

Fortgeschrittenenpraktikum

V60 Der Diodenlaser

Felix Gläsemann
felix.glaesemann@tu-dortmund.de

Tobias Brützel
tobias.bruetzel@tu-dortmund.de

Durchführung: 09.05.2022

Abgabe: 12.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Stimulierte Emission	3
2.2 Diodenlaser	4
2.3 Einstellung des Diodenlasers	6
2.3.1 Medium	7
2.3.2 Internal Cavity	7
2.3.3 External Cavity	8
2.3.4 Grating Feedback	8
2.4 Modensprünge	8
3 Durchführung	9
3.1 Inbetriebnahme des Laser	9
3.2 Bestimmung der Absorptionswellenlänge	9
3.3 Bestimmung des Absorptionsspektrum	11
4 Auswertung	12
4.1 Überprüfung des Laserbetrieb	12
4.2 Bestimmung der Absorptionswellenlänge	13
4.3 Bestimmung des Absorptionsspektrum	13
5 Diskussion	14
Literatur	15

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll ein Diodenlaser kennen gelernt werden. Mithilfe dieses Laser wird eine Spektroskopie an Rubidium durchgeführt.

2 Theorie

Ein Laser (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) ist eine Apparatur, die in der Lage ist monochromatisches und kohärentes Licht mit hoher Intensität aus zu strahlen. Die drei wesentlichen Bauteile des Laser sind das sog. aktive Medium, die Pumpe sowie ein Resonator.

Im aktiven Medium entsteht die Laserstrahlung durch den Übergang von Elektronen in einen energetisch niederen Zustand unter Aussendung von Photonen. Die Pumpe liefert die Energie, die nötig ist um eine Besetzungsinversion im aktiven Medium aufrecht zu erhalten. Besetzungsinversion bedeutet, dass sich mehr Teilchen in einem energetisch ungünstigeren Zustand befinden als im energetisch günstigen. Das letzte Bauteil, der Resonator, besteht aus zwei Spiegeln an denen die Photonen immer wieder reflektiert werden und so weitere Emissionen stimulieren können. Die dadurch ausgelösten Photonen sind kohärent, besitzen also die selbe Polarisisation, Energie und Richtung.

2.1 Stimulierte Emission

Im Folgenden wird anhand eines 4-Niveau-Systems (siehe Abbildung (1)) das Prinzip der stimulierten Emission erläutert.

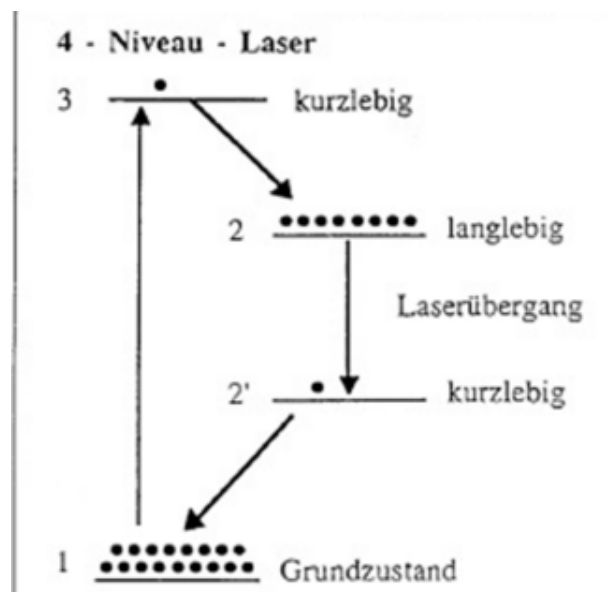


Abbildung 1: Beispiel für ein 4-Niveau-System [3, S. 6].

Dabei wird beispielsweise durch ein eingestrahktes Photon im Lasermedium ein Elektron mithilfe der Laserpumpe aus dem Grundzustand in einen angeregten, kurzlebigen Zustand versetzt und somit eine Besetzungsinversion erzeugt. Aus diesem Zustand fällt es schnell in einen langlebigen, stabilen und angeregten Zustand zurück. Dieser Zustand beschreibt das obere Laserniveau. Zwischen diesem oberen Laserniveau und dem unteren Laserniveau findet der Laserübergang statt. Die Energiedifferenz ΔE dieser beiden Niveaus legt die Energie des Laserlichts fest. Fällt nun ein Photon mit genau der Energie ΔE ein, kann das Elektron vom oberen Laserniveau ins untere Laserniveau übergehen und dabei wird ein weiteres Photon mit gleicher Phase, Energie und Richtung abgestrahlt. In Abbildung (2) ist dieser Vorgang schematisch dargestellt.

