

Rhodamin 6G Farbstofflaser (DLA)

Simon Breitler, *Studiengang Chemie, 5. Semester*, brsimon@student.ethz.ch

Matthias Geibel, *Studiengang Chemie, 5. Semester*, mgeibel@student.ethz.ch

Daniel A. Frick, *Studiengang Chemie, 5. Semester*, frickd@student.ethz.ch

Assistent: Evgueni Kleimenov

Gruppe 4

Zusammenfassung:

Mit Hilfe eines Stickstofflasers wurde der Laserfarbstoff Rhodamin 6G zur Emission gebracht. Neben dem Spektrum der Fluoreszenz wurden zusätzlich die Spektren verschiedener Resonatorkonfigurationen für die Laserstrahlung gemessen und jeweils die Bandbreite bestimmt. Die Messung der Bandbreite der Fluoreszenzstrahlung ergab 16.44 ± 0.12 nm, die Zerfallszeit des Signals betrug 145 ms. Für den Doppelspiegelresonator betrug die Bandbreite 8.2 ± 0.4 nm und die Zerfallszeit des Signals 150 ms. Für die Littman-Anordnung wurde eine Bandbreite von 1.23 ± 0.07 nm gemessen und für die Littrow Anordnung eine Bandbreite von 1.1 ± 0.12 nm (rot), 2.52 ± 0.16 nm (orange) und 2.1 ± 0.12 nm (grün). Anschließend wurde durch eine Kalibration bestimmt, dass ein Pixel des Detektors 0.0574 ± 0.0014 nm entspricht.

Zürich ZH, 21. November 2007

1. Einführung

Laser haben sich im Laufe der Zeit in der Spektroskopie zu einer universellen Lichtquelle entwickelt. So lassen sich zum Beispiel durch kurze Pulse verschiedene Energieniveaus von Molekülen studieren. Die Verwendung von Laserfarbstoffen hat den Vorteil, dass sie über ein sehr breites Emissionsspektrum verfügen und deshalb über einen grossen Wellenbereich abgestimmt werden können.

2. Theorie [1] [2]

Ein Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) besteht aus drei Hauptelementen: Einem aktiven Medium, einem optischen Resonator und einer externen Energiequelle. Die physikalische Grundlage beruht auf der optischen Absorption, der spontanen Emission und der stimulierten Emission.

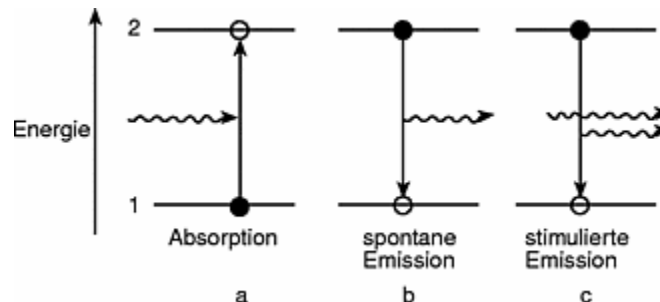
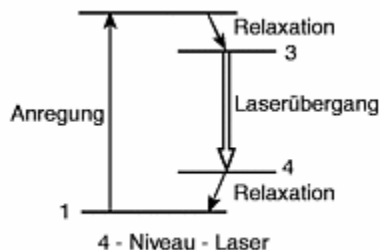


Abb. 1: Absorption u. Emission bei einem Zwei-Niveau-System. [1]

Die externe Energiequelle regt im aktiven Medium die Atome aus dem Grundzustand an, wodurch sich mehr Atome im angeregten Zustand als im Grundzustand befinden (Besetzungsinversion). Trifft nun bei Besetzungsinversion ein Photon mit der passenden Energie das Atom kommt es zur stimulierten Emission (Abb. 1). Das freiwerdende Photon stimmt mit der Phase, der Energie und der Ausbreitungsrichtung des Auslöserphotons überein, das heisst es kommt zu einem Verstärkereffekt, da ein Photon einläuft und zwei identische Photonen freigesetzt werden.

