
Aufbau und Charakterisierung eines Faserverstärkers

Versuchsanleitung zum Fortgeschrittenenpraktikum
Abteilung A



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fachbereich Physik
Institut für Angewandte Physik
Laser und Quantenoptik

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	2
2.1. Diodenlaser mit externem Resonator	2
2.2. Faserverstärker	3
2.3. Gitterspektrometer	5
2.4. Fabry-Perot Interferometer (FPI)	6
2.5. Aufbau des Seed-Lasers und der Faserverstärkung	8
Vorbereitung	11
3. Aufgabenstellungen	12
3.1. Aufgabe 1: Das Lasersystem	12
3.2. Aufgabe 2: Charakterisierung des <i>ECDLs</i>	12
3.3. Aufgabe 3: Polarisierung ohne Faserverstärkung	13
3.4. Aufgabe 4: Charakterisierung des Faserverstärkers	13
3.5. Aufgabe 5: Polarisierung mit Faserverstärkung	14
3.6. Aufgabe 6: Variable <i>Seed</i> -Ströme	14
3.7. Aufgabe 7: Linienbreite mit dem Gitterspektrometer	14
3.8. Aufgabe 8: Linienbreite mit dem FPI	15
Literatur	16

1. Einleitung

Die Grundlagen in dieser Anleitung basieren weitgehend auf der Bachelorarbeit von Simon Bürkle, die 2015 in der Arbeitsgruppe Walther geschrieben wurde.

In diesem Versuch beschäftigen Sie sich mit den Grundlagen aktueller Forschungsthemen aus Optik und Photonik, wie z.B. Halbleiterlasern, Faserverstärkern oder Laserdetektion. Faserverstärker werden in vielen Bereichen zur Erhöhung der Laserleistung eingesetzt. Viele Forschungsgebiete benötigen spezielle Eigenschaften der Laserstrahlung (wie z.B. geringe Linienbreite, hohe Energien, Polarisation, große Kohärenzlänge, etc.), die beispielsweise von kostengünstigen Diodenlasern bei niedrigen Leistungen zur Verfügung gestellt werden können und durch die Verstärkung in einer Faser erhalten werden sollen.

Sie prüfen in diesem Versuch unter anderem, ob die zentralen Lasereigenschaften durch den Faserverstärker erhalten sind, oder ob und warum dies nicht der Fall ist. Sie lernen zusätzlich verschiedene Messverfahren zur spektralen Charakterisierung und besonders zur Linienbreitenbestimmung von Lasersystemen kennen. Fähigkeiten im Umgang mit vielen optischen Elementen und Geräten, die in den Laboren des Instituts für angewandte Physik eingesetzt werden, werden in diesem Versuch ebenso vermittelt, wie der praktische Umgang mit verschiedenen Lasersystemen und den Vorkehrungen zum Laserschutz.

2. Grundlagen

2.1. Diodenlaser mit externem Resonator

Diodenlaser mit externen Resonatoren (kurz: *ECDL*) erzeugen Laserstrahlung im Bereich von infrarotem bis ultraviolettem Licht. Wie andere Laser auch, weisen sie einen Pumpmechanismus auf, der durch den angelegten Diodenstrom realisiert wird. Die Diode besteht aus einer p-dotierten und einer n-dotierten Schicht, deren Fermienergien am Kontaktpunkt ausgeglichen sind, wodurch eine Sperrschicht ausgebildet wird. Wird eine Spannung in Durchlassrichtung angelegt, so wird diese so genannte Verarmungszone erneut mit Ladungsträgern besetzt, wobei die Fermi-Energien verschoben werden. Eine aktive Zone wird erzeugt, in der Besetzungsinversion zwischen Valenzband und Leitungsband entstehen kann. Diese Sperrschicht ist das aktive Medium der Laserdiode. Als Resonator dienen die Endflächen der Diode, wobei eine Seite hoch reflektierend ist. Bei *ECDLs* kann die zweite Seite antireflexbeschichtet sein, damit ein möglichst großer Teil des Lichts transmittiert werden kann. In Littrow-Anordnung dient ein durch einen Piezo-Aktuator verstellbares Gitter als zweiter Teil des Resonators (siehe Abbildung 2.1).

Warum wird hier ein Gitter eingesetzt?