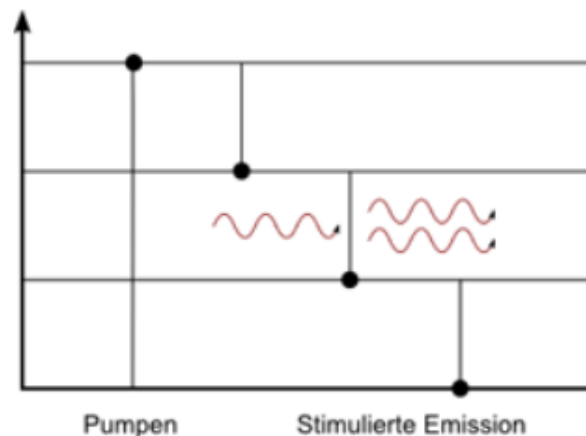


Abbildung 2: Schematische Darstellung von stimulierter Emission [4].

2.2 Diodenlaser

In diesem Versuch wird mit einem Galliumphosphid-Diodenlaser gearbeitet. Ein Diodenlaser besteht aus mindestens drei Schichten. Diese sind die n-Schicht, die aktive Schicht sowie die p-Schicht. In Abbildung (3) ist ein schematischer Laserchip dargestellt.

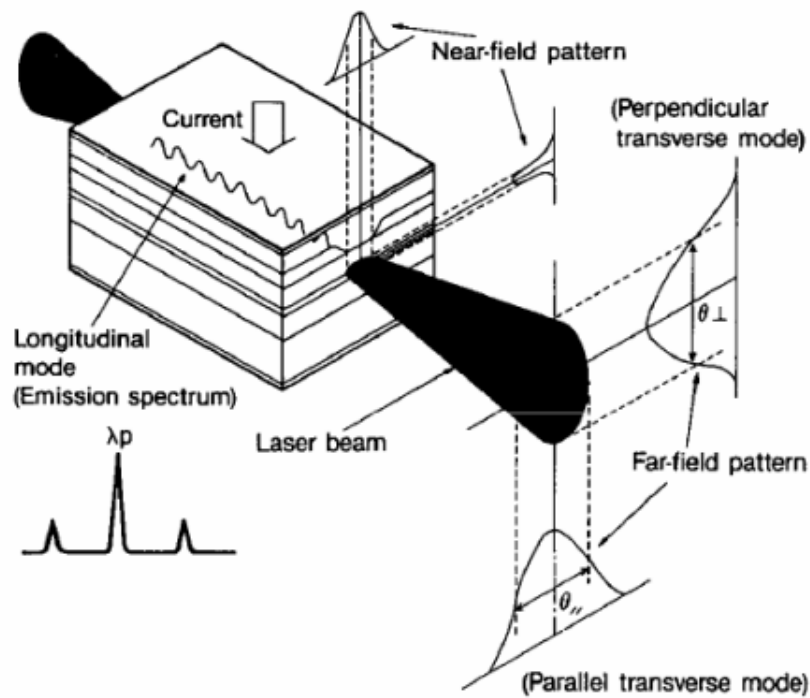


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Diodenlaserchip [2, S. 3].

Die n- sowie die p-Schicht sind jeweils dotiert, sodass sie negativ mit Elektronen oder positiv mit sog. Elektronenlöchern geladen sind. Sobald jetzt ein Strom durch die Diode fließt, diffundieren sowohl Elektronen als auch Löcher in die aktive Schicht. Durch die Rekombination dieser wird ein Photon emittiert, ein weiteres Photon kann dabei für stimulierte Emission sorgen. Dadurch, dass die Innenseiten der n-Schicht und der p-Schicht hochreflektiv sind, dienen diese als eine Art Kammer für die Photonen in der sich eine stehende Welle befindet. Die dabei emittierte Strahlung kann dann durch die Front der Diode diese verlassen, da die Rückseite beinahe ideal reflektiv ist wird dort kaum Intensität verloren.

