung der Grafik begrenzt ist.

Beim Auswerten der Grafik ergeben sich folgende Linienbreiten: Die „Reale Linienbreite“, wird dabei nach folgender Formel aus dem Skript¹ berechnet.

$$\Delta\lambda_L = \sqrt{(\Delta\lambda)^2 - (\Delta\lambda_G)^2 - (\Delta\lambda_S)^2} \approx \sqrt{(\Delta\lambda)^2 - (\Delta\lambda_S)^2}$$

Diese werden dann auch in Grafik 4.4 aufgetragen. Es fällt dabei auf, dass es einen massiven Unterschied zwischen „Reale Linienbreite“, theoretisch Berechneter und gemessener Linienbreite gibt. Die theoretische Linienbreite wurde hier mit einem linearen Übergang zwischen der Annahme, dass es sich um ein Gauß-/Rechtecksintensitätsmuster handelt, erstellt. Am Anfang scheint diese Vorhersage sehr treffend zu sein. Gegen Ende

¹Versuch SP: Das Spektrometer auf Seite SP-3 Gleichung 7

4 Auswertung und Diskussion

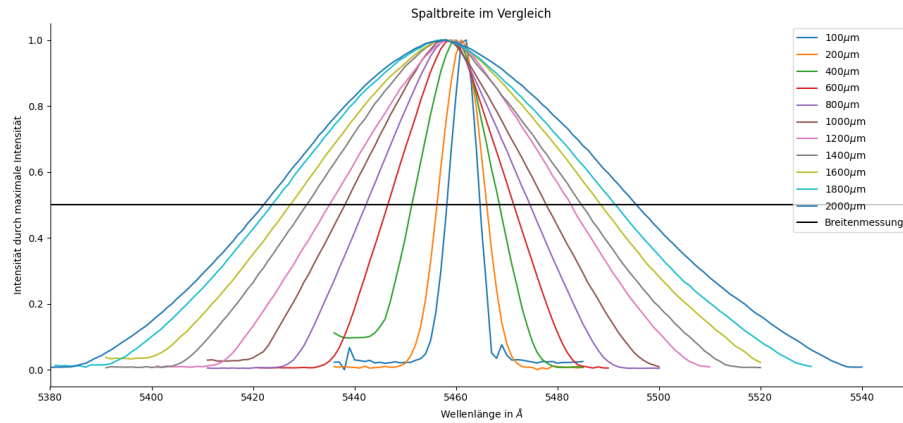


Abbildung 4.3: Linienbreiten im Vergleich

Spaltbreite in μm	Linienbreite $\Delta\lambda$ in \AA	Fehler $s_{\Delta\lambda}$ in \AA	Reale Linienbreite in \AA
100	6.5573	0.8	5.6477
200	9.8360	0.8	7.2345
400	18.0327	0.8	12.1468
600	25.4098	0.8	15.6837
800	31.9672	0.8	17.6454
1000	40.9836	0.8	23.8628
1200	48.3606	0.8	27.2035
1400	54.9180	0.8	28.9819
1600	61.4754	0.8	30.6113
1800	68.0327	0.8	32.1144
2000	73.7704	0.8	31.6416

Tabelle 4.2: Linienbreite in Abhängigkeit der Spaltbreite

hin weicht die Messung jedoch deutlich von dem theoretischen Wert ab. Das könnte unter anderem daran liegen, dass die Breite des Eingangsspalt bei dieser Prognose als vernachlässigbar klein angenommen wird. Dies trifft jedoch bei Spaltbreiten von fast 2mm nicht mehr zu. Der Unterschied zwischen „Reale Linienbreite, und Messwerten in dieser Größenordnung ist aus unserer Sicht schlichtweg nicht erklärbar. Wahrscheinlich handelt es sich hier um einen Berechnungsfehler, genauer einen fehlenden Faktor zwei, der uns auch bei genauestem Hinschauen nicht aufgefallen ist. Multipliziert man den Realen Wert mit zwei erhält man nämlich Grafik 4.5.

