

Gruppe Nr. 129

Kurs: **Mo1** ~~**Mo2**~~ **Mi3**  
zutreffendes bitte ankreuzen

WS 24/25

aktuelles Semester angeben

Versuch: Laserresonator

Namen: Tin Vrkic (2459981) (uyvpq@student.kit.edu)

Mika Nock (2484864) (uttzi@student.kit.edu)

Assistent: Jonathan Kaplan (Betreuer)

durchgeführt am: \_\_\_\_\_

Protokollabgabe am: \_\_\_\_\_

vom Betreuer auszufüllen

Note gesamt

Anerkannt: \_\_\_\_\_  
(Datum Unterschrift)

Datum Rückgabe: \_\_\_\_\_

Bemerkung:

# Laserresonator

Tin Vrkic, Mika Nock

20. Januar 2025

## **Zusammenfassung**

Im Versuch „Laserresonator“ soll mithilfe mehrerer Spiegel, zweier Laser und anderen optischen Komponenten ein dritter Laser aufgebaut und untersucht werden. Unter anderem werden verschiedene Moden des Resonators und das Spektrum des erzeugten Lasers betrachtet. Außerdem wird ein Teil der Arbeit in einem optischem Labor gelernt und der Umgang mit gefährlichem Equipment geübt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbereitung</b>	<b>4</b>
1.1	Laser . . . . .	4
1.2	Optische Komponenten . . . . .	5
1.3	weitere Begriffserklärungen . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
2.1	Justierung der Apparatur . . . . .	7
2.2	Fluoreszenz des Ti:Saph-Kristalles . . . . .	8
2.3	Die Spektren . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Literatur</b>	<b>10</b>

# 1 Vorbereitung

## 1.1 Laser

Bei einem Laser handelt es sich um ein Gerät, das der Erzeugung von Photonen bestimmter Eigenschaften dient. Ermöglicht wird das durch die stimulierte Emission von Licht in einem sogenannten Laseraktiven Medium und verschiedener anderer Komponenten, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird. Eine Schemazeichnung des vollständigen Lasers ist in Abb. 1 zu sehen.

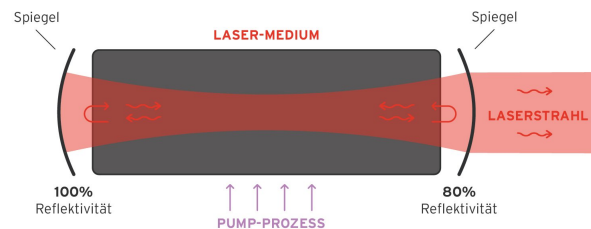


Abbildung 1: Aufbau des Lasers mit den beschriebenen Komponenten. [1]

**Aktives Medium:** Das aktive Medium bildet eine der Hauptkomponenten des Lasers. Es besitzt mehrere Energieniveaus, zwischen denen durch Aufnahme bzw. Abgabe eines Photons gewechselt werden kann. Die oben schon erwähnte stimulierte Emission findet nun statt, falls ein Photon der richtigen Frequenz auf ein Elektron in einem angeregten Zustand trifft. Beim Übergang in ein tieferes Energieniveau wird nun ein Photon gleicher Frequenz, Ausbreitungsrichtung und Phase freigesetzt. Diese sind nun ebenfalls in der Lage weitere Emissionen hervorzurufen.

**Besetzungsinversion:** Die freigesetzten Photonen besitzen (logischerweise) die richtige Frequenz um durch Absorption Elektronen anzuregen. Um trotzdem einen Lichtstrahl zu erhalten müssen sich somit mehr Elektronen im angeregten Zustand befinden, als im Grundzustand sind. Da dies im natürlichen Zustand eines Mediums nicht der Fall ist, wird diese Art der Besetzung „Besetzungsinversion“ genannt.

**Optisches Pumpen (3-Niveau-System):** Um eine Besetzungsinversion zu erzeugen wird mithilfe einer optischen Pumpe Energie von außen zugeführt. Die genaue Funktion wird im weiteren anhand des 3-Niveau-Systems, des He-Ne-Lasers erklärt.

