

**Achtung! Laser der Klasse
3B!
Nicht in den Laserstrahl
blicken!
Schutzbrille tragen!**

V61 - He-Ne Laser

Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll die Funktionsweise eines He-Ne-Lasers kennengelernt werden. Dabei wird der Laser justiert und die Eigenschaften der Laserstrahlung vermessen (d.h. Wellenlänge, Intensitätsverteilung in der Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, Polarisation und Modenspektrum). Dabei wird auch der Einfluss der Resonatorlänge und Art der Spiegel auf stabile Funktion des Lasers überprüft.

Vorbereitung

Für die erfolgreiche Bearbeitung des Versuchs ist eine Einarbeitung in die elementaren Grundlagen des Lasers nötig. Diese können Sie in Referenz [1] in den Kapiteln 5.1, 5.2 und 5.3.1 (Seiten 159-180) finden. Spezifisch zum He-Ne-Laser Aufbau siehe Kapitel 4.1 der Referenz [2] (Seiten 68-72). Über die Polarisations-eigenschaften und Modenselektion können Sie sich in Kapitel 4.1.5. in Referenz [2] (Seite 72) einlesen sowie Kapitel 15.2.4 in Referenz [3] (Seiten 702-705). Nach Einarbeitung in die Literatur sollten Sie folgende Leitfragen beantworten können:

1. Komponenten: Was sind die drei grundlegenden Komponenten des Lasers? Was definiert die Wellenlänge eines Laser?
2. Aktives Medium: Diskutieren Sie die wichtigsten Prozesse in dem aktiven Medium (Absorption, Stimulierte Emission und Spontane Emission). Diskutieren Sie den Zusammenhang zwischen der Verstärkung des Lichtes und der Besetzungsinversion im aktiven Medium.
3. Pumpschemen: Warum ist ein Zwei-Niveau Laser nicht möglich? Welcher Übergang ist für die rote Linie des He-Ne-Lasers verantwortlich? Wie wird der Besetzungsinversion erreicht?
4. Optische Resonator und Stabilität des Resonators: Berechnen Sie den Stabilitätsparameter $g_1 \cdot g_2$ als Funktion der Resonatorlänge L für mindestens zwei Resonatoren und stellen Sie das Ergebnis graphisch dar. Die verfügbaren Spiegelkonfigurationen finden Sie in der Tabelle 1. Welcher Resonatorabstand kann maximal erreicht werden?
5. Longitudinale und transversale Moden im Resonator: Beschreiben Sie den Intensitätsverlauf in der Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung für TEM_{00}

und TEM_{01} Moden. Erklären Sie den Begriff der “Modenblende”. Was ist der Unterschied zwischen longitudinalen und transversalen Moden?

6. Multimode- und Singlemode-Laserbetrieb: Beschreiben Sie die Verbreiterung des optischen Übergangs in Gas durch den Doppler Effekt. Wie groß ist die Verbreiterung für den Neonübergang? Beschreiben Sie das Modenspektrum (Frequenzspektrum) für den Laser mit typischen Resonatorlängen $L = 1.5 \text{ m}$. Wie funktioniert die Modenselektion mit Hilfe des Fabry-Perot Etalon?
7. Polarisation des Lasers: Der untersuchte Laser ist mit Brewster-Fenstern ausgestattet, die am Ende der Laserrohre befestigt sind. Welche Rolle spielen die Brewster-Fenster? Was ist die resultierende Polarisation des Lasers?

**Achtung! Laser der Klasse
3B!
Nicht in den Laserstrahl
blicken!
Schutzbrille tragen!**

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Auf einer optischen Schiene befindet sich ein Justierlaser ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $P_{\text{max}} = 1 \text{ mW}$) mit einer reduzierten Laserleistung von $P_{\text{grün}} = 0.2 \text{ mW}$ [1]. Für den Aufbau und die Justage des He-Ne-Lasers muss zuerst der Justierlasers ausgerichtet werden. Hierzu kann man je einen Schirm mit Fadenkreuz und Beugungsblende direkt hinter den Justierlaser und am Ende der optischen Bank positionieren. Befinden sich die Beugungsringe direkt im Fadenkreuz, so ist der grüne He-Ne-Laser auf die optische Achse justiert. Der eigentliche He-Ne-Laser besteht aus einem Laserrohr und zwei hochreflektierenden Spiegeln, die den Laserresonator bilden. Das Laserrohr (Länge $l = 408 \text{ mm}$ und Durchmesser $d_{\text{HeNe}} = 1.1 \text{ mm}$) ist mit einem He-Ne-Gasgemisch gefüllt und mit Elektroden versehen, sodass mittels Entladung eine Inversion stattfinden kann. An den Enden des Laserrohres befinden sich Brewster-Fenster, um eine definierte Polarisationsrichtung mit möglichst wenig Verlusten zu erreichen. Als Resonatorspiegel stehen Ihnen vier verschiedene Spiegel (Durchmesser $D_{\text{Spiegel}} = 12.7 \text{ mm}$) zur Verfügung mit denen Sie einen optischen Resonator aufbauen können.

