

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Messung der Deckenbeleuchtung	2
2.1	Versuchsaufbau	2
2.2	Messverfahren	2
2.3	Messergebnisse	3
2.4	Interpretation	4
3	HeNe-Laser	5
3.1	Versuchsaufbau	5
3.2	Messverfahren	5
3.3	Messergebnisse	6
3.4	Interpretation	7
4	Hg-Dampflampe	8
4.1	Versuchsaufbau	8
4.2	Messverfahren	8
4.3	Messergebnisse	9
4.4	Interpretation	11
5	D2-Wolframbandlampe	12
5.1	Versuchsaufbau	12
5.2	Messverfahren	12
5.3	Messergebnisse	13
5.4	Interpretation	17
6	Wasserdampflampe	18
6.1	Versuchsaufbau	18
6.2	Messverfahren	18
6.3	Messergebnisse	20
6.3.1	Balmer-Serie	20
6.3.2	Rotationsbande	23
6.3.3	Interpretation	24
7	Anhang	25

1 Einleitung

Die in diesem Protokoll beschriebenen Experimente wurden am 31.05.2017 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums Laborübungen III (134.126) von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit der optischen Spektroskopie.

2 Messung der Deckenbeleuchtung

2.1 Versuchsaufbau

- Das Spektrometer [USB4000] war über ein USB-Kabel mit dem Mini-PC [ESPRIMO] verbunden.
- Am Spektrometer [USB4000] war der Quarzlichtleiter aus dem [CHEM4-UV-FIBER] Set angeschlossen.

2.2 Messverfahren

- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde gestartet.
- Die Mittelungseinstellung ("Avg") wurde auf 3 gestellt; die Glättung ("Boxcar-Breite") auf 0
- Die Abdeckung des Quarzlichtleiters wurde entfernt, und das offen Ende gegen die Deckenbeleuchtung gehalten.
- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt und dokumentiert.
- Der Quarzlichtleiter wurde wieder abgedeckt, für die gewählten Parameter ein Dunkelspektrum gemessen und unter "Store Dark Spectrum" gespeichert.
- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde in die Einstellung "Scope Minus Dark" umgestellt.
- Die Abdeckung des Quarzlichtleiters wurde wieder entfernt und das offen Ende gegen die Deckenbeleuchtung gehalten
- Das Spektrum der Deckenbeleuchtung (Leuchtstoffröhre) wurde mit offenem Lichtleiter im Einzelmessungs-Modus "Perform Single Acquisition" gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen und als Grafik gesichert.
- Die genaue Wellenlänge, Intensität und Halbwertsbreite wurde mit der "Peak-Property"-Funktion der [SPECTRASUITE] Software bestimmt und dokumentiert.

2.3 Messergebnisse

Die geeignete Integrationszeit wurde mit 300 ms bestimmt. Das ermittelte Spektrum ist in Abbildung 1 dargestellt.

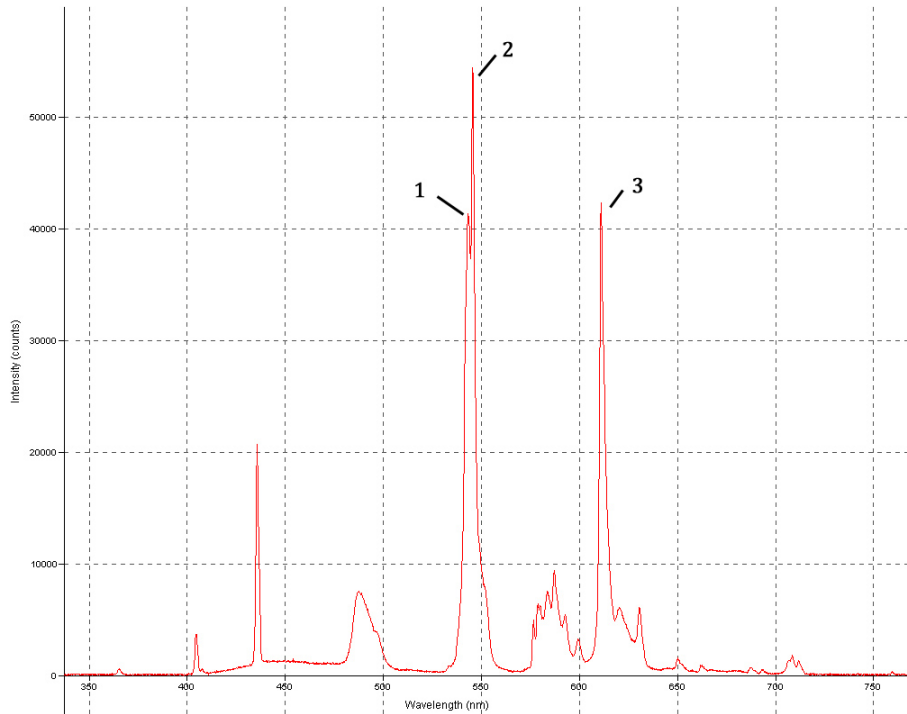


Abbildung 1: Spektrum der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor. Peak 1 stammt von Terbium (Tb^{3+}), Peak 2 von Quecksilber (Hg) und Peak 3 von Europium in $Eu^{+3} : Y_2O_3$ (vgl. [Padleckas, 2009]). Mittelwertbildung über drei Messungen; Integrationszeit: 300 ms.

Die Messdaten der drei Hauptpeaks aus Abbildung 1 sind in Tabelle 1 dargestellt.

Peak n	Wellenlänge λ [nm]	Intensität I [counts]	Halbwertsbreite $\Delta\lambda_H$ [nm]
1	543,40	40125	9,37
2	545,75	54350	7,41
3	611,12	42244	5,54

Tabelle 1: Daten der drei Hauptpeaks im Spektrum der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor.

2.4 Interpretation

Das gemessene Spektrum stimmt sehr gut mit dem Referenzspektrum aus [Padleckas, 2009] überein (vergleiche Abbildung 1 und 2)

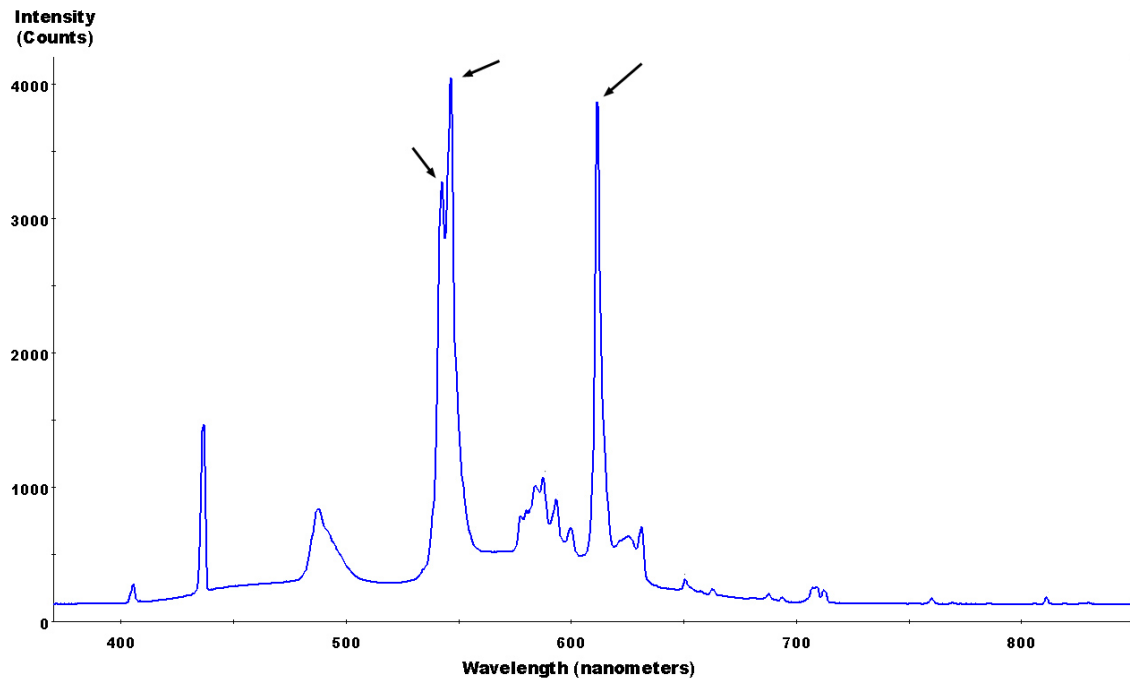


Abbildung 2: Referenz-Spektrum einer Leuchtstoffröhre, aus: [Padleckas, 2009], mit Anpassung durch die Autoren.