Damit die Diode in den Laserbetrieb kommt, ist es nötig einen Schwellenstrom zu erreichen, da unter diesem die Diode wie eine LED funktioniert. Dies liegt daran, dass erst ab einem bestimmten Strom die Strahlung kohärent ist. Die dabei entstehende Strahlung ist divergent und im Gegensatz zu den atomaren Übergängen von einer großen Energiebandbreite. Damit dies nicht zum Problem für den Diodenlaser wird, benutzt man die in Abbildung (4) dargestellte Anordnung.

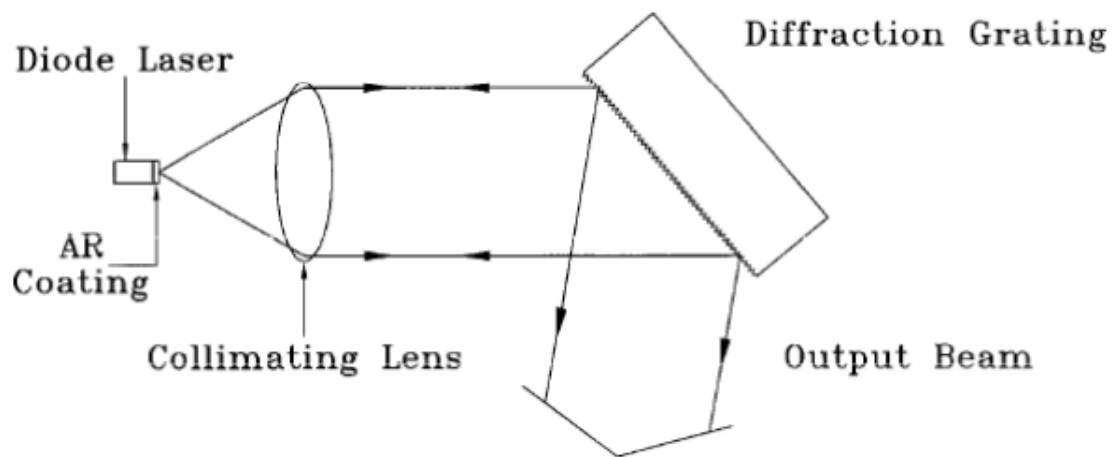


Abbildung 4: Beispiel für die verwendete Anordnung [2, S. 5].

Die Linse richtet die divergente Strahlung zu einem parallelen Strahl. Durch das optische Gitter wird ein kleiner Teil der emittierten Strahlung zurück in die Diode reflektiert. Das Gitter sorgt ebenfalls dafür, dass keine externe Strahlung in die Diode gelangt. Dieser externe Hohlraum, der dadurch entsteht, hilft dabei die Laserstrahlung zu stabilisieren. Dadurch ist es möglich, eine wesentlich kleinere Energiebandbreite, als die der atomaren Übergänge, zu erzeugen.

2.3 Einstellung des Diodenlasers

In diesem Abschnitt wird darauf eingegangen wie die Frequenz des Diodenlasers zustande kommt. Diese wird durch mehrere Faktoren beeinflusst und ist die mit der höchsten optischen Zunahme. In Abbildung (5) sind die verschiedenen Faktoren und deren Einflüsse in einer Grafik dargestellt.