Durch eine Entladung wird das Helium, das über zwei Energieniveaus verfügt, in einen angeregten Zustand versetzt. Durch Stöße mit den Ne-Atomen, in denen drei Niveaus existieren, werden diese in den energiereichsten Zustand versetzt. Nun findet die stimulierte Emission statt, die zu einem Übergang in das mittlere Energieniveau führt. Von diesem aus

fällt das Neon durch spontane Emission wieder in seinen Grundzustand und der Prozess kann von vorne beginnen. Das 1. angeregte Niveau wird also geleert, wodurch die Besetzungsinversion leichter aufrecht erhalten werden kann.

Hier dient die Gasentladung als optische Pumpe und das Helium als Pumpmedium. Die minimal benötigte Pumpleistung bezeichnet man als Laserschwelle

**Laserresonator:** Bei der letzten Komponente des Lasers handelt es sich um den sogenannten Resonator. durch diesen wird das erzeugte Licht wieder in das aktive Medium gelenkt und führt so zu mehr stimulierter Emission. Um nun einen auslaufenden Strahl zu erhalten, ist einer der beiden äußeren Spiegel nicht vollständig reflektierend. Aus diesem tritt nun der von außen sichtbare Laserstrahl auf.

## 1.2 Optische Komponenten

**Dielektrischer Spiegel:** Bei einem dielektrischen Spiegel handelt es sich um ein Bauteil, das für eine bestimmte Wellenlänge stark reflektieren wirkt, während andere ungehindert passieren können.

Zum Aufbau werden zwei Medien, verschiedenen optischer Dichten übereinander geschichtet, wie in Abb. 2 gezeigt. Jede Schicht hat hierbei eine optische Weglänge von  $\frac{\lambda_0}{2}$ . Fällt nun eine Lichtwelle auf die erste Schicht, so wird ein Teil reflektiert und erfährt hierbei eine Phasenverschiebung von  $\pi$ . Der transmittierte Teil wird an der nächsten Schicht ebenfalls wieder teilweise reflektiert und transmittiert. Der reflektierte Teil erfährt diesmal keinen Phasensprung und interferiert aufgrund der Schichtdicke konstruktiv mit dem Anteil, der bereits an der ersten Schicht reflektiert wurde. Somit wird insgesamt die Wellenlänge  $\lambda_0$  reflektiert und die Komplementärfarbe transmittiert. Es handelt sich also um eine selektive Komponente. [2]

**Glasfaser:** Eine Glasfaser ist ein Lichtwellenleiter, der aus einem inneren Zylinder (Core) und einem äußerem Zylinder (Cladding) besteht. Da das Cladding optisch weniger dicht ist, findet unter entsprechenden Winkeln Totalreflexion statt und eine Lichtwelle wird innerhalb des Cores gehalten, sofern die Faser nicht zu sehr verbogen wird. [3]

**Spektrometer:** Ein Spektrometer nutzt das unterschiedliche Verhalten von Licht verschiedener Wellenlängen um einen einfallenden Strahl auf seine Farbbestandteile zu untersuchen.

## 1.3 weitere Begriffserklärungen

**Brewsterwinkel:** Grundsätzlich lässt sich jede Polarisierung von Licht als Superposition zweier senkrechter und ebenfalls linearer Polarisierungen beschreiben. Fällt nun ein Lichtstrahl auf eine Grenzschicht gibt es einen reflektierten und einen transmittierten Strahl. Diese spannen eine Ebene

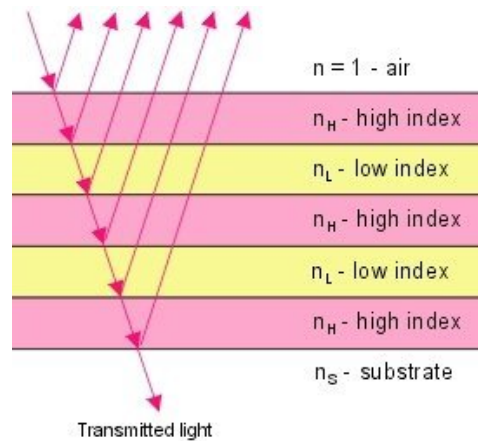


Abbildung 2: Schemazeichnung eines dielektrischen Spiegels. [6]

auf, in deren Bezug wir senkrechte und parallele Polarisierung definieren können.