Der so entstehende Photonenstrahl kann vom Resonator immer wieder reflektiert und durch das aktive Medium geleitet werden, wodurch noch mehr Emission stimuliert wird. Der Photonenstrahl wird bei jedem Durchgang auf diese Weise verstärkt. Ein teilreflektierender Spiegel des Resonators lässt einen kleinen Prozentsatz des Strahles durch, wodurch der eigentliche Laserstrahl aus dem System ausgekoppelt wird.



Im durchgeführten Versuch wurde als Pumplaser ein N_2 Laser im UV-Bereich verwendet. Als aktives Medium diente der Farbstoff Rhodamin 6G. Der benutzte Farbstoff ist ein 4-Niveau Laser. Im Gegensatz zu einem 2 Niveau-System lässt sich hier die Besetzungsinversion durch Strahlung erreichen. Dafür muss der Übergang $2 \rightarrow 3$ (Relaxation, Abb. 2) sehr schnell sein und es reichert sich in Niveau 3 eine große Besetzung an.

Abb. 2: Übergänge bei einem Vier-Niveau-Laser. [1]

3. Experimentelles ^[2]

3.1 Benutze Chemikalien und Geräte

Pumplaser: Avco Everett Research Lab. N₂ Laser, 377 nm, Betrieb bei ca. 15 kV Spannung.

Spektrometer: Triax 320 von Jobin Yvon Spex, 3 Gitter (600, 1200, 2400 Linien/mm)

Oszilloskop: KIKUSUI Cor 5541u Kathodenstrahl Oszilloskop.

Photodiode: PIN-Diode

Aktives Medium: Rhodamin 6G in Methanol (Gesundheitsschädlich).

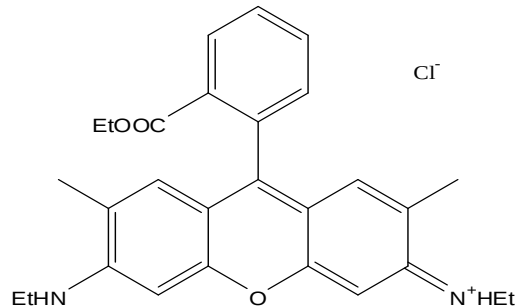
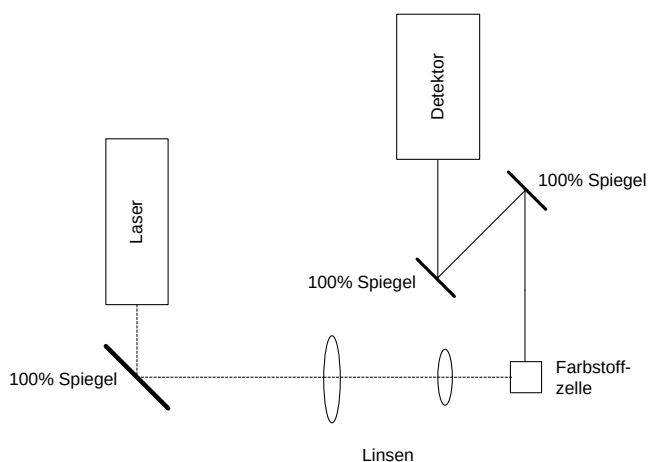


Abb. 3: Strukturformel von Rhodamin 6G.