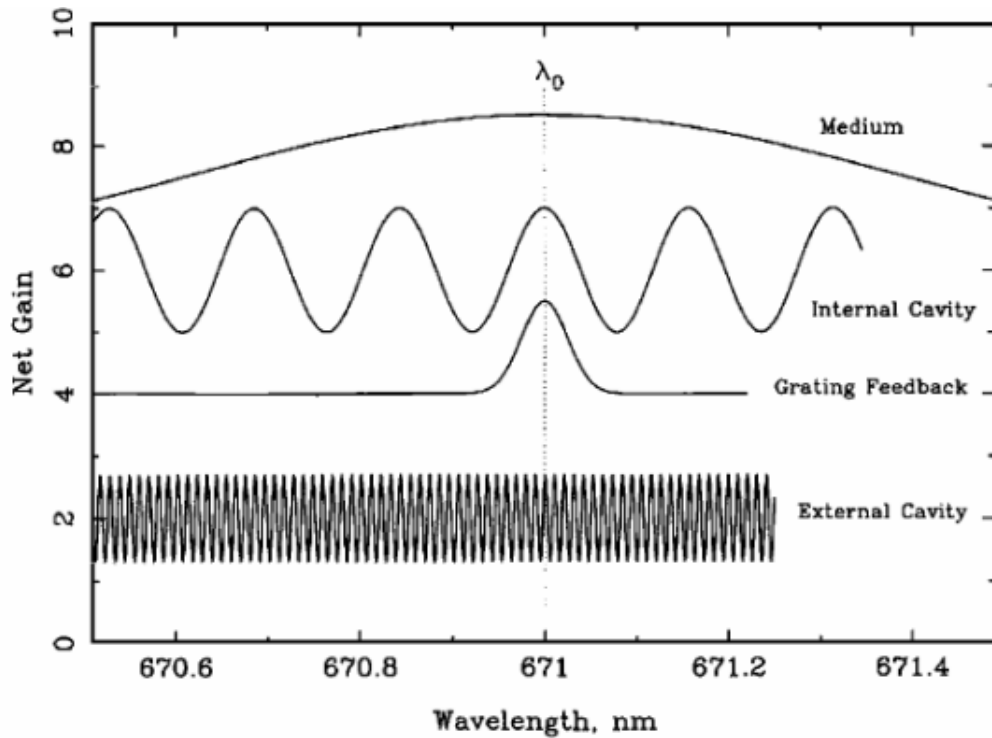


Abbildung 5: Einflüsse auf die optische Zunahme durch verschiedene Faktoren aufgetragen gegen die Wellenlänge [2, S. 6].

Im Folgenden werden die einzelnen Einflüsse weiter erläutert.

2.3.1 Medium

Das Material aus dem die Laserdiode besteht hat den größten Einfluss auf die Wellenlänge mit der der Laser strahlt. Dieser Faktor kann einzig durch Erwärmung oder Abkühlung des Materials leicht beeinflusst werden.

2.3.2 Internal Cavity

Die beiden Facetten des Kristalls haben eine unterschiedliche Reflektivität und bilden eine optische Kammer, die als Resonator fungiert. Die optische Zunahme, die durch diesen Resonator im Inneren des Kristalls entsteht, hängt von der Länge und vom induzierten Strom ab. Diese Zunahme ist periodisch, da in jeder optischen Kammer eine Normal-Mode-Struktur vorliegt. Durch den induzierten Strom entsteht Wärme, die die Länge des Kristalls verändert. Außerdem beeinflusst der Strom die Ladungskonzentration in der aktiven Schicht des Laser. Dadurch, dass sowohl die optische Zunahme von Material, als auch die des Resonator verschieden temperaturabhängig ist, kommt es zu sog. Modensprüngen zwischen den Maxima der optischen Zunahme durch den Resonator im Inneren des Kristalls. Auf diese wird später noch explizit eingegangen.

2.3.3 External Cavity

Im Gegensatz zum Resonator im inneren des Kristalls ist die externe Kammer, die aus dem optischen Gitter und der Rückseite der Laserdiode besteht, wesentlich größer. Daher ist wie in Abbildung (5) zu sehen, die Periodendauer wesentlich kürzer.

2.3.4 Grating Feedback

Das optische Gitter reflektiert nur eine geringe Bandweite an Frequenzen zurück in die Diode, daher hat dieser Faktor nur einen einzelnen Peak in Abbildung (5). Um den Peak zu verschieben, wird der Winkel mit dem die Strahlung auf das optische Gitter trifft verändert.

2.4 Modensprünge

In diesem Theorieteil wird auf die oben genannten Modensprünge eingegangen. Diese entstehen durch das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren auf die optische Zunahme. In Abbildung (6) sind diese dargestellt.