4.5 Faltung bei ungleicher Spaltbreite

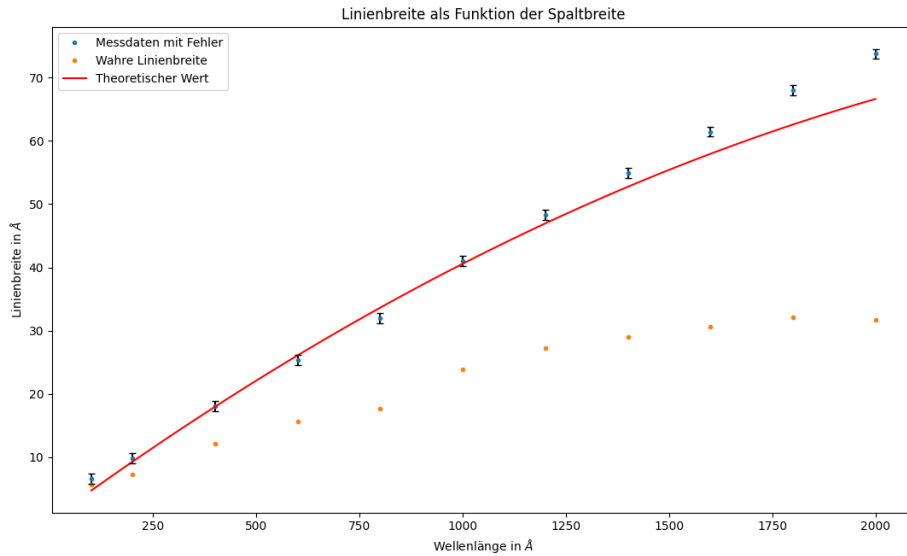


Abbildung 4.4: Linienbreiten als Funktion der Spaltenbreite

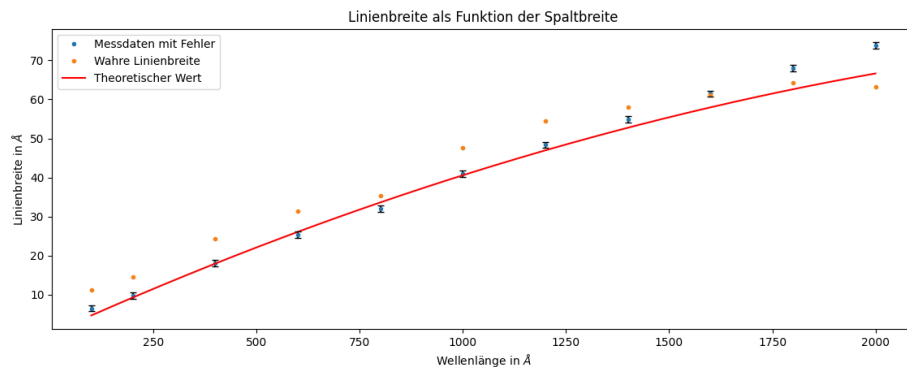


Abbildung 4.5: Spekulation über einen Rechenfehler

4.5 Faltung bei ungleicher Spaltbreite

Theoretischer Hintergrund

In den Fragen zur Vorbereitung haben wir uns mit der Thematik der Faltung zweier Rechteckfunktionen, beschäftigt. Vor allem im Bezug zu unterschiedlichen Ein- und Austrittsspaltbreiten haben wir die Ergebnisse interpretiert. So haben wir herausgefunden, dass es bei einer Faltung zu einer nach oben hin schmaler werdenden Trapezfunktion führt, welche oben ein Plateau in der Mitte besitzt.

Sind beide Rechteckfunktionen gleich groß, so erhält man eine Dreiecksfunktion mit

4 Auswertung und Diskussion

optimaler Intensität. Die Rechteckfunktionen entsprechen den (Anfangs- bzw. End-)Spaltbreiten. Wenn diese unterschiedlich sind, so ist das zu messende Signal kleiner und schwächer als bei gleichen Spaltbreiten. Diesen Theoretischen Hintergrund kann man durch unsere Messungen bestätigen.

Interpretation

Wir betrachten im Folgenden diese Einstellungen bei unseren Messungen:

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. Eingangsspalt: 1,0mm | Ausgangsspalt: 0,5mm |
| 2. Eingangsspalt: 0,5mm | Ausgangsspalt: 1,5mm |
| 3. Eingangsspalt: 0,5mm | Ausgangsspalt: 1,0mm |
| 4. Eingangsspalt: 0,5mm | Ausgangsspalt: 0,1mm |

Bei den Graphen wurde die Intensität gegen die Wellenlänge aufgetragen.