3.2 Versuchsdurchführung

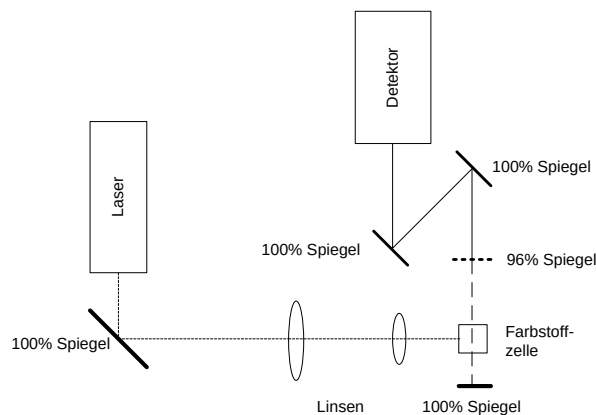
3.2.1 Fluoreszenz



Der Strahl des Pumplasers wurde mit Hilfe einer sphärischen und einer zylindrischen Linse auf das Rhodamin 6G in der Farbstoffzelle fokussiert (knapp hinter das Körvettenglas). Mit dem Spektrometer wurde das Spektrum der Fluoreszenz gemessen. Zusätzlich wurde die Zerfallszeit des Fluoreszenzsignals mit einer Photodiode und einem Oszilloskops gemessen. Die Spaltbreiten am Eingangs- und Ausgangsspalt des Spektrometers betrugen 0.5 mm, die Targetposition wurde auf 705 nm gesetzt.

Abb. 4: Schema des Aufbaus für Fluoreszenzmessung.

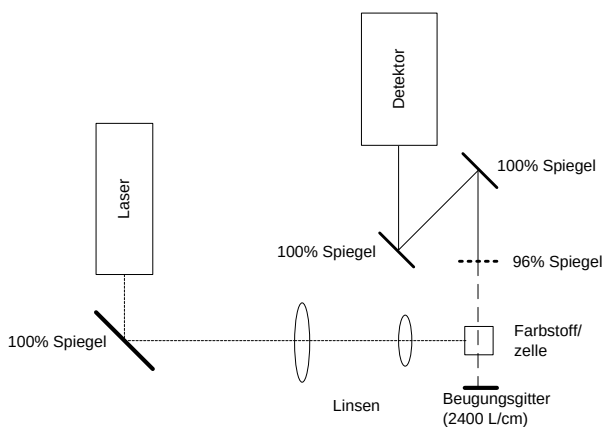
3.2.2 Doppelspiegel-Resonator



Zusätzlich zur Apparatur aus Abb. 4 wurde ein Resonator aus zwei Spiegeln aufgebaut, um die Fluoreszenzstrahlung zu verstärken. Die Spiegel wurden so justiert, dass die Signalintensität maximal wurde. Erneut wurde ein Spektrum aufgenommen und die Zerfallszeit gemessen. Die Geräteeinstellungen wurden beibehalten (siehe 3.2.1).

Abb. 5: Schema des Aufbaus für Doppelspiegel-Resonator.

3.2.3 Littrow-Anordnung



In diesem Teilversuch wurde statt eines Spiegels ein Gitter als frequenzselektiver Reflektor eingesetzt (2400 Linien/cm). Durch Veränderung der Gitterposition wurde die Laserintensität maximiert. Anschliessend wurden die Spektren für verschiedene Strahlfarben aufgenommen. Der Gitterwinkel wurde entsprechend der Strahlfarben rot, orange und gelb variiert. Der Eingangsspalt des Spektrometers wurde auf 0.3 mm und der Ausgangsspalt auf 0.1 mm gesetzt. Der Gain betrug 2.

Abb. 6: Schema des Aufbaus für Littrow-Anordnung.

3.2.4 Littman-Anordnung

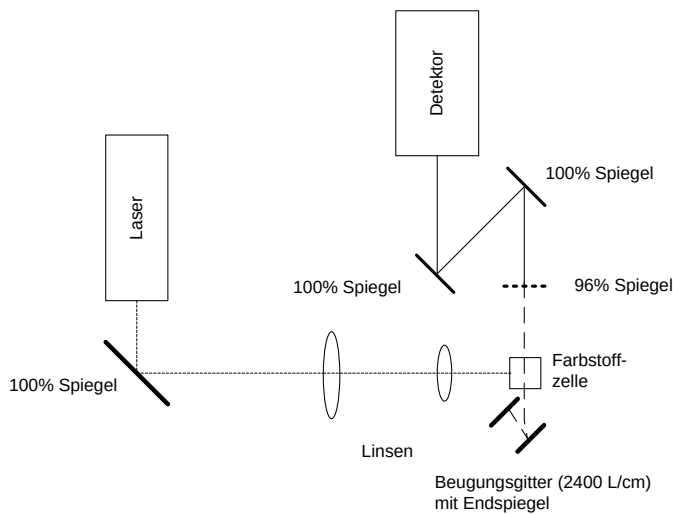


Abb. 7: Schema des Aufbaus für Littman-Anordnung.

