

Helium-Neon-Laser (FP 1)

Ziel des Versuches

Im Versuch beschäftigen Sie sich intensiv mit den Grundlagen von optischen Resonatoren und Lasern und bauen einen He-Ne-Laser mit Brewsterfenstern und äußerem Resonator auf. So werden u. a. Spektren vermessen, Resonatorstabilitäten unterschiedlicher Resonatoren sowie Strahltaile und Strahldivergenz untersucht, Intensitätsprofile von TEM-Moden vermessen, die Schwebungsfrequenzen zwischen longitudinalen sowie zwischen longitudinalen und transversalen Moden und das Gainprofil aufgenommen und verschiedene Laserwellenlängen erzeugt.^{1,2}

Vorbereitung

Auf folgende Begriffe und deren Inhalte müssen Sie sich intensiv vorbereiten:

- Fabry-Perot Resonatoren, axiale (longitudinale) Moden, freier Spektralbereich (FSR), Finesse
- Resonatorarten, Stabilitätsbedingung
- Gaußsche Strahlen (Gaußbündel), transversale Moden (TEM-Moden)
- Transformation von Gaußstrahlen durch eine Linse
- Einsteinkoeffizienten (Absorption, spontane und induzierte Emission), Rantengleichungen
- Erzeugung einer Besetzungsinversion, Resonatorverluste, Schwellwertbedingung
- Termschema He-Ne-Laser, Übergänge
- homogene und inhomogene Linienbreiten, Lebensdauer, Dopplerverbreiterung, Stoßverbreiterung, Kohärenzlänge
- Brewsterfenster, Glan-Taylor Prisma, $\lambda/4$ -Plättchen, Littrow-Prisma und doppelbrechende Platte als dispersives Element im Laserresonator
- dielektrische Spiegel

¹ (Das Lochbrennen innerhalb der Laserlinie wird u.a. im Versuch FP 12 näher untersucht).

² Im Versuch sind die Aufgaben 1 bis 10 zu absolvieren. Bei großem Interesse können in einem weitem Termin die Aufgaben 11 bis 15 durchgeführt werden. Diese werden als weiterer FP-Versuch angerechnet.

Literatur:

- Jürgen Eichler, Hans Joachim Eichler, Laser - Bauformen, Strahlführung, Anwendungen, 6. Auflage; Springer-Verlag
- Wolfgang Demtröder, Laser-Spektroskopie - Grundlagen und Techniken, Springer-Verlag
- Dieter Meschede, Optik, Licht und Laser, 3. Auflage, Vieweg&Teubner Verlag
- speziell für diesen Versuch: Jan Kehlbeck, Aufbau eines Versuches für das Fortgeschrittenenpraktikum zu den Grundlagen des He-Ne-Lasers, BSc-Arbeit, Universität Bremen 2012 (als pdf herunterladbar)

Lasersicherheit

Vor der Versuchsdurchführung erhalten Sie eine Laserschutz-Belehrung, die Sie unterschreiben müssen.

Der im Versuch aufzubauende cw-Laser gehört zur Laserklasse 2 und erreicht eine maximale Leistung von 4 mW bei 632 nm. Beim Experimentieren sind Laserschutzbrillen (Justierbrillen) zu tragen. Ringe und Armbanduhren sind beim Experimentieren abzulegen. Die direkte Einstrahlung in das Auge ist zu vermeiden. Ihre Augenhöhe sollte sich stets oberhalb der optischen Achse befinden. Nutzen Sie deshalb zum Sitzen nur die am Versuchsplatz vorhandenen Hocker.

Aufgaben und Hinweise zur Durchführung

Für diesen Versuch stehen Ihnen ein He-Ne-Entladungsrohr mit zwei Brewsterfenstern, verschiedene dielektrische Resonatorspiegel zur Verfügung.³ Ebenso benötigen Sie den Pilotlaser, die optische Diode und die zwei justierbaren Al-bedampften Umlenkspiegel, verschiedene Blenden, Linsen, zwei Photodiodenempfänger⁴, Multimeter, eine in x - und y -Richtung sehr genau verschiebbare Blende mit Detektor, eine Blende mit einem dünnen Draht, eine hochauflösende Webcam, ein Spektrometer und einen Spektrumanalysator.