In Tabelle 2 sind die gemessenen Wellenlängen den Referenzwerten aus [Padleckas, 2009] gegenübergestellt. Man erkennt auch hier eine sehr gute Übereinstimmung.

Peak n	gemessen λ [nm]	Referenz λ_{ref} [nm]
1	543,40	~543-544
2	545,75	546,07
3	611,12	~611

Tabelle 2: Vergleich der gemessenen Wellenlängen der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor mit den Referenzwerten aus [Padleckas, 2009]

3 HeNe-Laser

3.1 Versuchsaufbau

- Das Spektrometer [USB4000] war über ein USB-Kabel mit dem Mini-PC [ESPRIMO] verbunden.
- Am Spektrometer [USB4000] war der Quarzlichtleiter aus dem [CHEM4-UV-FIBER] Set angeschlossen.
- Der HeNe-Laser [LASER] war mit der Stromversorgung [PS1235] verbunden.
- Der HeNe-Laser war auf einem optischen Tisch installiert und in seinen Strahlengang wurde ein Streukörper aus PTFE eingebracht.

3.2 Messverfahren

- Die Mittelungseinstellung ("Avg") der Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde auf 3 gestellt; die Glättung ("Boxcar-Breite") auf 0
- Die Abdeckung des Quarzlichtleiters wurde entfernt, der Laser eingeschaltet, und das offen Ende des Quarzlichtleiters in den durch den Streukörper abgeschwächten Laserstrahl gehalten.
- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt und dokumentiert.
- Der Quarzlichtleiter wurde wieder abgedeckt. Für die gewählten Parameter wurde ein Dunkelspektrum gemessen und unter "Store Dark Spectrum" gespeichert.
- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde in die Einstellung "Scope Minus Dark" umgestellt.
- Die Abdeckung des Quarzlichtleiters wurde wieder entfernt und das offen Ende in den durch den Streukörper abgeschwächten Laserstrahl gehalten.
- Das Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus ("Perform Single Acquisition") gemessen.

- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.
- Die Wellenlänge des Laser-Peaks und die Halbwertsbreite wurde mit der "Peak-Property"-Funktion der [SPECTRASUITE] Software bestimmt und dokumentiert.
- Aus der Wellenlänge und der Halbwertsbreite wurde das Auflösungsvermögen des Spektrometers $\frac{\lambda}{\Delta\lambda_H}$ bestimmt.

3.3 Messergebnisse

Die geeignete Integrationszeit wurde mit 300 ms bestimmt. Das ermittelte Spektrum ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die gemessene Wellenlänge des Laserpeaks beträgt

$$\lambda = 632,48 \text{ nm} \quad (1)$$

Die ermittelte Halbwertsbreite beträgt:

$$\Delta\lambda_H = 2,79 \text{ nm} \quad (2)$$

Daraus ergibt sich das Auflösungsvermögen des Spektrometers mit:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda_H} = \frac{632,48 \text{ nm}}{2,79 \text{ nm}} = 227 \quad (3)$$

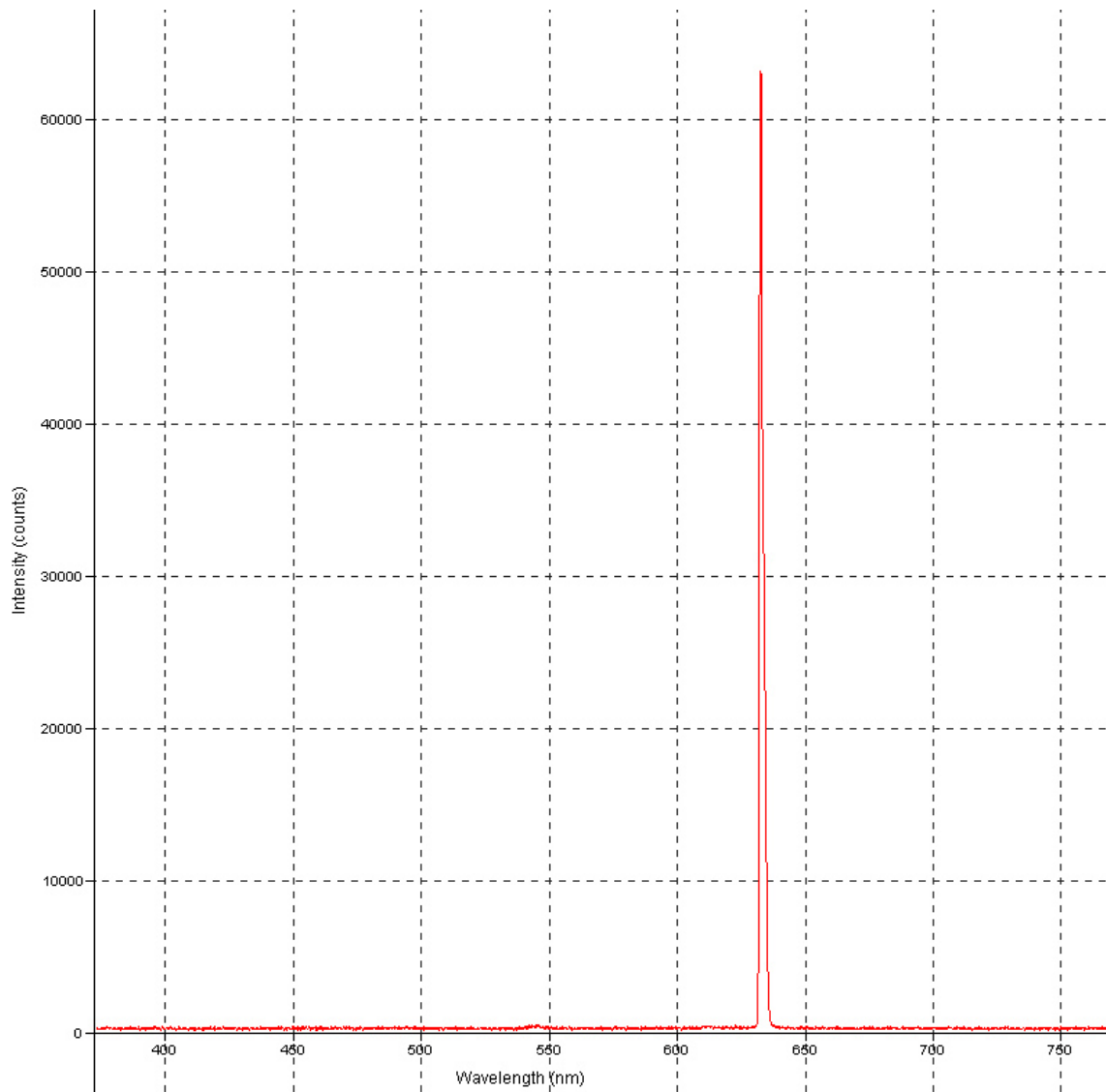


Abbildung 3: Spektrum eines HeNe-Lasers, gemessen durch einen PTFE-Streukörper.
Mittelwertbildung über drei Messungen; Integrationszeit: 300 ms.

3.4 Interpretation

- Die gemessene Wellenlänge 632,48 nm weicht von der nominellen Wellenlänge 632,8 nm um nur 0,05 % ab.
- Das ermittelte Auflösungsvermögen entspricht bei dieser Wellenlänge einer Halbwertsbreite von $\Delta\lambda_H = 2,79$ nm (siehe Gleichung 3), was signifikant schlechter als die im Datenblatt angegebene Auflösung von $\Delta\lambda_H = 1$ nm ist.

4 Hg-Dampflampe

4.1 Versuchsaufbau

- Das Spektrometer [USB4000] war über ein USB-Kabel mit dem Mini-PC [ESPRIMO] verbunden.
- Am Spektrometer [USB4000] war der Quarzlichtleiter aus dem [CHEM4-UV-FIBER] Set angeschlossen.
- Die Quecksilber-Hochdrucklampe [451.151] war mit dem Betriebsgerät [451.195] verbunden.
- Eine Lichtquellenabschirmung mit Lichtleiteranschluss und verstellbarer Blendenplatte wurde über die Quecksilber-Hochdrucklampe [451.151] gestülpt.
- Die Blendenplatte wurde auf große Blende (Durchmesser 4 mm) eingestellt.
- Der Quarzlichtleiter wurde an den Lichtleiteranschluss der Lichtquellenabschirmung angeschlossen.