Bei der Littrow-Anordnung wurde ein zusätzlicher Spiegel gegenüber dem Gitter angebracht. Das Gitter wurde so stark gedreht, bis der Strahl der Küvette die gesamte Oberfläche des Gitters bedeckte. Der Spiegel wurde so eingestellt, dass der Strahl 1. Ordnung wieder zurückreflektiert wurde. Unter verschiedenen Gitterwinkeln wurden mehrere Spektren aufgezeichnet. Der Eingangsspalt des Spektrometers wurde auf 0.5 mm und der Ausgangsspalt auf 0.1 mm gesetzt. Der Gain betrug 3, die Targetposition 705 nm.

3.2.5 Kalibration

Für die Kalibration wurden 3 Spektren bei verschiedenen Targetwellenlängen gemessen. Dabei wurde die Littman-Anordnung benutzt. Der Gain wurde Signalabhängig variiert. Die ersten beiden Messungen erfolgten mit einem Gain von 8, die dritte Messung erfolgte bei einem Gain von 4.

4. Analyse and Resultate

4.1 Fluoreszenz

Die bei einer Targetfrequenz von 705 nm bestimmte Bandbreite betrug 16.44 ± 0.12 nm. Mit dem Oszilloskop wurde eine Zerfallszeit von ca. 145 ms ermittelt.

4.2 Doppelspiegel-Resonator

Für den Doppelspiegel-Resonator ergab sich eine Bandbreite von 8.2 ± 0.4 nm. Die Zerfallszeit betrug ca. 150 ms.

4.3 Littrow-Anordnung

Für die gemessenen Farben des Strahls wurden folgende Bandbreiten bestimmt:

$$\Delta \lambda_{\text{Rot}} = 1.1 \pm 0.12 \text{ nm}$$

$$\Delta \lambda_{\text{Orange}} = 2.52 \pm 0.16 \text{ nm}$$

$$\Delta \lambda_{\text{Grün}} = 2.1 \pm 0.12 \text{ nm}$$

Der einstellbare Wellenlängenbereich beträgt ca. 30 nm.

4.4 Littman-Anordnung

Es wurde wiederum bei einer Targetfrequenz von 705 nm gemessen, dabei ergab sich eine Bandbreite von 1.23 ± 0.07 nm.

Methode	Bandbreite / cm^{-1}
Fluoreszenz	608327.6 ± 0.007
Doppelspiegel-Resonator	1213689 ± 0.05
Littrow-Anordnung	Rot: 9053789 ± 0.114 Orange: 3961043.14 ± 0.06 Grün: 4753258 ± 0.06
Littman-Anordnung	8013189.71 ± 0.06

Tab. 1: Gemessene Bandbreiten für verschiedene Anordnungen.

4.5 Kalibration

Für die Kalibration wurden drei gemessene Signale gegen ihre Targetfrequenz aufgetragen. Mit Hilfe einer linearen Regression wurde eine Kalibrationsgerade erstellt und das Pixel zu nm-Verhältnis ermittelt. Die ermittelte Gleichung der Kalibrationsgeraden lautet

$$y = -17.429(25) \times x + 9597(13) \quad (1)$$

Der daraus errechnete Wert für einen Pixel beträgt 0.0574 ± 0.0014 nm.

5. Diskussion

Bei der Durchführung der Experimente traten Schwierigkeiten bei der Justierung der Spiegel und Linsen auf. Zusätzlich war die Qualität des verwendeten Farbstoff Rhodamin 6G zu Beginn sehr schlecht, worauf der Farbstoff erneuert wurde. Auf Grund der schlechten Qualität und der Schwierigkeiten bei der Justierung konnten zum Teil nur sehr schwache Signale gemessen werden.