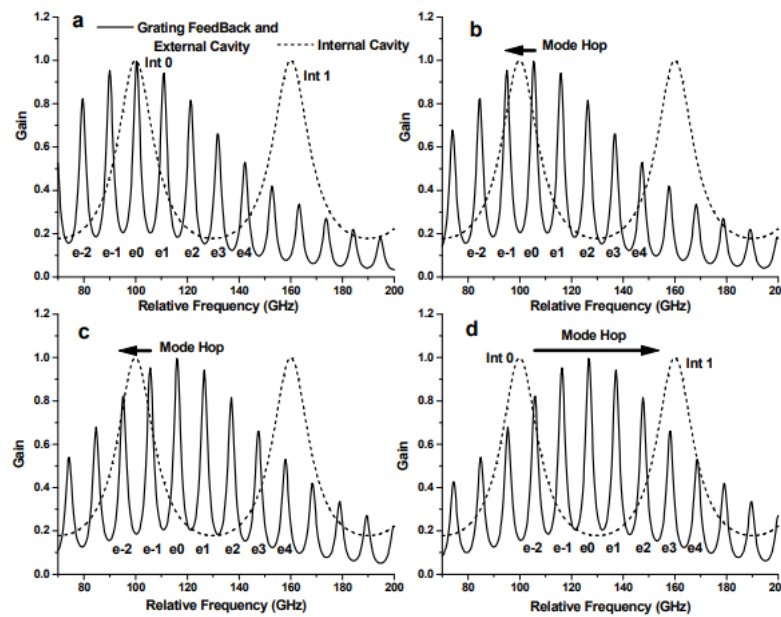


Abbildung 6: Darstellung von Modensprüngen, ausgelöst durch Änderung des Gitterwinkels [2, S. 10].

Dadurch, dass durch Änderung des Gitterwinkels sich die maximale Zunahme des Grating-Feedbacks ändert und gleichzeitig auch durch den Resonator, ist es möglich, dass die emittierte Wellenlänge von einem Maximum der externen Hohlkammer zum nächsten Maximum springt (siehe Teil b in Abbildung (6)). Weiterhin ist es ebenfalls möglich, dass

zu einem anderen Maximum des kristallinternen Resonator gesprungen wird (siehe Teil d in Abbildung (6)). Um diese Modensprünge zu verhindern wird der Resonator simultan mit Veränderung des Gitterwinkels sowie Veränderung des Stromes angepasst.

3 Durchführung

3.1 Inbetriebnahme des Laser

Zur Beginn des Versuches werden zunächst die Laserdiode, sowie die Absorptionszelle mit dem Rubidium und ein Detektor justiert. Außerdem wird eine Temperatur von $T = 50\text{ °C}$ am Laserkontrollgerät eingestellt und die Apparatur wird aufgeheizt. Da der Laserstrahl mit dem menschlichen Auge nicht zu sehen ist, muss zur Justage eine Infrarot Karte benutzt werden. Um sicherzustellen, dass der Laserstrahl die Absorptionszelle und den Detektor exakt trifft, wird mithilfe der IR-Karte der Laser sichtbar gemacht und per Kamera beobachtet. Der Aufbau ist in in Abbildung (7) dargestellt.

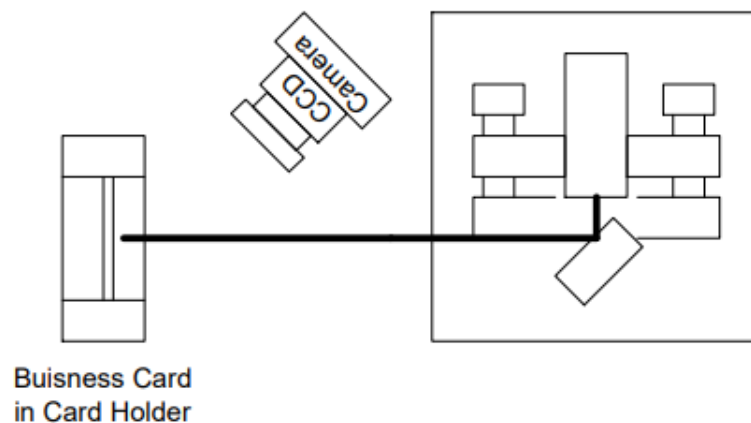


Abbildung 7: Sichtbar machen des Laser durch IR-Karte [1, S. 6].

Jetzt wird der Strom solange erhöht bis sogenannte Speckle auf der IR-Karte sichtbar werden. Sobald diese erscheinen ist der Schwellenstrom erreicht und die Diode arbeitet im Laserbetrieb.

3.2 Bestimmung der Absorptionswellenlänge

Der Laser ist nun justiert, die Kamera wird auf die Rubidiumzelle ausgerichtet. Anschließend wird das Licht gedimmt, um den Einfluss von Hintergrundlicht auf die Photodiode, die als Detektor dient, zu minimieren. Ebenfalls muss die Intensität des Laserstrahl durch Neutralfilter reduziert werden, da sonst ebenfalls die Photodiode gesättigt wäre. Das Laserkontrollgerät wird mit einem Oszilloskop verbunden. In Abbildung (8) ist die verwendete Verkabelung dargestellt.