4.2 Messverfahren

- Die Mittelungseinstellung ("Avg") der Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde auf 3 gestellt; die Glättung ("Boxcar-Breite") auf 0
- Die Hg-Dampflampe [451.151] wurde eingeschaltet, und es wurden zwei Minuten abgewartet.
- Die Lichtquellenabschirmung wurde so ausgerichtet, dass der Lichtleiteranschluss in Richtung des emittierten Lichts zeigte.
- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt und dokumentiert.
- Der Quarzlichtleiter wurde von der Lichtquellenabschirmung abmontiert und wieder abgedeckt. Für die gewählten Parameter wurde ein Dunkelspektrum gemessen und unter "Store Dark Spektrum" gespeichert.
- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde in die Einstellung "Scope Minus Dark" umgestellt.
- Der Quarzlichtleiter wurde wieder an den Lichtleiteranschluss der Lichtquellenabschirmung angeschlossen.
- Das Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus ("Perform Single Acquisition") gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert

- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.
- Die Wellenlänge der 12 größten Peaks und deren Halbwertsbreite wurde mit der "Peak-Property"-Funktion der [SPECTRASUITE] Software bestimmt und dokumentiert.

4.3 Messergebnisse

Die geeignete Integrationszeit wurde mit 40 ms bestimmt. Das ermittelte Spektrum ist in Abbildung 4 dargestellt, die zugehörigen Messwerte in Tabelle 3.

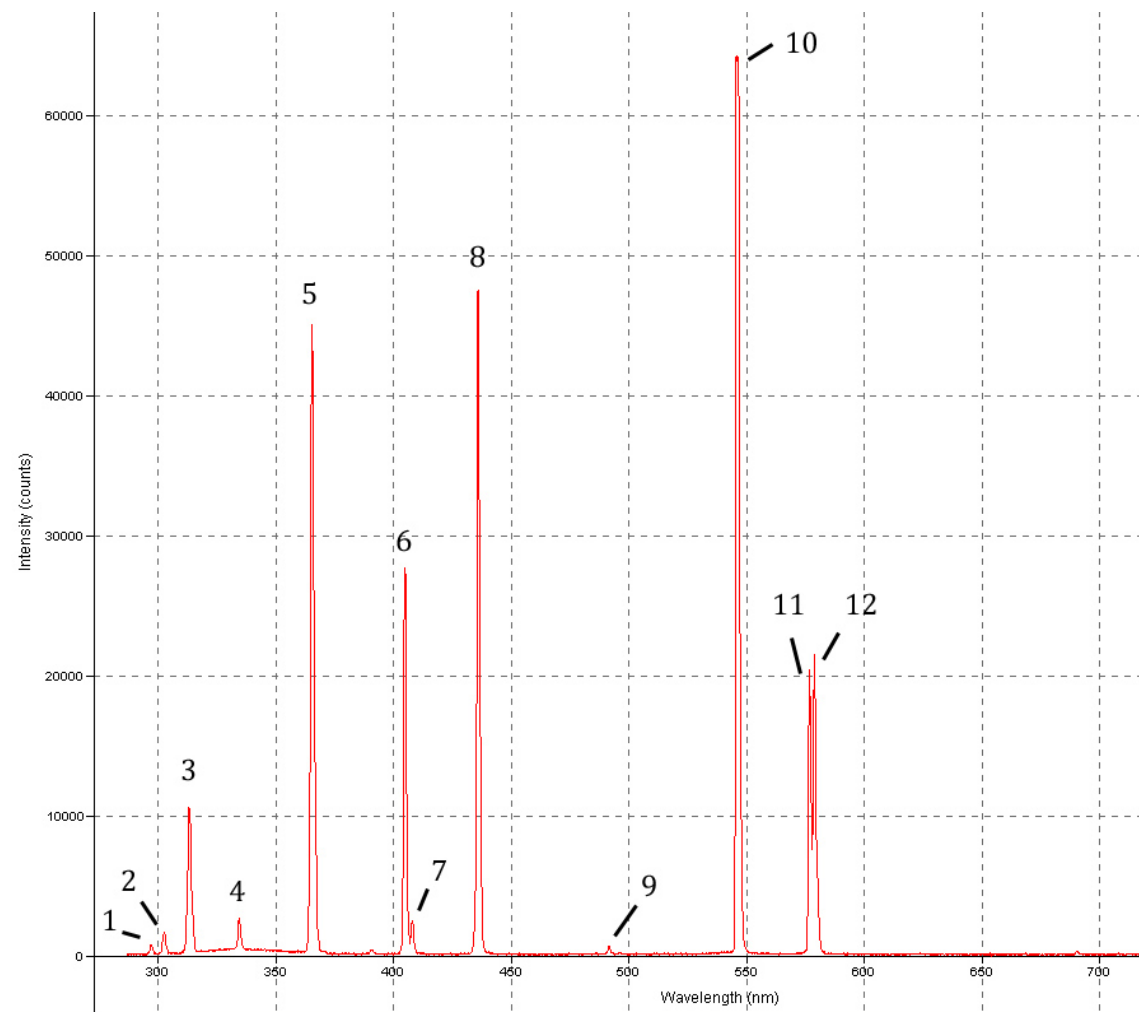


Abbildung 4: Spektrum einer Hg-Dampfampe. Mittelwertbildung über drei Messungen, Integrationszeit 40 ms.

Peak n	Wellenlänge (gemessen) λ [nm]	Halbwerts- breite $\Delta\lambda_H$ [nm]	Intensität I [counts]	Referenz- wellenlänge λ_{ref} [nm]	Wellenlängen differenz $\lambda - \lambda_{ref}$ [nm]
1	296,82	2,43	923,1	296,73	0,09
2	302,53	2,36	1 723,1	302,15	0,38
3	312,87	2,73	10 692,3	312,57	0,3
4	334,31	2,62	3 317,7	-	-
5	365,2	2,51	54 805,7	365,15	0,05
6	404,67	1,84	31 834,3	404,66	0,01
7	407,97	5,74	3 077,4	-	-
8	435,56	1,93	54 771,6	435,83	-0,27
9	491,45	2,35	764,6	-	-
10	546,09	2,48	64 030,4	546,07	0,02
11	576,79	4,25	25 285,6	576,80	-0,01
12	578,73	4,20	26 506,8	576,96	1,77

Tabelle 3: Gemessene Peaks im Spektrum einer Hg-Dampfampe im Vergleich zu den Literaturwerten (vgl. [Laimer, 2014])

Die folgende Abbildung zeigt die absolute Abweichung der gemessenen Wellenlänge ($\lambda - \lambda_{ref}$) in Abhängigkeit von der Referenzwellenlänge gem. [Laimer, 2014].

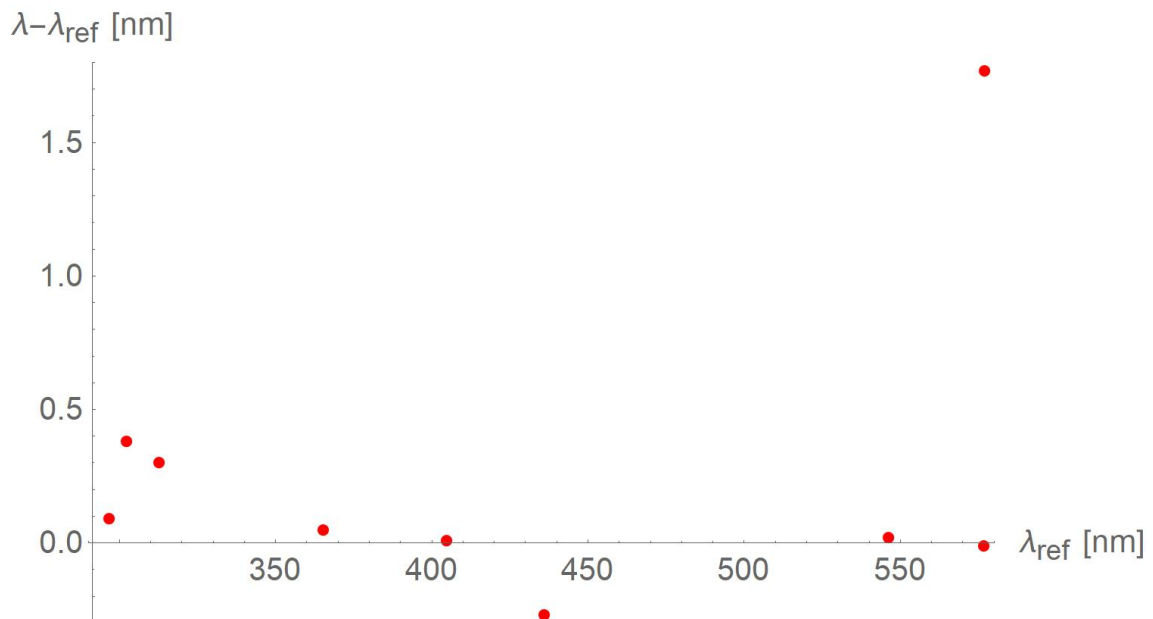


Abbildung 5: Absolute Abweichung zwischen gemessener Wellenlänge und dem Literaturwert bei den Peaks im Spektrum einer Hg-Dampfampe.