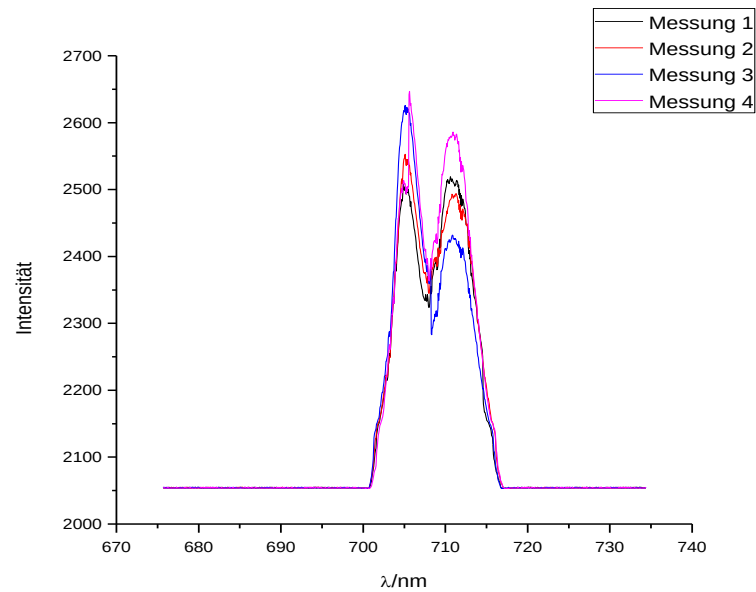
Trotz der schwachen Signale lässt sich ein klarer Trend in der Grösse der Bandbreite erkennen. Die Bandbreite der Fluoreszenzstrahlung war mit Abstand die Grösste. Für die gemessenen Laserstrahlen nahm die Bandbreite von dem Doppelspiegel-Resonator über die Littrow-Anordnung zur Littman-Anordnung ab. Um die Bandbreite noch weiter zu verringern wäre der Einsatz eines feineren Gitters notwendig. Bei der Messung mit der Littrow-Anordnung war ebenfalls zu erkennen, dass die Bandbreite mit der Zunahme der Wellenlänge des Lasers abnimmt. Verglichen mit der Bandbreite eines kommerziellen erhältlichen Farbstofflasers von weniger als 0.3 cm^{-1} [3] sind die ermittelten Bandbreiten relativ gut.

Bei der Littrow-Anordnung konnte die Arbeitswellenlänge durch Neigen des Spiegels in der Horizontalen von 700 nm bis 725 nm geändert werden. Die daraus geschätzte Tuning-Spanne von 30 nm ist kleiner als der tatsächliche Arbeitsbereich (siehe Anhang A6). Ein Grund dafür, dass nur ein kleiner Bereich genutzt wurde ist, dass die Signale nur sehr schwach und schwer zu beobachten waren.

Die erstellte Kalibrationsgerade zeigt wie erwartet einen linearen Zusammenhang zwischen Pixel und der Anzahl an Nanometern. Weil nur drei Messpunkte verwendet wurden und die Messpunkte auch immer mit einer Abweichung behaftet sind lässt sich von dem erhaltenen Wert nicht auf die absoluten Wellenlängen schliessen (siehe 6.5).