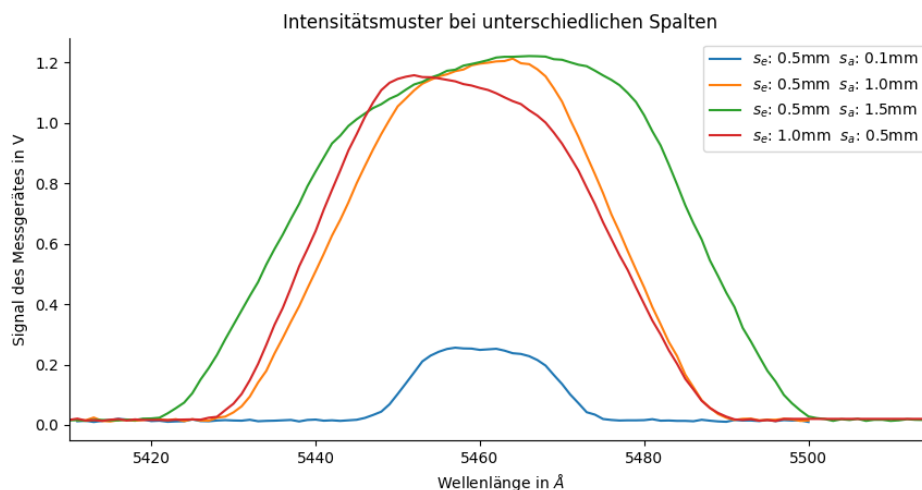


Abbildung 4.6: Intensitätsmuster bei unterschiedlichen Ein- und Ausgangsspaltbreiten

Im Vergleich zu den vorherig gemessenen Messungen erkennt man, dass es ein deutlich ersichtliches Plateau gibt. Zusätzlich zu beachten ist die geringe Intensität von ca. 1,2 Volt bei den Messungen 1. bis 3. und sogar nur 0,25 Volt bei Messung 4. Der Grund dafür ist die oben angeführte Faltung von Rechteckfunktionen. Die geringe Intensität bei der letzten Messung ist darauf zurückzuführen, dass die Spaltbreiten sehr niedrig sind und nah beieinander liegen. Man kann auch erkennen, dass das Plateau immer deutlicher zu sehen ist, je höher der Ausgangsspalt ist. Zudem kann man auch einen guten Augenmerk auf die Breite der Messergebnisse legen. Hier merkt man, dass bei der ersten Messung die Breite 60 Angström misst, bei der zweiten Messung 75, bei der dritten wieder 60 und bei der letzten nur 30. Der Grund dafür könnte der Abstand

4.5 Faltung bei ungleicher Spaltbreite

zwischen den Spaltbreiten sein, da sowohl die erste, als auch die dritte Messung 0,5mm Unterschied haben. Auch ist zu erkennen, dass je größer eben dieser Abstand ist, desto breiter ist der Graph.

5 Fazit

Das Ziel dieses Versuches war die Leistungsfähigkeit und Funktionsweise des Spektrometers kennenzulernen. Dies wurde erreicht, indem wir Spektrallinien vermessen haben und das Transmissionsverhalten eines Filterglases untersucht haben. Außerdem haben wir eine Methode zur Ermittlung des Auflösungsvermögens gelernt. Der Umgang mit einem Messprogramm wurde außerdem nochmal geübt. Dabei begegneten uns Probleme, welche später bei eigenständigem Arbeiten auch auftreten. Die von dem Programm ausgegebenen Dateien sind beispielsweise im „.txt“-Format, wobei die Kommazahlen mit Kommata abgetrennt sind. Software zum Plotten erwartet jedoch csv-Dateien. Bei diesen ist die Zeilentrennung ein Semikolon und das Komma ein Punkt. Diese Schwierigkeiten zu Lösen war gutes Training für zukünftige Auswertungen.

Literaturverzeichnis

LIDE, DAVID R. 2003 *Handbook of Chemistry and Physics*, 84. CRC Press.