Abbildung 6 schließlich zeigt die Halbwertsbreiten der Peaks in Abhängigkeit von der Referenzwellenlänge gem. [Laimer, 2014].

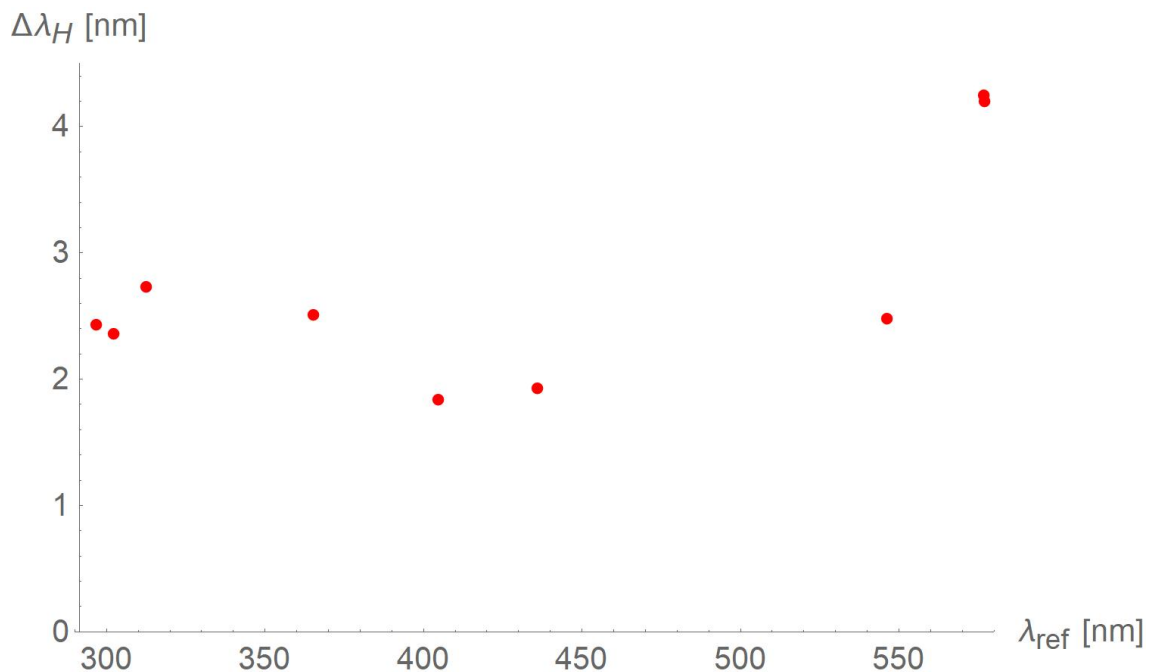


Abbildung 6: Halbwertsbreite der Peaks im Spektrum einer Hg-Dampf Lampe.

4.4 Interpretation

- Die Wellenlängen der gemessenen Peaks stimmen (mit Ausnahme von Peak 12) innerhalb von $\pm 0,4$ nm mit den Literaturwerten überein.
- Es ist keine Abhängigkeit zwischen Wellenlänge und Messfehler erkennbar, die Abweichungen scheinen zufällig gestreut zu sein (siehe Abbildung 5). Auch hier ist Peak 12 wiederum ein "Ausreißer".
- Die Abweichung bei Peak 12 ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass Peak 11 und 12 einen "Doppelpeak" bilden, was die Messung erschwert.

5 D2-Wolframbandlampe

5.1 Versuchsaufbau

- Das Spektrometer [USB4000] war über ein USB-Kabel mit dem Mini-PC [ESPRIMO] verbunden.
- Am Spektrometer [USB4000] war der Quarzlichtleiter aus dem [CHEM4-UV-FIBER] Set angeschlossen.
- Der Probenhalter aus dem Set [CHEM4-UV-FIBER] wurde an den Lichtwellenausgang der D2-Wolframbandlampe [ISS-UV/VIS] angeflanscht.
- Der Quarzlichtleiter wurde mit dem Probenhalter verbunden.

5.2 Messverfahren

Vorbereitung:

- Die Mittelungseinstellung ("Avg") der Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde auf 3 gestellt; die Glättung ("Boxcar-Breite") auf 0.
- Die D2-Wolframbandlampe [ISS-UV/VIS] wurde eingeschaltet, und es wurden zehn Minuten abgewartet.

Messung des unveränderten Spektrums ohne Probekörper.

- Es wurde sichergestellt, dass sich keine Probe im Probenhalter befindet.
- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt und dokumentiert.
- Der Quarzlichtleiter wurde vom Probenhalter abmontiert und wieder abgedeckt. Für die gewählten Parameter wurde ein Dunkelspektrum gemessen und unter "Store Dark Spektrum" gespeichert.
- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde in die Einstellung "Scope Minus Dark" umgestellt.
- Der Quarzlichtleiter wurde wieder an den Probenhalter angeschlossen.
- Das ungefilterte Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus ("Perform Single Acquisition") gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.

Messung mit Plexiglasblock im Strahlengang:

- Ein Plexiglasblock mit 10 mm Dicke wurde in den Probehälter eingebracht
- Das gefilterte Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus (“Perform Single Acquisition”) gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.

Messung mit Plexiglasblock und zwei roten Kunststofffolien im Strahlengang:

- Vor den Plexiglasblock wurden zusätzlich zwei rote Kunststofffolien eingebracht
- Das gefilterte Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus (“Perform Single Acquisition”) gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.

5.3 Messergebnisse

Die geeignete Integrationszeit wurde mit 100 ms bestimmt. Die folgenden drei Abbildungen zeigen das ungefilterte Spektrum, das Spektrum durch einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke, und das Spektrum durch den Plexiglasblock einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke plus zwei dünnen, roten Kunststofffolien.



Abbildung 7: Ungefiltertes Spektrum einer D2-Wolframbandlampe.



Abbildung 8: Spektrum einer D2-Wolframbandlampe nach Durchgang des Lichtstrahls durch einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke.

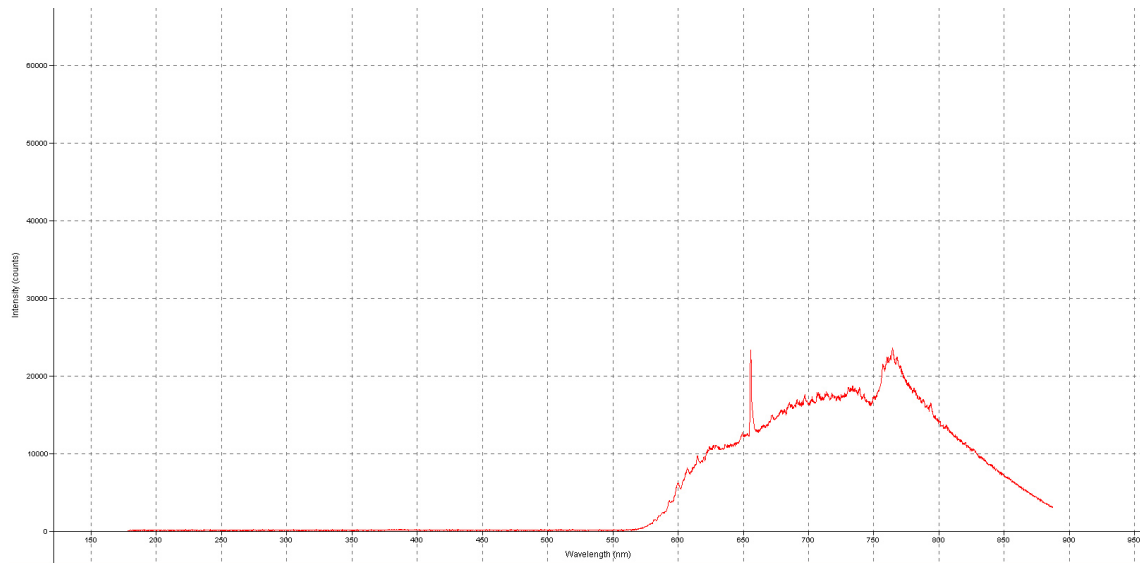


Abbildung 9: Spektrum einer D2-Wolframbandlampe nach Durchgang des Lichtstrahls durch einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke und zwei dünnen, roten Kunststofffolien.