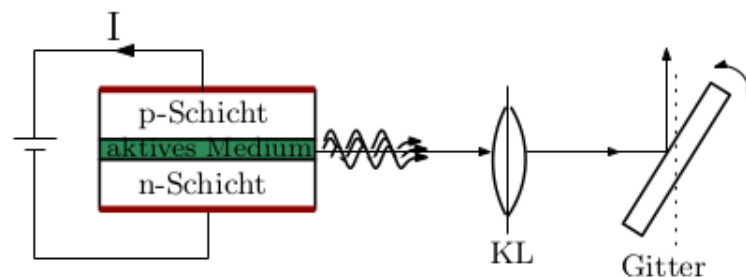


Abbildung 2.1.: Aufbau einer Laserdiode in Littrowanordnung. Die erzeugte Strahlung wird durch eine Kollimationslinse (KL) auf das Gitter gelenkt.

Trotz der Antireflexschicht werden wegen den großen Brechungsindexunterschieden ca. 3% der Strahlung an der zweiten Diodenendfläche reflektiert. Das Gitter reflektiert die erste Beugungsordnung zurück in die Diode und koppelt die nullte Beugungsordnung aus. Dadurch werden unerwünschte Nebenmoden unterdrückt und die Linienbreite des Lasers stark verkleinert. Für die selektierten Wellenlängen gilt

$$m \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\alpha) \quad (2.1)$$

wobei m die Beugungsordnung, d die Gitterkonstante λ die Wellenlänge und α den Beugungswinkel angeben.

Um Rückreflexe in den *ECDL* zu vermeiden, wird ein *Faraday-Isolator* eingesetzt. Der Faraday-Isolator besteht aus einem Polarisator, einem um 45° verkippten Analysator und einem Faraday-Rotator, der zwischen Polarisator und Analysator aufgebaut ist (siehe Abbildung 2.2). Faraday-Rotatoren können aufgrund des Faraday-Effekts die Polarisationssebene von linear polarisiertem Licht um einen bestimmten Winkel drehen. Das Medium, durch das das Licht propagiert, muss von einem Magnetfeld durchsetzt sein, welches parallel zur Ausbreitungsrichtung des Lichts steht.

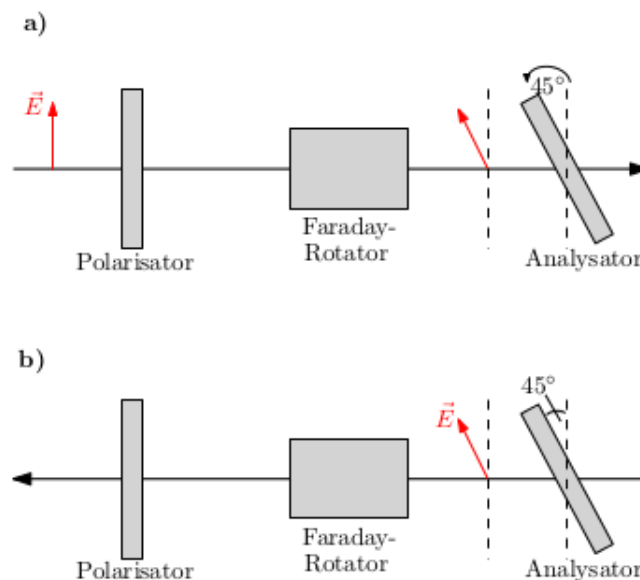


Abbildung 2.2.: Funktionsweise und Aufbau eines Faraday Isolators. a) gibt den Strahlverlauf in Vorwärtsrichtung an, b) gibt den Strahlverlauf in Rückwärtsrichtung an.

Der *ECDL* wird in diesem Versuch als *Seed-Laser* benutzt. Informieren Sie sich zusätzlich auch kurz über weitere Diodenlasertypen mit externen Resonatoren.

2.2. Faserverstärker

In der Industrie, dem Alltag, sowie in der Forschung werden häufig sehr hohe Laserintensitäten benötigt. Signale bei Datenübertragungen wie z.B. in der Telekommunikation werden mit längeren Übertragungsstrecken schwächer, weshalb sie verstärkt werden müssen. In der Forschung, z.B. bei LIDAR (**l**ight **d**etection **a**nd **r**anging) Messungen werden ebenfalls sehr hohe Laserleistungen benötigt. Die Ausgangsleistung von Laserdioden sind durch den angelegten Strom begrenzt und erreichen deshalb von alleine nicht die hohen Leistungen (im Bereich von mehreren Watt bis Kilowatt), die gefordert werden.

Um die benötigte Leistung zu erhöhen, werden oft Faserverstärker eingesetzt.

Welche Eigenschaften weist ein typischer *ECDL* im Bezug auf die Linienbreite und die Ausgangsleistung auf und warum wird der Faserverstärker in diesem Versuch eingesetzt?