Abbildung 1: He-Ne Laser Versuchsaufbau

1 Um die volle Leistung zu erhalten, müssen Sie den grünen Knopf auf dem Laser drücken. Die reduzierte Leistung ist allerdings für die Justage völlig ausreichend.

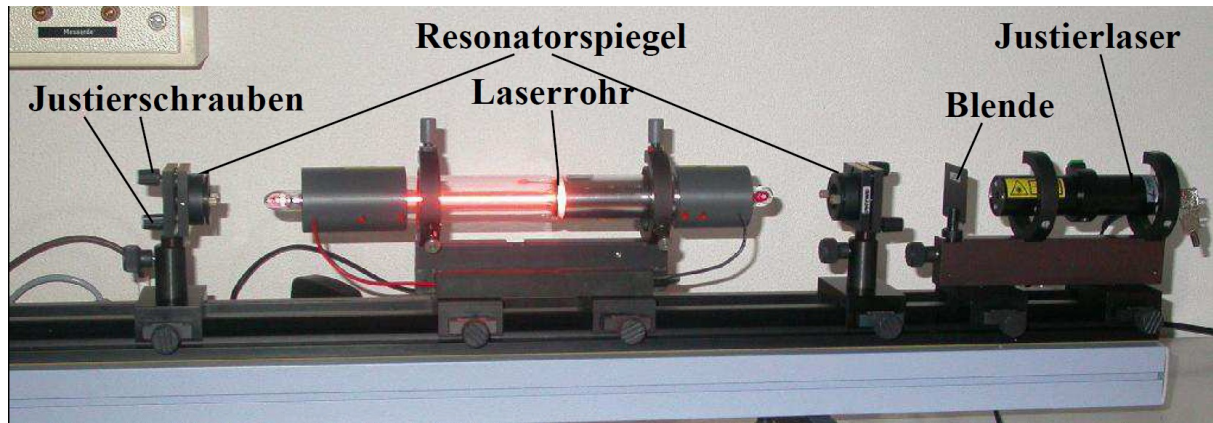


Tabelle 1: Beschreibung der verfügbaren Spiegel

Spiegel	Bezeichnung	Oberflächenbeschaffenheit
plan	flat/flat	HR (high reflectivity) $R \geq 99\%$
konkav	$r=1000 \text{ mm}/\text{flat}$	HR (high reflectivity) $R \geq 99\%$
konkav	$r=1400 \text{ mm}/\text{flat}$	HR (high reflectivity) $R \geq 99\%$
konkav	$r=1400 \text{ mm}/\text{flat}$	OC (out coupling) $T=1.5, \dots 1.8\%$

Zum Vermessen der Lasereigenschaften (z.B. Polarisation, Strahldurchmesser oder Wellenlänge) stehen Ihnen verschiedene Komponenten zur Verfügung (z.B. Photodiode, Spalt, Mikrometerschraube oder Polarisator), die Sie in den Strahlengang des Lasers stellen können.

Messprogramm und Auswertung

1. Justieren des He-Ne-Lasers: Stellen Sie den Justierlaser mit den beiden Beugungsblenden auf die optische Schiene, sodass die Blenden den maximalen Abstand voneinander haben. Richten Sie den Justierlaser mit den 6 Schrauben so aus, dass sich die Fadenkreuze in der Mitte der Beugungsringe befinden. Stellen Sie nun nacheinander die Resonatorspiegel (s. Abb. 2a,b) und das Laserrohr (s. Abb. 2c) auf die optische Schiene und stellen Sie für jede Komponente einzeln sicher, dass der Rückreflex des Justierlasers wieder die Justierblende im Fadenkreuz trifft. (Hinweis: Nehmen Sie auch die gegenüberliegende Blende zu Hilfe. Eine gute Vorjustage ist wichtig, um nachher den Laser in Betrieb nehmen zu können!!). Stellen Sie alle Komponenten (Plasmarohr und Resonatorspiegel) auf die optische Bank und schalten Sie den Justierlaser aus (s. Abb. 2c). Stellen Sie den Strom der Hochspannung auf $I = 6.5 \text{ mA}$. Das Laserrohr wird aufgrund der Entladung rot leuchten. In der Regel setzt aber noch keine Lasertätigkeit ein. Hierzu müssen Sie **vorsichtig** an den Justierschrauben der Resonatorspiegel nachjustieren. Wenn die Lasertätigkeit einsetzt sehen Sie einen roten Strahl zwischen Brewster-Fenster und Resonatorspiegel. Ist dies auch nach einiger Zeit nicht der Fall, dann haben Sie bei der Vorjustage nicht sorgfältig genug gearbeitet und Sie müssen den gesamten Ablauf von Anfang an neu beginnen.