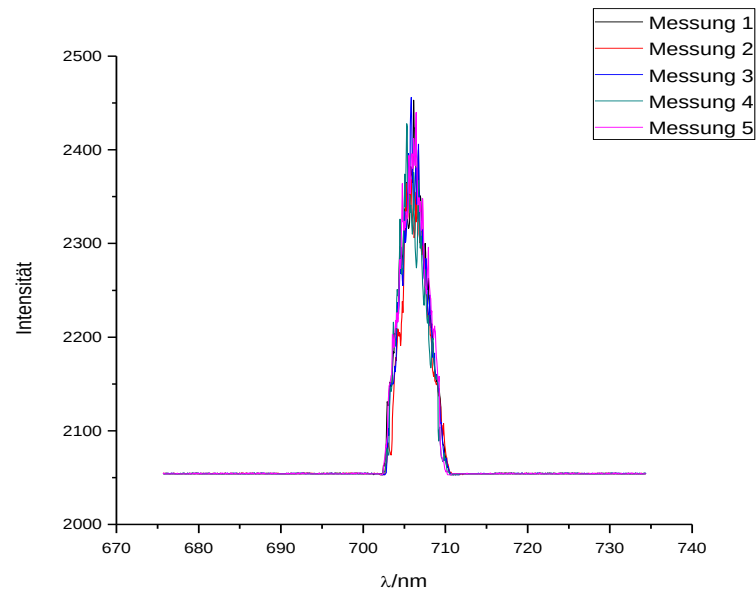
6. Anhang

6.1 Fluoreszenz



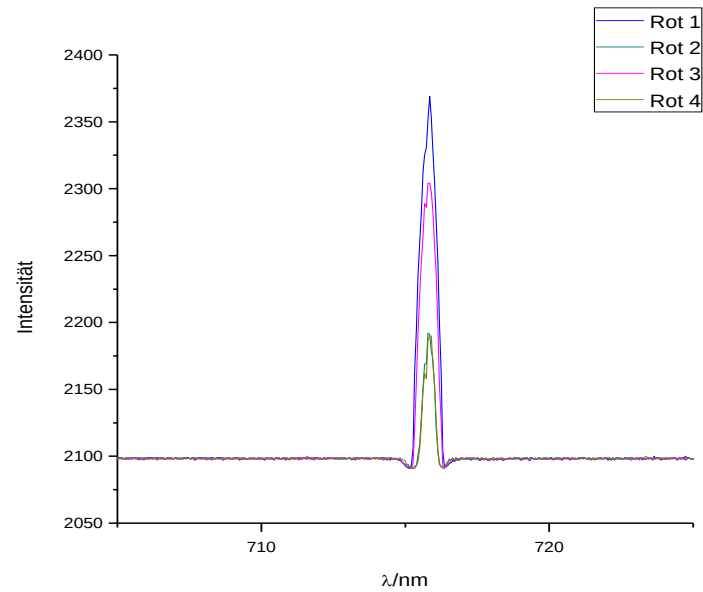
A1: Gemessene Spektren der Fluoreszenzstrahlung.

6.2 Doppelspiegel-Resonator

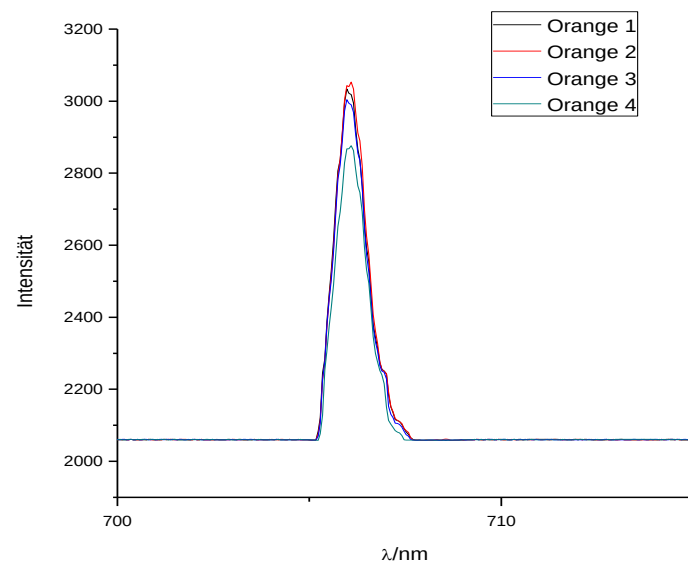


A2: Gemessene Spektren des Lasers für Doppelspiegel-Resonator.