Zur Berechnung wellenlängenabhängigen Transmissionkoeffizienten $T(\lambda)$ und Absorptionskoeffizienten $A(\lambda)$ wurden folgenden Formeln verwendet:

$$T(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} \quad (4)$$

$$A(\lambda) = 1 - T(\lambda) \quad (5)$$

$I_0(\lambda)$ steht für die in der ersten Messung festgestellte Intensität ohne Absorber und $I(\lambda)$ für die Intensität nach Durchgang durch den Plexiglasblock, bzw. nach Durchgang durch den Plexiglasblock und zwei rote Kunststofffolien.

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 visualisiert:

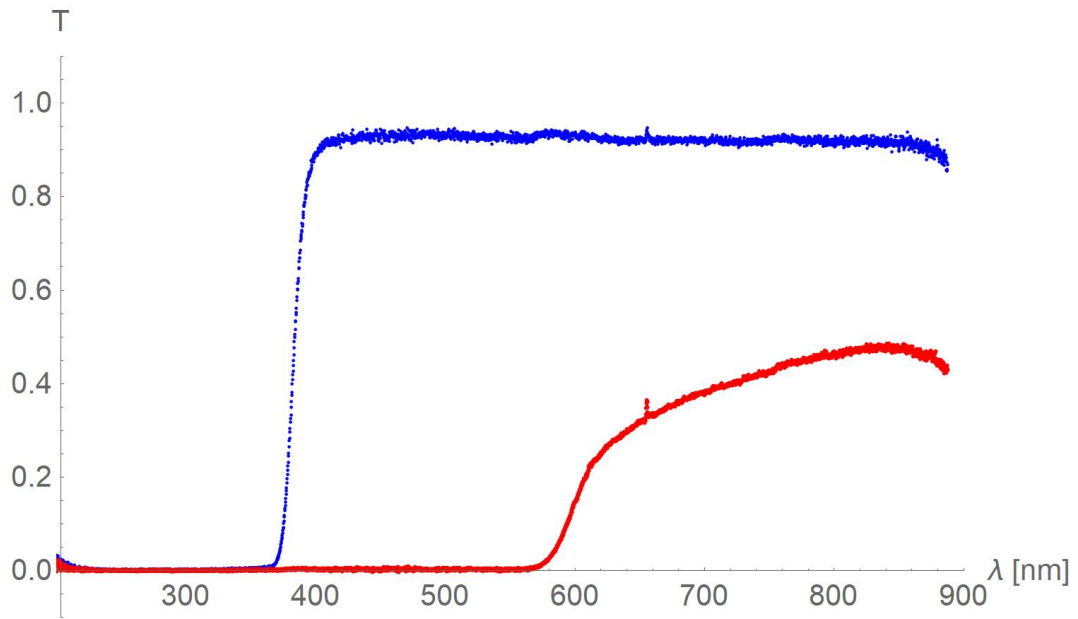


Abbildung 10: Transmission eines 10 cm dicken Plexiglasblocks (blau) und eines 10 cm dicken Plexiglasblocks mit zusätzlich zwei roten Kunststofffolien (rot).

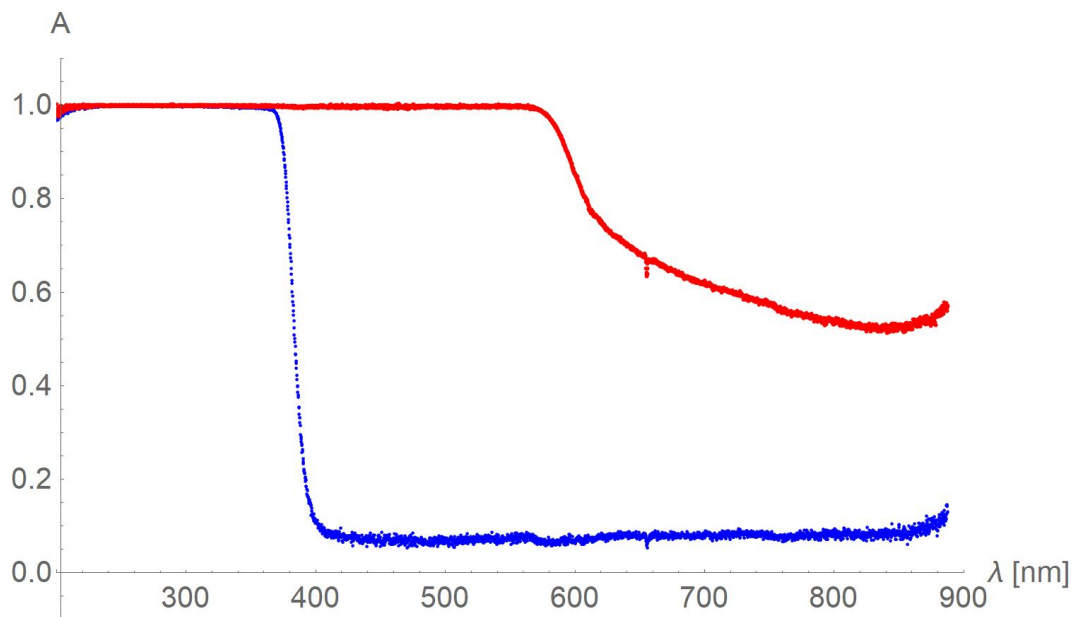


Abbildung 11: Absorption eines 10 cm dicken Plexiglasblocks (blau) und eines 10 cm dicken Plexiglasblocks mit zusätzlich zwei roten Kunststofffolien (rot).

Aus dem Beerschen Absorptionsgesetz

$$I(\lambda, x) = I_0 \cdot e^{-\alpha(\lambda)x} \quad (6)$$

lässt sich unmittelbar die Formel zur Berechnung des Absorptionskoeffizienten ableiten:

$$\alpha(\lambda) = \frac{\ln(\frac{I_0}{I})}{x} \quad (7)$$

Unter Anwendung dieser Beziehung erhält man Abbildung 12.

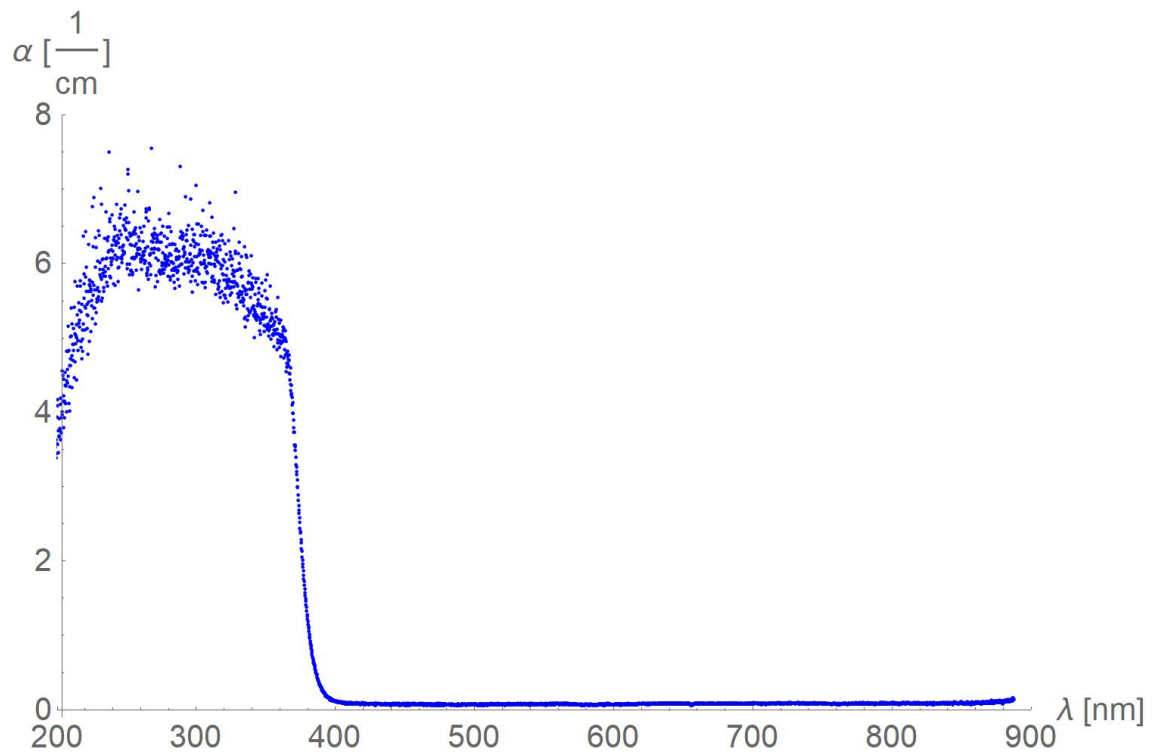


Abbildung 12: Absorptionskoeffizient α eines Plexiglasblocks in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