Beim Brewsterwinkel handelt es sich um den Einfallswinkel, unter dem die parallele Polarisierung im reflektierten Strahl verschwindet.

**Frequenzverdopplung:** Bei der Frequenzverdopplung handelt es sich um ein Phänomen, das auftritt, wenn Licht mit der richtigen Frequenz und hoher Intensität in ein optisch nichtlineares Material eintritt.

Fällt Licht von außen auf einen Kristall ein, so erfahren die einzelnen Kristallmoleküle eine Kraft, die einen Dipol induziert. Diese Dipole strahlen wiederum selbst Wellen ab. Lässt sich das Potenzial, in dem diese Dipolschwingungen stattfinden, nicht mehr durch eine Parabel nähern, spricht man von nichtlinearem Verhalten. In diesem Fall strahlen die Dipole nicht mehr mit der Eingangsfrequenz ab, sondern mit der doppelten bzw. der dreifachen. [4]

**Modelocking:** In einem Laserresonator bilden sich aufgrund der Geometrie verschiedene Moden aus. Ohne weiteres Zutun stehen diese angeregten Moden in keiner festen Phasenbeziehung zueinander. Durch eine Amplitudenmodulation in einer bestimmten Frequenz lässt sich das beheben, und es werden durch Überlagerung der Moden einzelne Laserpulse ausgesendet. [5]

## 2 Auswertung

### 2.1 Justierung der Apparatur

Zur Justierung der Apparatur sollten zwei Spiegel mithilfe zweier Blenden in die korrekte Neigung gebracht werden. Hierfür wurden folgende Schritte am in Abb. 3 gezeigten Aufbau durchgeführt.

1. B2 wird geschlossen und S2 geneigt, bis der Lichtpunkt auf den Mittelpunkt der Blende trifft.
2. B2 wird geöffnet, B1 geschlossen und S1 so geneigt, dass der Lichtpunkt ebenfalls auf den Mittelpunkt dieser Blende trifft.
3. Da sich der Lichtpunkt durch Schritt 2 wieder im Bezug auf B2 verschiebt, müssen Schritt 1 und Schritt 2 immer wieder abwechselnd durchgeführt werden, bis keine Veränderung mehr eintritt.

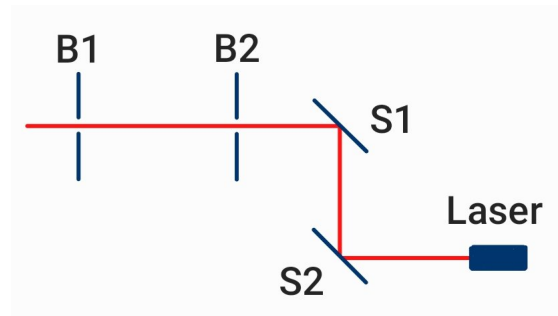


Abbildung 3: Zu justierender Aufbau.

Nachdem die Justierung mit dem HeNe-Laser durchgeführt wurde, wird der Nd:YAG angeschaltet und dieselbe Justierung mit anderen Spiegeln durchgeführt. Die Übung durch den HeNe-Laser war nötig, da der Blick auf den Lichtpunkt an der Blende sich als unangenehm erwies.

Um nun möglichst viel Leistung des Pumpasers in den Kristall zu konzentrieren, müssen zwei der vom Kristall reflektierten Strahlen zurück in diesen gelenkt werden. Hierfür wird eine Papierkarte mit Loch verwendet. Der vom Kristall ausgehende Strahl soll durch das Loch fallen und an einem dahinter stehenden Spiegel reflektiert werden. Es ist durch diese Reflektion ein zweiter Lichtpunkt zu sehen, der durch Neigung des Spiegels ebenfalls in das Loch fallen soll, sodass die beiden Strahlen überlappen.