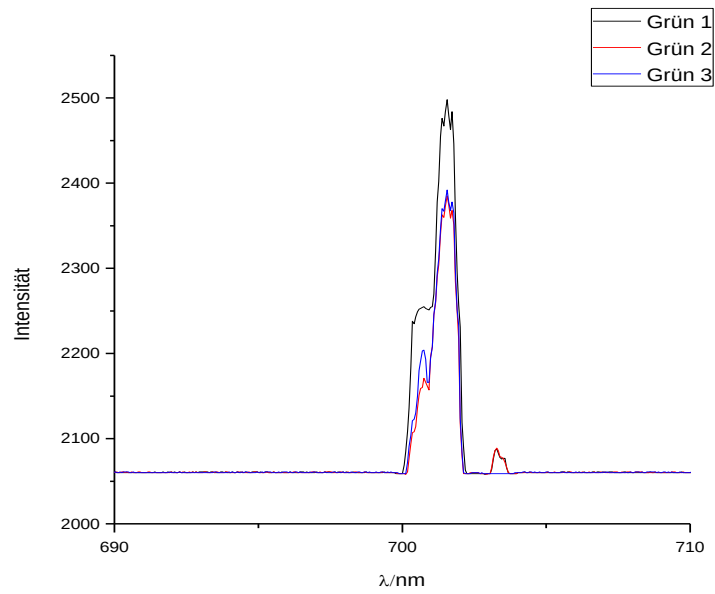
6.3 Littrow-Anordnung



A3: Gemessene Spektren der roten Laserstrahlung für Littrow-Anordnung.

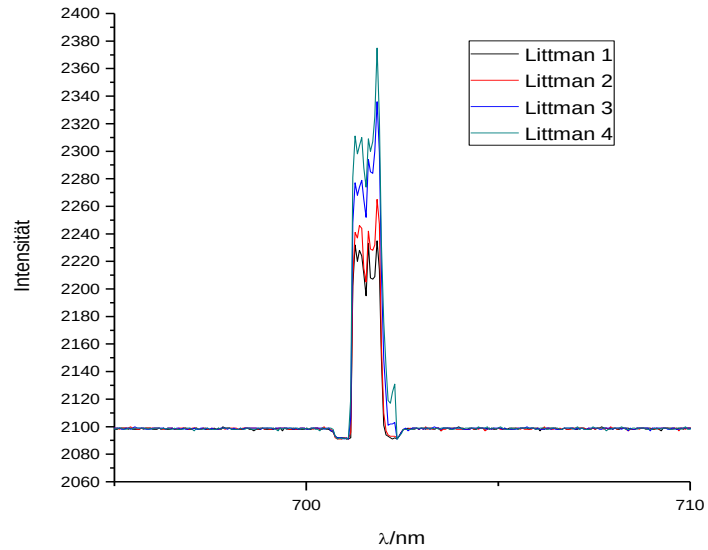


A4: Gemessene Spektren der orangen Laserstrahlung für Littrow-Anordnung.



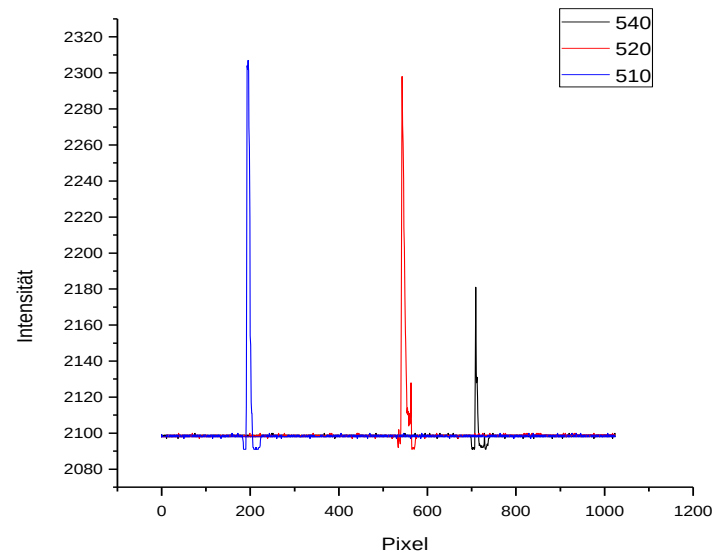
A5: Gemessene Spektren der grünen Laserstrahlung für Littrow-Anordnung.