5.4 Interpretation

- In Abbildung 7 erkennt man das kontinuierliche Spektrum der D2-Wolframbandlampe, das dadurch entsteht, dass beim Dipolübergang des Wasserstoff/Deuterium-Moleküls kein stabiler Grundzustand existiert.
- Deutlich zu erkennen in Abbildung 7 ist auch der D_α -Peak bei 660 nm.

- In Abbildung 8 erkennt man, dass der Plexiglaswürfel hauptsächlich Wellenlängen kleiner als 350 nm (also den UV-Bereich) absorbiert.
- Abbildung 9 zeigt, dass die roten Kunststofffolien Wellenlängen kleiner als 570 nm, also den violetten, blauen, grünen und gelben Wellenlängenanteil absorbieren, sodass nur rote Lichtanteile übrigbleiben.
- Abbildung 10 und 11 zeigen die Transmissions- und Absorptionseigenschaften noch deutlicher, da diese Darstellung vom Spektrum der verwendeten D2-Wolframbandlampe unabhängig ist.
- Die starke Streuung der Werte für den Absorptionskoeffizienten α in Abbildung 12 im Bereich zwischen 200 nm und 350 nm ist damit zu begründen, dass in diesem Bereich das transmittierte Licht mit den gewählten Messparametern nur mehr eine Intensität in der Größenordnung von 100 counts hat, und daher in die Größenordnung des Signalrauschens kommt.

6 Wasserdampfampe

6.1 Versuchsaufbau

- Das Spektrometer [USB4000] war über ein USB-Kabel mit dem Mini-PC [ESPRIMO] verbunden.
- Am Spektrometer [USB4000] war der Quarzlichtleiter aus dem [CHEM4-UV-FIBER] Set angeschlossen.
- Die Wasserdampfampe (Balmer-Lampe) [451.41] war am Betriebsgerät [451.141] angeschlossen.
- Eine Lichtquellenabschirmung mit Lichtleiteranschluss und verstellbarer Blendenplatte wurde über die Balmer-Lampe [451.41] gestülpt.
- Die Blendenplatte wurde auf große Blende (Durchmesser 4 mm) eingestellt.
- Der Quarzlichtleiter wurde an den Lichtleiteranschluss der Lichtquellenabschirmung angeschlossen.

6.2 Messverfahren

Vorbereitung:

- Die Mittelungseinstellung ("Avg") der Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde auf 3 gestellt; die Glättung ("Boxcar-Breite") auf 0
- Das Betriebsgerät [451.141] wurde eingeschaltet, und es wurden fünf Minuten abgewartet.

- Die Lichtquellenabschirmung wurde so ausgerichtet, dass der Lichtleiteranschluss in Richtung des emittierten Lichts zeigte.

Messung des Gesamtspektrums inkl. Hauptpeak:

- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt, die es erlaubt, das Gesamtspektrum (inkl. des Hauptpeaks) zu erfassen. Die Integrationszeit wurde dokumentiert.
- Der Quarzlichtleiter wurde von der Lichtquellenabschirmung abmontiert und wieder abgedeckt. Für die gewählten Parameter wurde ein Dunkelspektrum gemessen und unter "Store Dark Spektrum" gespeichert.
- Die Spektroskopie-Software [SPECTRASUITE] wurde in die Einstellung "Scope Minus Dark" umgestellt.
- Der Quarzlichtleiter wurde wieder an den Lichtleiteranschluss der Lichtquellenabschirmung angeschlossen.
- Das Spektrum wurde im Einzelmessungs-Modus ("Perform Single Acquisition") gemessen.
- Die Messdaten wurden gespeichert
- Das angezeigte Spektrum wurde mittels Screenshot in MS-Paint übernommen, und als Grafik gesichert.
- Die genaue Wellenlänge, Intensität und Halbwertsbreite des K_{α} - und K_{β} -Peaks wurden mit der "Peak-Property"-Funktion der [SPECTRASUITE] Software bestimmt und dokumentiert.

Messung der kleineren Peaks:

- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt, die es zulässt, dass der Hauptpeak die Messgrenze überschreitet, aber es erlaubt, alle anderen kleineren Peaks korrekt zu erfassen. Die Integrationszeit wurde dokumentiert.
- Die restlichen Schritte wurden wie zuvor durchgeführt.
- Die genaue Wellenlänge, Intensität und Halbwertsbreite der K_{β} -, K_{γ} -, K_{δ} - und K_{ε} -Peaks wurden mit der "Peak-Property"-Funktion der [SPECTRASUITE] Software bestimmt und dokumentiert.

Messung der Rotationsbande:

- Im Scope-Mode der Software wurde eine geeignete Integrationszeit gewählt, die es zulässt, die Rotationsbande bei 570 nm zu erfassen. Die Integrationszeit wurde dokumentiert.
- Die restlichen Schritte wurden wie zuvor durchgeführt.

6.3 Messergebnisse

6.3.1 Balmer-Serie

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen das gemessene Spektrum. Die erste Messung des Gesamtspektrums (Abbildung 13) wurde mit einer Integrationszeit von 60 ms, die zweite Messung zur Erfassung der kleineren Peaks (Abbildung 14) mit einer Integrationszeit von 500 ms durchgeführt, wodurch die Intensität des α -Peaks hier bereits den Messbereich überschreitet.

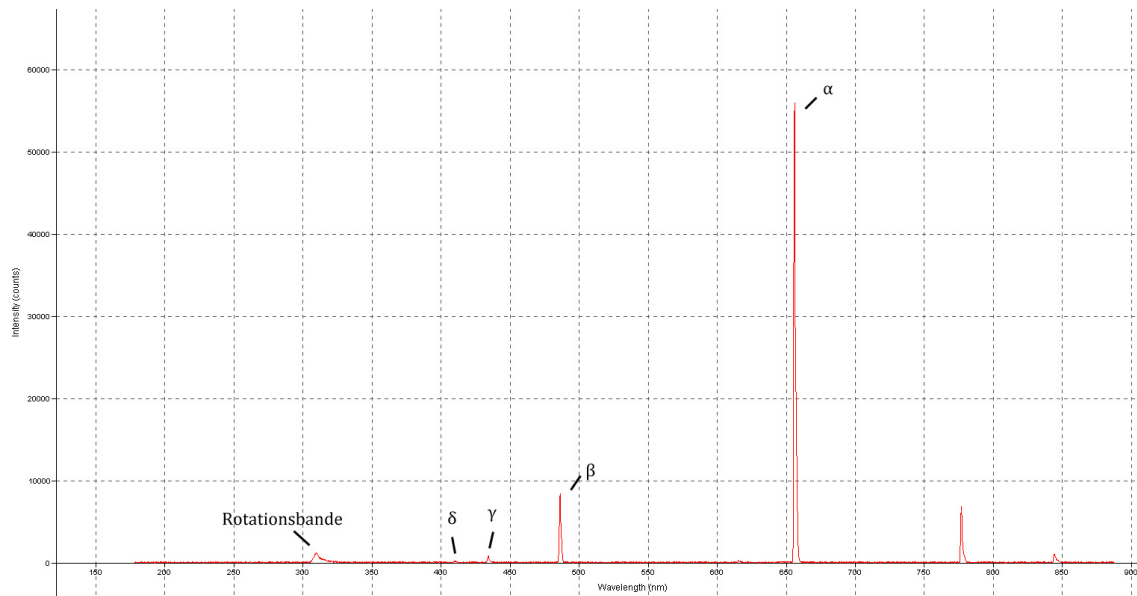


Abbildung 13: Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 60 ms, Mittelung über drei Messungen. Der K_e -Peak ist mit diesen Messparametern nicht mehr erkennbar.