## 2.2 Fluoreszenz des Ti:Saph-Kristalles

Nach erfolgter Justierung wird die Leistung des Nd:YAG erhöht, wobei spezielle Schutzbrillen gegen das Laserlicht nötig sind. Der Kristall beginnt sehr hell zu fluoreszieren. Diese Fluoreszenz soll durch einen Z-förmigen Resonator durch nach den, in der Vorbereitung beschriebenen Funktionsweisen, zum Lasern gebracht werden. In Abb. 4 sind der Fluoreszierende Kristall im Resonator und der eingekoppelte Pumplaser zu sehen.



Abbildung 4: Fluoreszierender Kristall (rot) und Pumplaser (grün).

Nun sollten die äußeren Spiegel des Resonators so eingestellt werden, dass der reflektierte Strahl wieder in den Kristall gelenkt wird. Der Laser hätte so mit stimulierter Emission begonnen und der Laserprozess wäre gestartet worden. Das hat im vorliegenden Aufbau jedoch nicht funktioniert.

Wie schon im Vorhinein durch den Tutor vermutet war es nicht möglich den sehr alten Kristall zum Lasern zu bringen. Einen falsch eingestellten Resonator können wir weitestgehend ausschließen, da dieser ebenfalls nochmal vom Tutor überprüft wurde. Es ist zu vermuten, dass es sich wirklich um ein Problem des Kristalles handelte.

## 2.3 Die Spektren

Mittels eines Spektrometers wurden nun die Spektren der beiden Laser und der Fluoreszenz des Ti:Saph gemessen werden. In Abb. 5 sind die Laserspektren und in Abb. 6 das Fluoreszenzspektrum gezeigt, wobei in letzterem noch der Peak des Nd:YAG zu sehen ist.



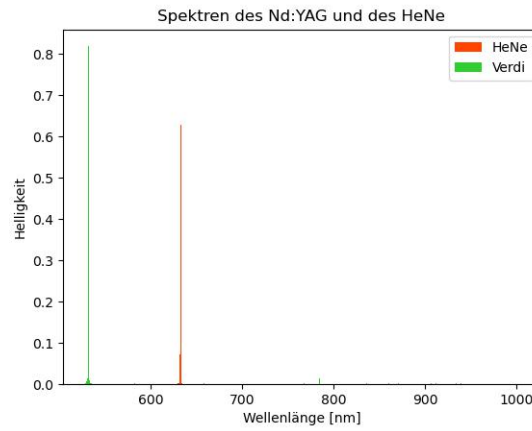


Abbildung 5: Spektrum des HeNe- und Nd:YAG-Lasers.

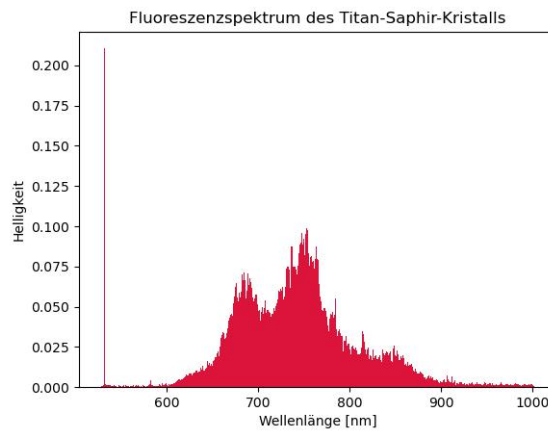


Abbildung 6: Spektrum des Ti:Saph.

### 3 Literatur

#### Literatur

- [1] <https://www.bbw-lasertechnik.de/blog-article/die-theorie-des-lasers/> (letzter Zugriff am 25.11.24)
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bragg-Spiegel> (letzter Zugriff am 25.11.24)
- [3] <https://de.wikipedia.org/wiki/Glasfaser> (letzter Zugriff am 25.11.24)
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Frequenzverdopplung> (letzter Zugriff am 26.11.24)
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Modenkopplung> (letzter Zugriff am 26.11.24)
- [6] [https://www.batop.de/information/r\\_Bragg.html](https://www.batop.de/information/r_Bragg.html)