Abbildung 2: He-Ne Laser Versuchsaufbau

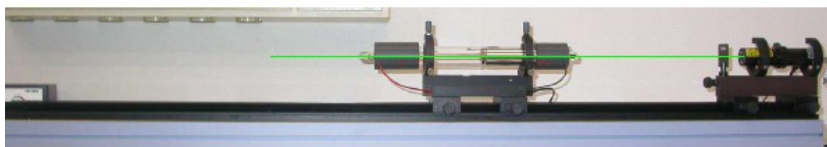
(a)



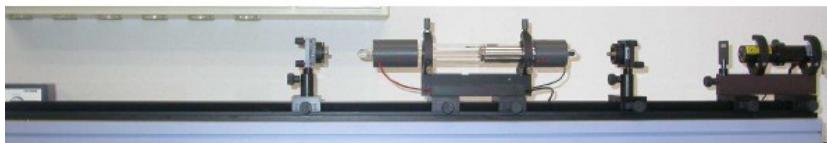
(b)



(c)



(d)



2. Überprüfen der Stabilitätsbedingung: Justieren Sie den Laser mit Hilfe einer Photodiode auf die maximale Leistung ein. Stellen Sie den maximal möglichen Resonatorabstand ein. Vergrößern Sie hierzu den Abstand der beiden Laserspiegel bei laufendem Laser, dabei sollten Sie nicht vergessen die Laserleistung nachzujustieren. Bei guter Justage sollten sie fast den theoretischen Wert aus der Stabilitätsbedingung erreichen. Wiederholen Sie die Messung für einen weiteren Resonator. Überlegen Sie sich, welche Gründe zum Verlust der Stabilität führen.

3. Beobachten von TEM-Moden: Versuchen Sie möglichst viele verschiedene Moden zu stabilisieren und zu identifizieren. Zum Stabilisieren der Moden wird ein dünner Wolframdraht ($d = 0.005 \text{ mm}$) zwischen Resonatorspiegel und Laserrohr gebracht und so verschoben, dass verschiedene Moden auf einem optischen Schirm erkennbar sind. Um die Moden zu erkennen müssen Sie den Strahldurmesser des Lasers mit Hilfe einer Streulinse vergrößern. Welche Funktion hat der Draht? Ersetzen Sie den optischen Schirm durch eine Photodiode und vermessen Sie mindestens zwei Moden. Tragen Sie die gemessenen Intensitätsverteilungen in ein Diagramm ein und passen Sie die theoretische Verteilung an die experimentellen Daten an.

4. Bestimmung der Polarisation: Stellen Sie einen Polarisator hinter den Auskoppelspiegel und messen Sie die Intensität mit einer Photodiode als Funktion der Polarisationsrichtung. Erklären Sie, warum ein Brewster-Endfenster zur Polarisation führt und vergleichen Sie die gemessene Intensitätsverteilung mit der theoretisch berechneten. Welchen Einfluss haben die Resonatorspiegel auf die Polarisation des Lasers?

5. Multimodenbetrieb und Frequenzspektrum des Lasers: Ohne Fabry-Perot Etalon läuft der Laser im Multimodenbetrieb. D.h. es lasen mehrere longitudinale Moden, die zur Schwebung im zeitlichen Verlauf der Laserintensität führen. Um diese Schwebungsfrequenzen zu vermessen, nehmen Sie eine schnelle Photodiode (Bandbreite bis 1GHz) und messen Sie mithilfe des Spektrumanalysators die Fourierspektren für unterschiedliche Resonatorlängen L . Diese Aufgabe können Sie mit Überprüfung der Stabilitätsbedingung in einer der Resonatoren durchführen. Im Protokoll vergleichen Sie die Verbreitung des Neonübergangs mit dem Abstand zwischen den longitudinalen Moden. Begründen Sie den Multimodenbetrieb. Beschreiben Sie die Abhängigkeit der Schwebungsfrequenz von der Resonatorlänge.

6. Bestimmung der Wellenlänge: Bestimmen Sie aus den Beugungsmaxima bzw. Beugungsminima eines Spaltes und eines Gitters die Wellenlänge des He-Ne-Lasers.

Literatur

[1] Wolfgang Demtröder, Laserspektroskopie 1 Grundlagen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011.

[2] Hans Joachim Eichler & Jürgen Eichler, Laser (Bauformen, Strahlführung, Anwendungen), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015.

[3] B.E.A. Saleh and M.C. Teich, Grundlagen der Photonik, 2 Ausgabe, Wiley-VCH 2008.