1. Messen Sie das Transmissionsspektrum eines Resonatorspiegels mit Hilfe des USB-Spektrometers mit Glasfaser und einer Halogenlampe.
2. Messen Sie das Emissionsspektrum der Gasentladung im He-Ne-Laserrohr und später das Spektrum der Laserlinie. Schauen Sie sich mit Transmissionsgitter die Gasentladung an.
3. Bauen Sie den äußeren konfokalen Laserresonator (beide Spiegel mit $r = 700$ mm) unter Zuhilfenahme des Pilotlasers auf. Dazu sollte der Pilotlaser durch die optische Diode und über beide Umlenkspiegel so geführt werden, dass er die noch ausgeschaltete Gasentladungskapillare möglichst gerade durchläuft. Hilfestellung gibt hier eine auf die optische Achse justierte und auf der optischen Bank verschiebbare Blende. Der Pilotlaserstrahl ist ausgerichtet, wenn er die Kapillare, ohne an deren Rändern reflektiert zu werden durchläuft und beim Verschieben der o. g. Blende über die gesamte Länge stets durch die Blende verläuft. Danach sollte

³ Auskoppelspiegel ($R = 98\%$) plan und $r = 700$ mm, hochreflektierende Spiegel ($R = 99,99\%$) mit $r = 700$ mm und $r = 1000$ mm

⁴ langsame Photodiode mit großer Fläche und schnelle Photodiode mit kleiner Detektorfläche

der Laserendspiegel ($r = 700 \text{ mm}$, $R = 99,9 \%$) so ausgerichtet werden, dass der zurück reflektierte Strahl mit dem einfallenden Strahl übereinstimmt und auch durch die Blendenöffnung tritt. Zuletzt wird der Auskoppelspiegel aufgestellt und so eingerichtet, dass sein Reflex auf dem Laserendspiegel mit der ersten Reflexion zusammenfällt. Ist der Resonator richtig justiert, beobachtet man ein „Flimmern“ der Intensität des Justierlaserlichts im aufgebauten Resonator. Anschließend wird die Gasentladung im Rohr gezündet. Geringes Nachjustieren führt relativ schnell zur Beobachtung der Lasertätigkeit. Der Justierlaser kann nun ausgeschaltet und der Al-Umlenkspiegel entfernt werden.

4. Messen Sie das Emissionsspektrum des Lasers. Dazu reicht es aus, die durch den Laserendspiegel ($R=99,9\%$) hindurchtretende Strahlung zu spektroskopieren.
5. Messen Sie die Polarisierung und den Polarisationsgrad des Lasers (Polarisationsfilter 100:1 und großflächiger Si-Photodetektor). Hierbei kann geprüft werden, ob die Orientierung der Brewsterfenster richtig ist, damit tatsächlich p-polarisiertes Licht erzeugt wird als Voraussetzung für eine spätere Wellenlängenabstimmung mit dem Littrow-Prisma.
6. Resonatorstabilität: Messen Sie den Stabilitätsbereich des Resonators. Dazu untersuchen Sie die Abhängigkeit der Laserintensität (im Mehrmodenbetrieb) von der Resonatorlänge (großflächiger Si-Photodiodenempfänger). Nach Veränderung der Resonatorlänge ist meist ein leichtes Nachjustieren der Laserspiegel auf maximale Leistung erforderlich.⁵
7. Stellen Sie eine geeignete Resonatorlänge ($\approx 100 \text{ cm}$) mit ausreichender Leistung ein und versuchen Sie mindestens fünf verschiedene TEM-Moden zu erzeugen. Bringen Sie dazu einen dünnen Draht (Draht im Blendenhalter) in den Strahlengang innerhalb des Laserresonators. Verändert man die Position des Drahtes (z. B. in x , y -Richtung), so verändert sich die Modenstruktur im Resonator (Warum?). Mit Hilfe einer kurzbrennweitigen Linse ($f = 20 \text{ mm}$) können die Modenprofile auf einem Milchglas-Schirm vergrößert abgebildet werden. Ordnen Sie die Moden zu und registrieren Sie diese mit Hilfe der hochauflösenden Webcam hinter dem Schirm. Vermessen Sie die Modenprofile unter Verwendung einer geeigneten Software, die sich auf dem Rechner am Versuchsplatz befindet, und stellen Sie diese in einer 3D-Darstellung dar (FIJI-Software).
8. Erzeugen Sie nur die TEM_{00} -Mode. Dazu sollte der dünne Draht aus dem Resonator wieder entfernt werden und an dessen Stelle eine runde Modenblende gesetzt werden. Bilden Sie diese Mode mit Hilfe der 20 mm-Linse auf dem Schirm ab und nehmen Sie die Intensitätsverteilung mit der Webcam auf. Weisen Sie durch Anpassung das Gaußprofil dieser Mode nach.
9. Messen Sie im TEM_{00} -Betrieb mit der schnellen Photodiode und mit dem Spektrumanalysator möglichst alle Schwebungsfrequenzen zwischen den longitudinalen (axialen) Moden für zwei unterschiedliche Resonatorlängen. Bestimmen Sie die Modenzahl im Gainprofil und ermitteln Sie die Resonatorlänge aus den gemessenen Schwebungsfrequenzen. (Die Breite des Verstärkungsprofils beträgt aufgrund der Dopplerverbreiterung etwa $1,5 \text{ GHz}$).⁶