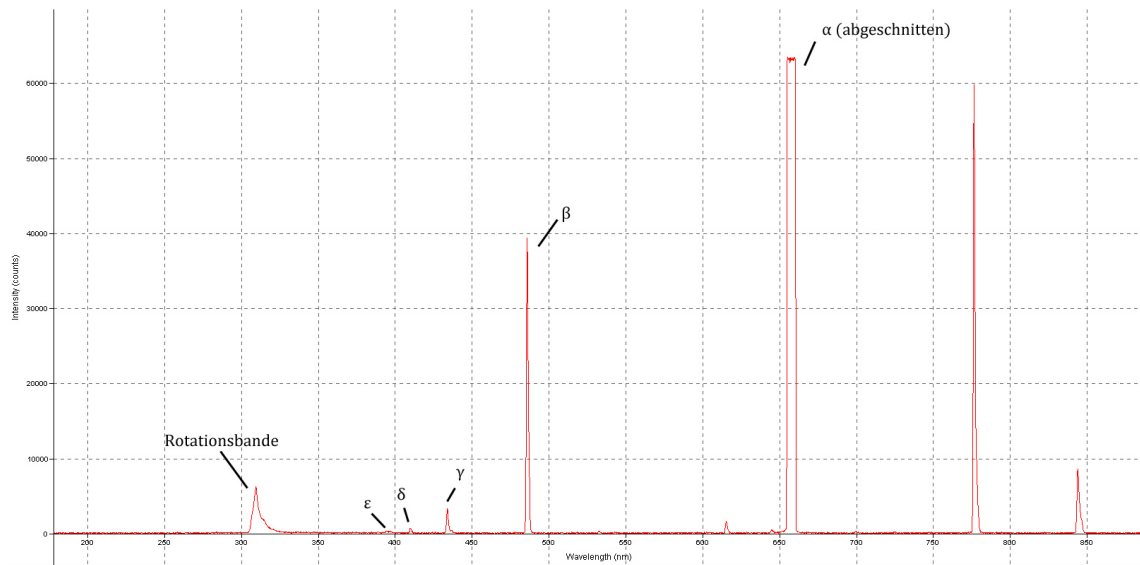


Abbildung 14: Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 500 ms, Mittelung über drei Messungen. Der K_α -Peak überschreitet mit diesen Messparametern die Messgrenzen.

Tabelle 4 zeigt die gemessenen und in Folge berechneten Werte des K_α - und K_β -Peaks aus der ersten Messung.

Peak K_x	Wellenlänge λ [nm]	Halbw.-breite $\Delta\lambda_H$ [nm]	Intensität I [counts]	Intensität kalibriert I_{cal} [μJ]	Wellenlänge (berechnet) λ_{ber} [nm]	Anreg.-energie E [$\frac{1}{cm}$]	Anreg.-energie E [J]	Gew.-faktor g	Überg.-wahrsch. A [$\frac{1}{s}$]
α	655,93	2,29	58 194,0	2,30	656,11	97492	$1,94 \cdot 10^{-18}$	18	44100000
β	486,05	2,07	7 367,9	0,18	486,01	102824	$2,04 \cdot 10^{-18}$	32	8419000

Tabelle 4: Gemessene und berechnete Werte des K_α - und K_β -Peaks einer Wasserdampfampe

Der linke Teil der Tabelle beinhaltet die gemessenen Werte, der rechte Teil die abgeleiteten und berechneten Werte.

- Die **kalibrierte Intensität** I_{cal} wurde mit der im Rahmen der Übung bereitgestellten Kalibrierungstabelle ermittelt.
- Die **berechnete Wellenlänge** wurde mittels der Rydberg-Formel (8) ermittelt.
- Die **Anregungsenergie in $\frac{1}{cm}$** wurde [Laimer, 2014] entnommen.
- Die **Anregungsenergie in μJ** berechnet sich aus der Anregungsenergie in $\frac{1}{cm}$ mittels Formel (9)
- **Gewichtungsfaktor und Übergangswahrscheinlichkeit** wurden aus [Laimer, 2014] entnommen.

Rydberg-Formel (mit Wert n_1 für Balmer-Serie):

$$\lambda = \frac{1}{R_\infty \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)}; R_\infty = 10\,973\,731,56/\text{m}; n_1 = 2; n_2 > 2 \quad (8)$$

Energie-Umrechnung:

$$E[\text{J}] = E\left[\frac{1}{\text{cm}}\right] \cdot 100 \cdot h \cdot c \quad (9)$$

Unter der Annahme, dass die Besetzung der angeregten Niveaus einer Boltzmannverteilung entspricht, kann die Anregungstemperatur T für den α - β -Übergang mittels folgender Formel berechnet werden:

$$T = \frac{E_\alpha[\text{J}] - E_\beta[\text{J}]}{k \cdot \ln \left(\frac{I_\beta^{\text{cal}} \lambda_\beta g_\alpha a_\alpha}{I_\alpha^{\text{cal}} \lambda_\alpha g_\beta a_\beta} \right)} \quad (10)$$

Durch Einsetzen der Werte aus Tabelle 4 erhält man:

$$\boxed{T_{\alpha\beta} = 4305 \text{ K}} \quad (11)$$

Tabelle 5 zeigt die gemessenen und in Folge berechneten Werte des K_β bis K_ϵ -Peaks aus der zweiten Messung.

Peak	Wellenlänge λ [nm]	Halbw.-breite $\Delta\lambda_H$ [nm]	Intensität I [counts]	Intensität kalibriert I_{cal} [μJ]	Wellenlänge (berechnet) λ_{ber} [nm]	Anreg.- energie E [$\frac{1}{\text{cm}}$]	Anreg.- energie E [J]	Gew.- faktor g	Überg.- wahrsh. A [$\frac{1}{\text{s}}$]
β	486,05	2,03	39 260,00	0,177	486,01	102824	$2,04 \cdot 10^{-18}$	32	8419000
γ	434,13	2,02	3 256,90	0,164	433,94	105292	$2,09 \cdot 10^{-18}$	50	2530000
δ	410,01	1,69	656,72	0,034	410,07	106632	$2,12 \cdot 10^{-18}$	72	973200
ϵ	397,06	5,21	239,60	0,013	396,91	107440	$2,13 \cdot 10^{-18}$	98	438900

Tabelle 5: Gemessene und berechnete Werte des K_β - bis bis K_ϵ -Peaks einer Wasserdampfampe

Der linke Teil der Tabelle beinhaltet die gemessenen Werte, der rechte Teil die abgeleiteten und berechneten Werte. Die Berechnungen erfolgten so wie bei der vorigen Tabelle.

Unter der Annahme, dass die Besetzung der angeregten Niveaus einer Boltzmannverteilung entspricht, kann die Anregungstemperatur T für den γ - δ -Übergang mittels folgender Formel berechnet werden:

$$T = \frac{E_\gamma[\text{J}] - E_\delta[\text{J}]}{k \cdot \ln \left(\frac{I_\delta^{\text{cal}} \lambda_\delta g_\gamma a_\gamma}{I_\gamma^{\text{cal}} \lambda_\gamma g_\delta a_\delta} \right)} \quad (12)$$

Durch Einsetzen der Werte aus Tabelle 5 erhält man:

$$T_{\delta\gamma} = 1115 \text{ K} \quad (13)$$

6.3.2 Rotationsbande

Abbildung 15 zeigt die Rotationsbande bei 310 nm.