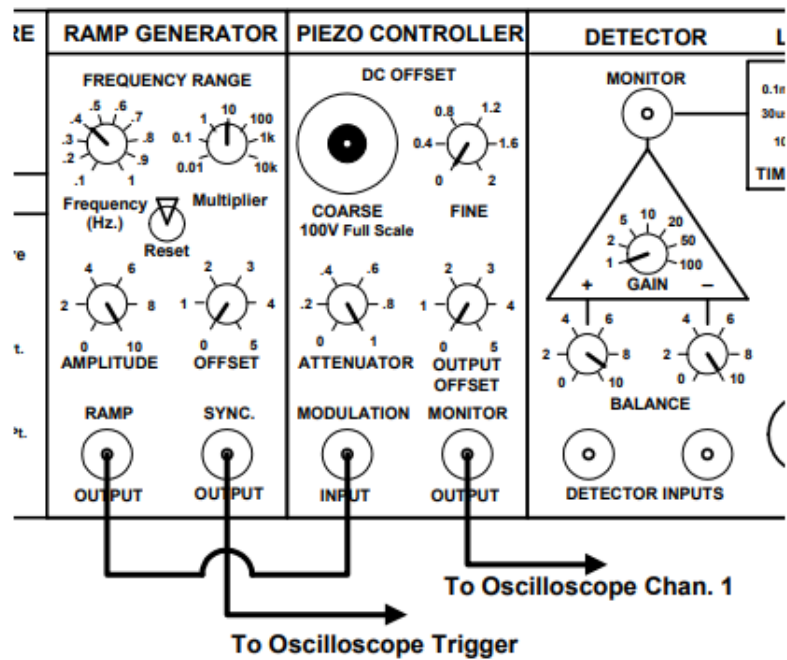


Abbildung 8: Verkabelung des Kontrollgeräts [1, S. 10].

Beim Ramp-Generator wird die Frequenz auf 10 Hz gestellt, sodass eine Dreieckswelle entsteht mit ausreichend großer Amplitude. Jetzt wird der Strom so justiert, dass die Rubidiumzelle Licht emittiert. Damit ist die richtige Frequenz gefunden und ein Foto der Rubidiumzelle wird aufgenommen. In Abbildung (9) ist der Experimentaufbau dafür schematisch dargestellt.

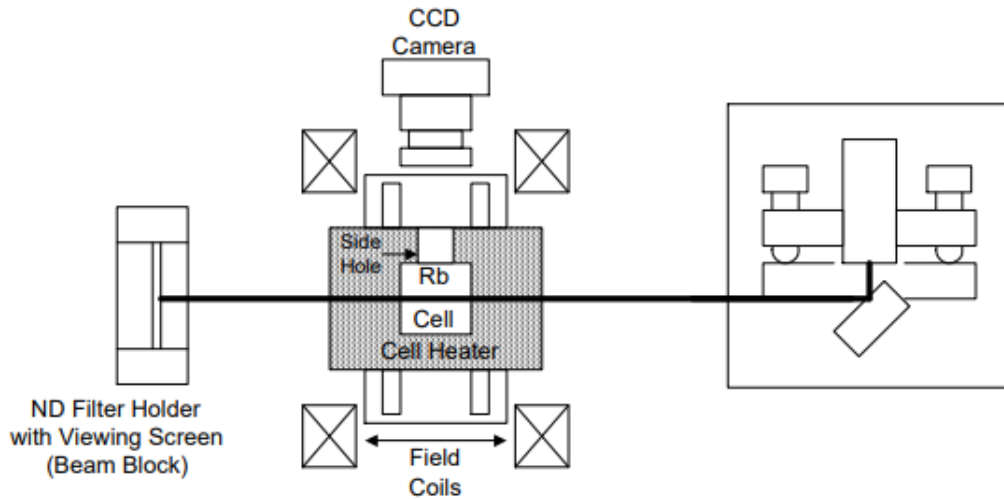


Abbildung 9: Aufbau zur Bestimmung der Absorptionswellenlänge [1, S. 9].

3.3 Bestimmung des Absorptionsspektrum

Um die Modensprünge zu eliminieren wird die Verkabelung wie in Abbildung (10) geändert.