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Formen an Faserverstärkern (Verstärkungsprinzip, Fasergeometrie, Dotierung etc.), sodass an dieser Stelle nur der in diesem Versuch verwendete Verstärker und das ihm zu Grunde liegende Prinzip näher beschrieben wird.

Der Faserverstärker besteht aus einer speziell dotierten Glasfaser und einem so genannten Pump Laser. Die Faser besteht aus einem Kern und einem Mantel. Zusätzlich weist sie so genannte Stress-Elemente auf, die durch mechanische Spannung Doppelbrechung erzeugen und eine Polarisationserhaltung im Faserkern ermöglichen. Um den ersten Mantel ist ein weiterer zweiter Mantel angebracht. Dadurch wird ein zweiter Lichtwellenleiter hinzugefügt. Das zu verstärkende Seedlicht wird in den Kern eingekoppelt, während das Licht des Pump Lasers in den ersten Mantel eingekoppelt wird.

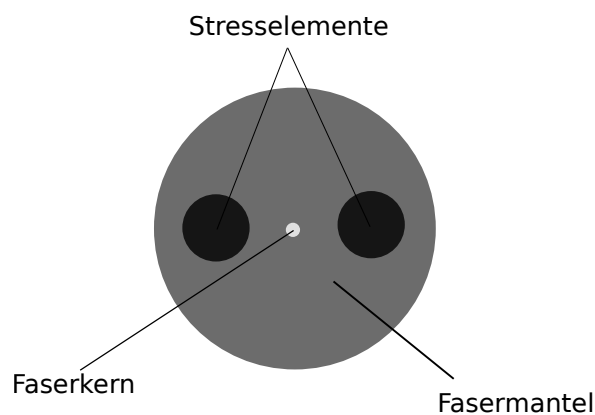


Abbildung 2.3.: Aufbau der Ytterbium-Verstärkerfaser

Der Aufbau der Faser ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Der Kern der Faser wird mit Selten-Erd-Ionen dotiert, wie z.B. Erbium oder in diesem Fall Ytterbium.

Welche Eigenschaften zeichnen die Verstärkerfaser aus?

Das Energieniveauschema von Yb^{3+} weist im Grundzustand und im ersten angeregten Zustand mehrere Stark-Levels auf, die für den Pumpübergang relevant sind (siehe Abbildung 2.4).

Das Absorptions- und Emissionsspektrum von Ytterbium ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

Der eingesetzte *ECDL* wird in diesem Versuch von 1025 nm bis 1075 nm abgestimmt.

Können beliebige Wellenlängen mit der eingesetzten Ytterbiumfaser verstärkt werden? Begründen Sie Ihre Annahme.

Für die Faserverstärkung wird der Pump Laser in die Faser gekoppelt, wo das Pumplicht absorbiert wird. Der *Seed*-Laser wird in den Faserkern gekoppelt und löst bei den angeregten Yb-Ionen stimulierte Emission aus, wodurch der *Seed*-Laser verstärkt wird.

Warum können trotz beliebig starker Pumpströme keine beliebig hohen Verstärkerleistungen erzielt werden?

Betrachten Sie das Absorptions- und Emissionsschema von Ytterbium (siehe Abbildung 2.5). Kann ein Laser bei 976 nm verstärkt werden?

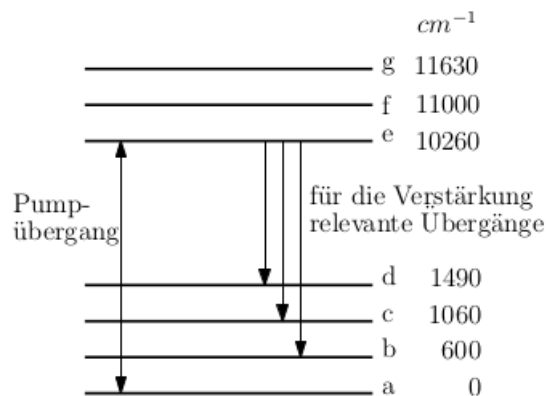


Abbildung 2.4.: Energieniveauschema von Ytterbium für den Grundzustand, den ersten angeregten Zustand und die jeweiligen Stark-Level.

Obwohl die Verstärkerfaser keinen Resonator aufweist, können spontan emittierte Photonen in der Faser trotzdem verstärkt werden. Dieser Effekt wird *ASE* (amplified spontaneous emission) genannt.

Warum tritt ASE vor allem bei niedrigen Seed-Leistungen auf?

Erklären Sie das Laserprinzip und identifizieren Sie die essentiellen Komponenten eines Lasers bei Diodenlasern/ECDLs und bei Faserverstärkern. Was fällt Ihnen auf? Wie unterscheiden sich Faserverstärker von Faserlasern?