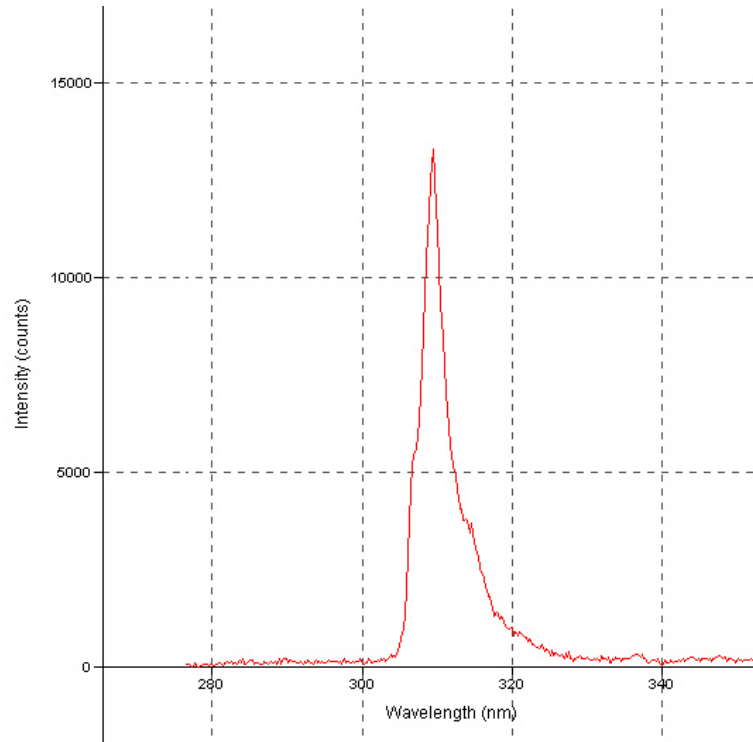


Abbildung 15: Rotationsbande im Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 1000 ms, Mittelung über drei Messungen.

Wenn die einzelnen Linien einer Bande, wie hier, nicht mehr aufgelöst werden können, kann man die Rotationstemperatur näherungsweise durch Vergleich mit simulierten Spektren bestimmen. Abbildung 16 zeigt ein solches simuliertes Spektrum aus [Laimer, 2014].

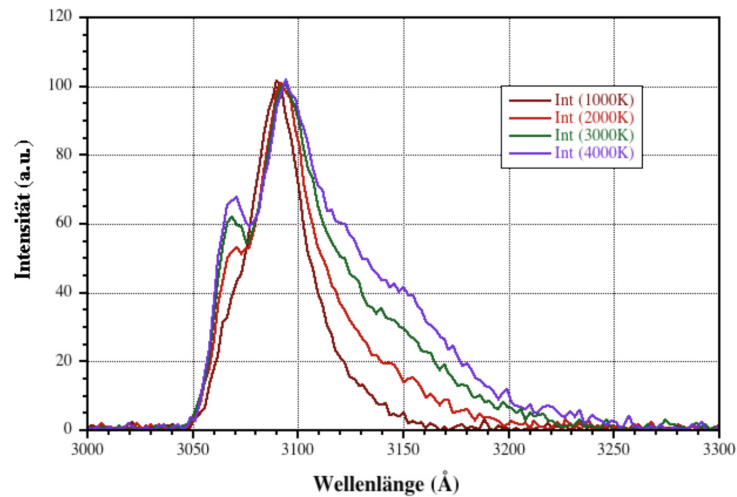


Abbildung 16: Simulierte Rotationsbande bei verschiedenen Temperaturen, (aus: [Laimer, 2014])

Vergleicht man Abbildung 15 und 16, so erkennt man, dass die Rotationstemperatur zwischen 1000 K und 2000 K liegt.

$$T_{rot} \approx 1500 \text{ K} \quad (14)$$

6.3.3 Interpretation

- Die ermittelten Wellenlängen der Balmer-Serie stimmen sehr gut mit den berechneten Werten überein
- Wie erwartet ist die Temperatur des α - β -Übergangs größer, als die des γ - δ -Übergangs.
- Der ermittelte Wert für die Rotationstemperatur ist methodenbedingt nur eine grobe Abschätzung.

7 Anhang

Verwendetes Equipment

[CHEM4-UV-FIBER]	Ocean Optics CHEM4-UV-FIBER Spektrometer-Set, bestehend aus einem Ocean View Spektrometer [USB4000], Quarzlichtleiter und Halterung für Absorptionsmessungen
[USB4000]	Ocean View Spektrometer USB4000 mit Spektralbereich 200 nm – 885 nm
[LASER]	He-Ne Laser 5mW $\lambda = 632,8$ nm
[PS1235]	Linos HeNe Laser Power Supply PS 1235
[451.151]	Leybold Quecksilber-Hochdrucklampe in Gehäuse
[451.195]	Leybold Betriebsgerät für HG Hochdrucklampe
[ISS-UV/VIS]	Ocean View D2-Wolframbandlampe ISS-UV/VIS
[451.41]	Leybold Balmer-Lampe, deuteriert
[451.141]	Leybold Betriebsgerät zur Balmer-Lampe
[SPECTRASUITE]	Ocean Optics Spectra Suite Software, installiert am [ESPRIMO] Mini-PC
[ESPRIMO]	Fujitsu ESPRIMO Q920 Barebone Mini-PC mit Windows XP

Tabellenverzeichnis

1	Daten der drei Hauptpeaks im Spektrum der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor.	4
2	Vergleich der gemessenen Wellenlängen der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor mit den Referenzwerten aus [Padleckas, 2009]	5
3	Gemessene Peaks im Spektrum einer Hg-Dampfampe im Vergleich zu den Literaturwerten (vgl. [Laimer, 2014])	10
4	Gemessene und berechnete Werte des K_{α} - und K_{β} -Peaks einer Wasserdampfampe	21
5	Gemessene und berechnete Werte des K_{β} - bis bis K_{ϵ} -Peaks einer Wasserdampfampe	22

Abbildungsverzeichnis

1	Spektrum der Leuchtstoffröhren-Deckenbeleuchtung im Labor. Peak 1 stammt von Terbium (Tb^{3+}), Peak 2 von Quecksilber (Hg) und Peak 3 von Europium in $Eu^{+3} : Y_2O_3$ (vgl. [Padleckas, 2009]). Mittelwertbildung über drei Messungen; Integrationszeit: 300 ms.	3
2	Referenz-Spektrum einer Leuchtstoffröhre, aus: [Padleckas, 2009], mit Anpassung durch die Autoren.	4
3	Spektrum eines HeNe-Lasers, gemessen durch einen PTFE-Streukörper. Mittelwertbildung über drei Messungen; Integrationszeit: 300 ms.	7

4	Spektrum einer Hg-Dampfampe. Mittelwertbildung über drei Messungen, Integrationszeit 40 ms.	9
5	Absolute Abweichung zwischen gemessener Wellenlänge und dem Literaturwert bei den Peaks im Spektrum einer Hg-Dampfampe.	10
6	Halbwertsbreite der Peaks im Spektrum einer Hg-Dampfampe.	11
7	Ungefiltertes Spektrum einer D2-Wolframbandlampe.	14
8	Spektrum einer D2-Wolframbandlampe nach Durchgang des Lichtstrahls durch einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke.	14
9	Spektrum einer D2-Wolframbandlampe nach Durchgang des Lichtstrahls durch einen Plexiglasblock mit 10 mm Dicke und zwei dünnen, roten Kunststofffolien.	15
10	Transmission eines 10 cm dicken Plexiglasblocks (blau) und eines 10 cm dicken Plexiglasblocks mit zusätzlich zwei roten Kunststofffolien (rot). . .	16
11	Absorption eines 10 cm dicken Plexiglasblocks (blau) und eines 10 cm dicken Plexiglasblocks mit zusätzlich zwei roten Kunststofffolien (rot). . .	16
12	Absorptionskoeffizient α eines Plexiglasblocks in Abhängigkeit von der Wellenlänge.	17
13	Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 60 ms, Mittelung über drei Messungen. Der K_ϵ -Peak ist mit diesen Messparametern nicht mehr erkennbar.	20
14	Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 500 ms, Mittelung über drei Messungen. Der K_α -Peak überschreitet mit diesen Messparametern die Messgrenzen.	21
15	Rotationsbande im Spektrum einer Wasserdampfampe. Integrationszeit: 1000 ms, Mittelung über drei Messungen.	23
16	Simulierte Rotationsbande bei verschiedenen Temperaturen, (aus: [Laimer, 2014])	24

Literatur

[Laimer, 2014] J. Laimer: Optische Spektroskopie, Unterlagen und Anleitung zur Laborübung. Platanleitung für die Laborübungen im Physikpraktikum, TU Wien. Wien, 2014.

[Padleckas, 2009] H Padleckas: Fluorescent lighting spectrum peaks labelled, Wikimedia 03/2009. Source: commons.wikimedia.org/wiki/File:Fluorescent_lighting_spectrum_peaks_labelled.png