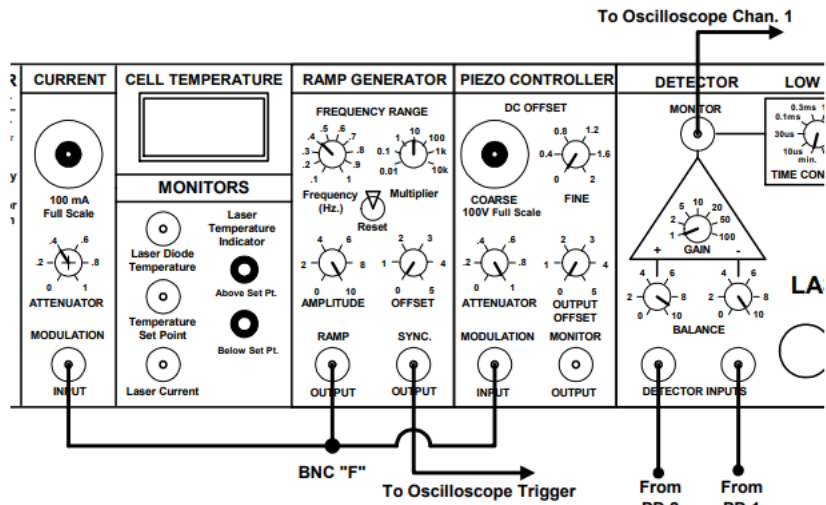


Abbildung 10: Verkabelung zur Bestimmung des Absorptionsspektrum [1, S. 16].

Ebenfalls wird eine zweite Photodiode hinzugefügt und ein 50/50 Strahlteiler wird vor die Rubidiumzelle gesetzt. Das Experiment sieht jetzt aus wie in Abbildung (11).

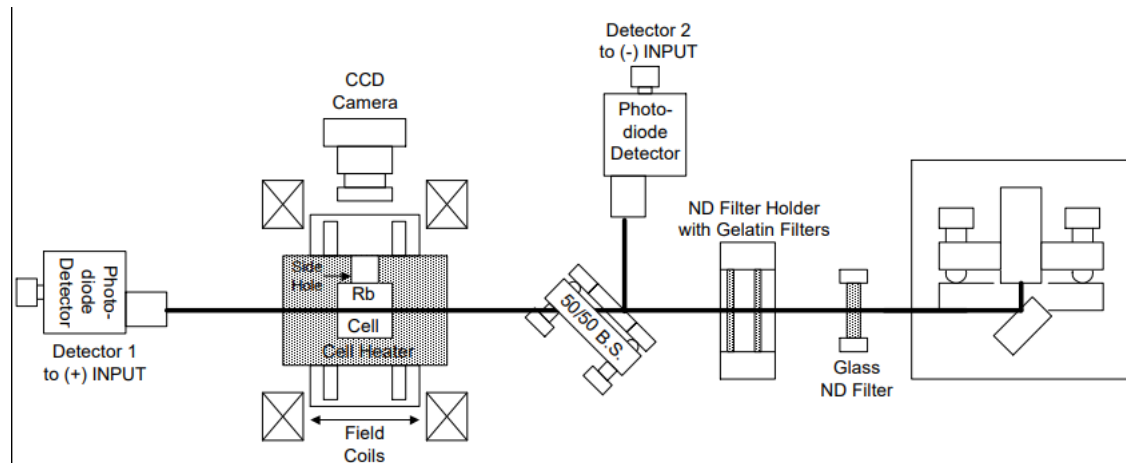


Abbildung 11: Aufbau zur Bestimmung des Absorptionsspektrum [1, S. 16].

Als letztes wird nun solange mit den verschiedenen Reglern am Laserkontrollgerät nachjustiert, bis das Absorptionsspektrum vernünftig zu sehen ist und ein Foto aufgenommen werden kann.

4 Auswertung

4.1 Überprüfung des Laserbetrieb

In den Abbildungen (12) und (13) sind die beiden aufgenommenen Bilder zu sehen, die Speckle sind deutlich sichtbar. Der Schwellenstrom beträgt in etwa $I = 40 \text{ mA}$

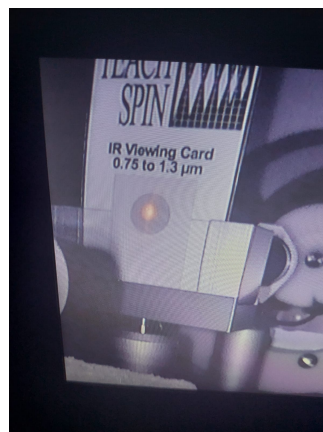


Abbildung 12: Laserdiode im LED-Betrieb.