⁵ Das aktive Medium muss sich dabei immer in der Mitte des Resonators befinden.

⁶ Da die schnelle Photodiode relativ unempfindlich ist, muß der Laserstrahl mit Hilfe einer Kurzbrennweitigen Linse auf den Detektor fokussiert werden.

10. Entfernen Sie die Modenblende und versuchen Sie auch Schwebungsfrequenzen zwischen longitudinalen und TEM-Moden zu messen. Ermitteln Sie aus Ihrem Ergebnis die Krümmungsradien der Spiegel.
11. Bringen Sie im TEM₀₀-Betrieb das Etalon⁷ in den Resonator und messen Sie mit der langsamen Photodiode die Intensitäten der einzelnen axialen Moden.
12. Ersetzen Sie nun den bisherigen sphärischen Auskoppelspiegel durch einen Plan-Auskoppelspiegel und bringen Sie den Laser in den TEM₀₀-Betrieb. Bei einem hemisphärischen Resonator liegt die Strahltaile nun direkt auf dem Planspiegel. Vermessen Sie das Strahlprofil an fünf verschiedenen Orten außerhalb Resonators mit dem x, y -Versteller.⁸ Aus dem Messergebnissen ist die Strahltaile am Planspiegel und die Divergenz des Laserstrahls zu ermitteln.
13. (Oder 14.) Ersetzen Sie den Plan-Auskoppelspiegel durch das Littrow-Prisma und versuchen Sie einen anderen Laserübergang zum Anschwingen zu bringen. Messen Sie die Emissionswellenlänge mit dem USB-Spektrometer. Ordnen Sie die Emissionswellenlängen atomaren Übergängen zu.
14. (Oder 13.) Ersetzen Sie den Plan-Auskoppelspiegel durch den hochreflektierenden Planspiegel. Stellen Sie innerhalb des Resonators in der Nähe des Planspiegels die doppelbrechende Platte unter dem Brewsterwinkel in den Strahlengang. Durch Verdrehen der Platte um ihre Normalenrichtung können verschiedene Wellenlängen zum Anschwingen gebracht werden.
15. Bauen Sie einen Resonator mit hochreflektierendem Spiegel mit $r = 1000$ mm und einem Auskoppelspiegel mit $r = 700$ mm auf und untersuchen Sie die Resonatorstabilität im Mehrmodenbetrieb.

⁷ Durch Verkippen des Etalons können einzelne axiale Moden innerhalb des Verstärkungsprofils beobachtet werden.

⁸ Dieser ist sehr fein und definiert verschiebbar. Darauf ist eine Blende mit einem Durchmesser von 0,2 mm vor einem großflächigen Si-Photodetektor montiert. Der zur auffallenden Intensität proportionale Kurzschlussstrom der Si-Photodiode ist mit einem empfindlichen Multimeter zu messen