6.4 Littman-Anordnung

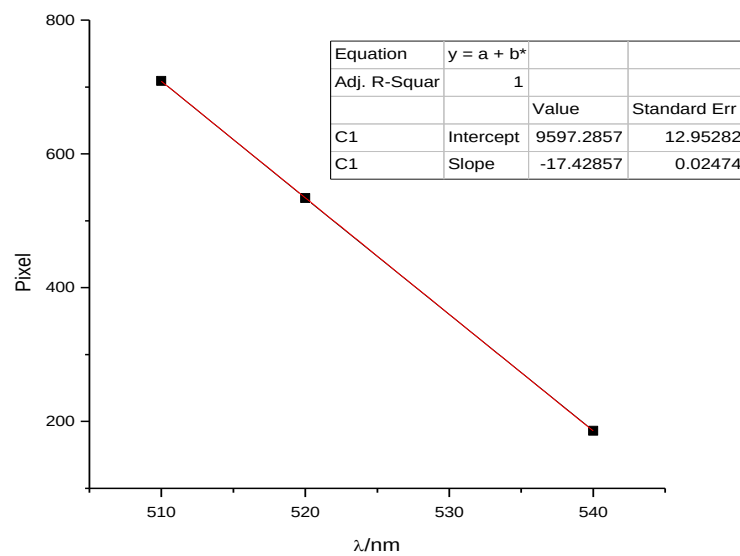


A6: Gemessene Spektren des Lasers für Littman-Anordnung.

6.5 Kalibration

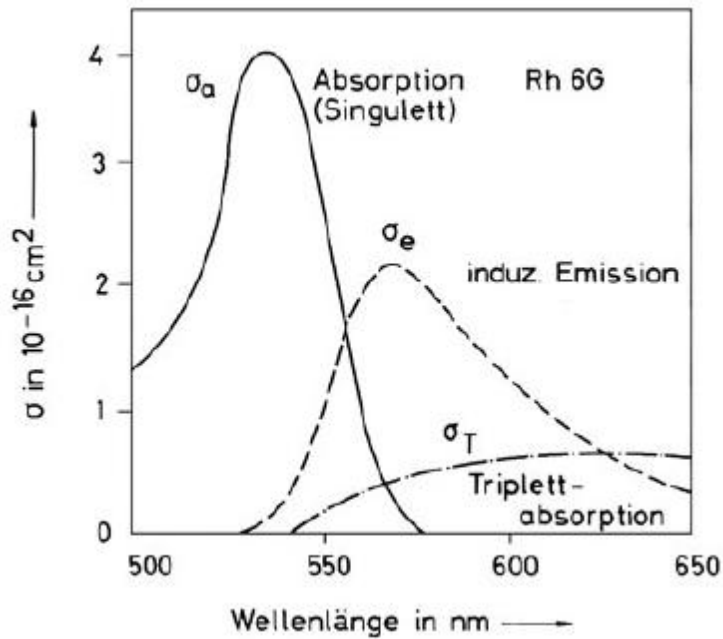


A7: Gemessene Spektren für Kalibration.



A8: Auftragung der Pixel gegen die Targetfrequenz, mit eingezeichneter Kalibrationsgeraden.

6.6 Rhodamin 6G



Ag: Wirkungsquerschnitte, Absorption und induzierte Emission von Rhodamin 6G in Abhängigkeit von der Wellenlänge. [3]

7. Literatur

- [1] www.roempp.com, 19.11.2007
- [2] Praktikum Spektroskopie, Versuchsanleitung Farbstofflaser, ETH Zürich, HS 2007
- [3] Laser: Bauformen, Strahlführung, Anwendungen; Springer Berlin Heidelberg, 2006