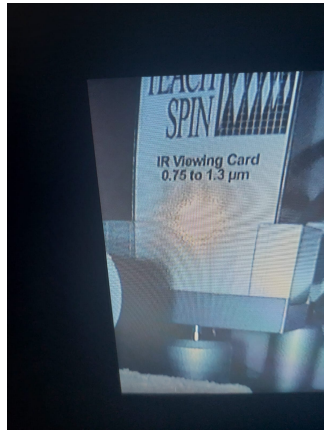


Abbildung 13: Laserdiode im Laserbetrieb.

4.2 Bestimmung der Absorptionswellenlänge

In Abbildung (14) ist das aufgenommene Bild zur Bestimmung der Absorptionswellenlänge zu sehen.

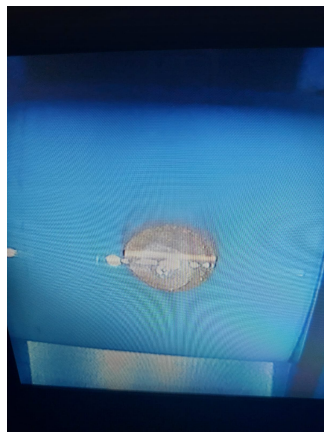


Abbildung 14: Bild der Rubidiumzelle.

4.3 Bestimmung des Absorptionsspektrum

In Abbildung (15) ist das aufgenommene Absorptionsspektrum zu sehen.



Abbildung 15: Absorptionsspektrum des Rubidium.

5 Diskussion

Der Diodenlaser konnte fachgemäß in Betrieb genommen werden, wie die Ergebnisse aus den Abschnitten (4.1) und (4.2) beweisen. Die erwarteten Effekte, also Specklebildung ab Schwellenstrom und die Fluoreszenz des Rubidium sind beide eingetroffen. Das Bild des Absorptionsspektrum aus der Abbildung (15) stimmt mit dem aus der Theorie erwarteten Ergebnis (siehe Abbildung (16)) überein.

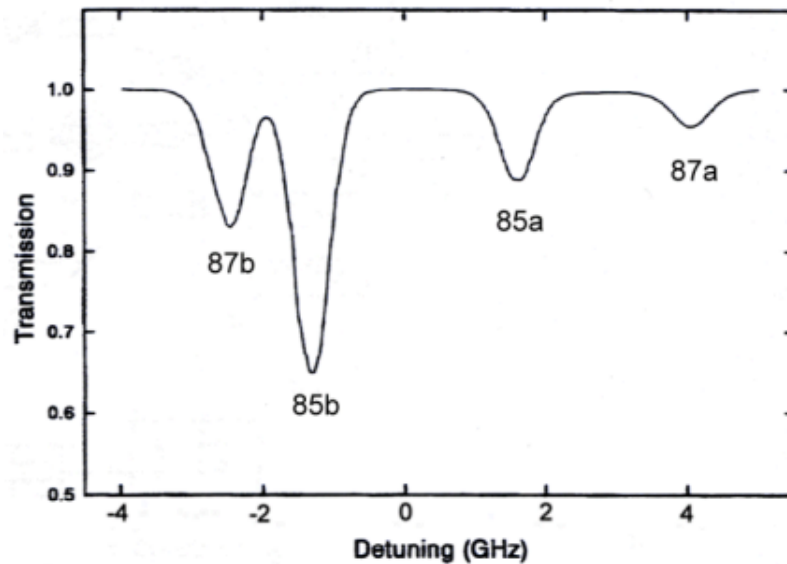


Abbildung 16: Erwartetes Absorptionsspektrum [1, S. 13].

Die Linien aus Abbildung (15) können demnach von links nach rechts den Übergängen 87b, 85b, 85a, 87a zugeordnet werden können. Das Experiment ist gelungen und alle aufgestellten Vermutungen konnten gezeigt werden.

Literatur

- [1] TU-Dortmund. *Diode Laser Spectroscopy*. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1929926/mod_folder/content/0/Experiment.pdf?forcedownload=1 (besucht am 12.05.2022).
- [2] TU Dortmund. *Diode Laser Physics*. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1929926/mod_folder/content/0/DLS_Laserphysik.pdf?forcedownload=1 (besucht am 12.05.2022).
- [3] Kai Reinhold. *Laserbildsysteme*. URL: https://www.fh-muenster.de/ciw/downloads/personal/juestel/juestel/Laser-Bildsysteme_Kai_Reinhold_.pdf (besucht am 12.05.2022).
- [4] Universität Wien. *Grundlagen Laser*. URL: https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/mikroskop/licht/4a_laser_prinzip.htm (besucht am 12.05.2022).