2.3. Gitterspektrometer

Gitterspektrometer stellen einfache Möglichkeiten dar, um optische Spektren aufzunehmen. Das einfallende Licht wird durch eine Linse fokussiert und lokal über einen Spalt eingeschränkt. Ein rotierendes Gitter spaltet das Licht über Beugung spektral auf und eine Fotodiode detektiert die verschiedenen Wellenlängen. Die Intensität der einzelnen Wellenlängen und der Verlauf des Spektrums kann z.B. über einen Computer graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 2.6).

Oft fasst die Auswertungssoftware mehrere Wellenlängen in einem so genannten Kanal zusammen. Die angegebene Intensität besteht dann aus der Summe der Teilintensitäten. Je mehr Kanäle erzeugt werden, desto genauer können die einzelnen Frequenzanteile aufgelöst werden. Diese Anordnung wird auch als **optischer Spektralanalysator (OSA)** bezeichnet. Das Auflösungsvermögen dieses Verfahrens ist durch das Verhältnis der betrachteten Wellenlänge zu dem Abstand der einzelnen Wellenlängen zueinander bestimmt.

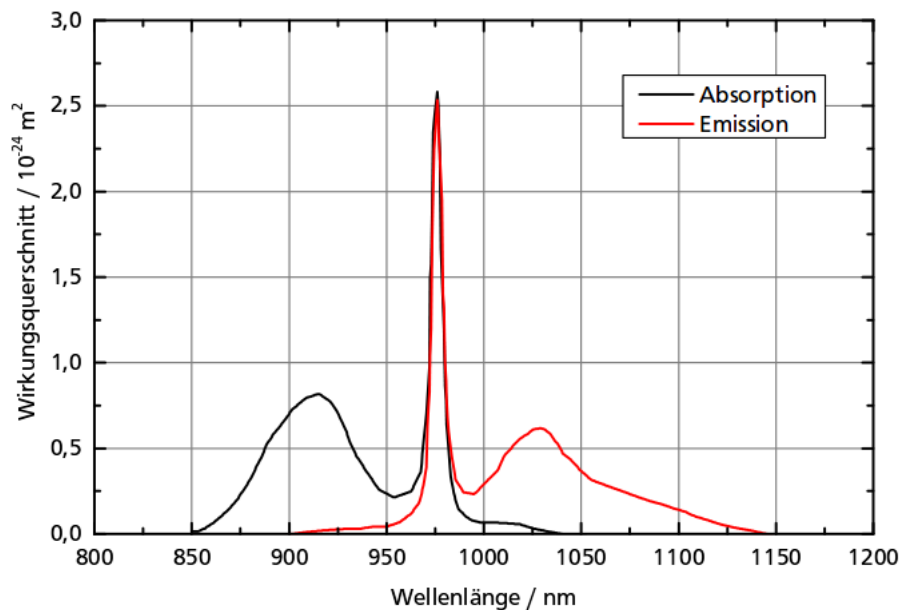


Abbildung 2.5.: Absorptions- (schwarz) und Emissionswirkungsquerschnitt (rot) von Ytterbium.

Das Signal ist gaußförmig, wobei das Spektrum von Untergrundstrahlung überlagert wird. Die Halbwertsbreite (FWHM) kann über die Anpassung einer Gaußverteilung an die Daten bestimmt werden. Die Dichtefunktion der Normalverteilung ist gegeben durch

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} . \quad (2.2)$$

σ ist die Standardabweichung und μ der Erwartungswert. Für die Halbwertsbreite gilt

$$\text{FWHM} = 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{2 \ln 2} . \quad (2.3)$$

Die Auflösungsgrenze eines OSAs liegt für gewöhnlich im Bereich von Gigahertz.

2.4. Fabry-Perot Interferometer (FPI)

Eine Möglichkeit, um die Linienbreite eines Lasers zu messen, lässt sich durch Fabry-Perot Interferometer realisieren. Der eintreffende Laserstrahl wird zwischen zwei konfokalen Spiegeln reflektiert, sodass sich die im Resonator befindlichen Strahlen gegenseitig überlagern (Überhöhung). Erfüllen diese Strahlen die Interferenzbedingung

$$2d \cos(\alpha) = m\lambda \quad (2.4)$$

mit der Wellenlänge des Lichts λ , dem Spiegelabstand d , der Beugungsordnung m und dem Einfallswinkel α der Strahlen, so verlassen sie das FPI als Interferenzmaxima, andernfalls löschen sie sich durch destrukt-

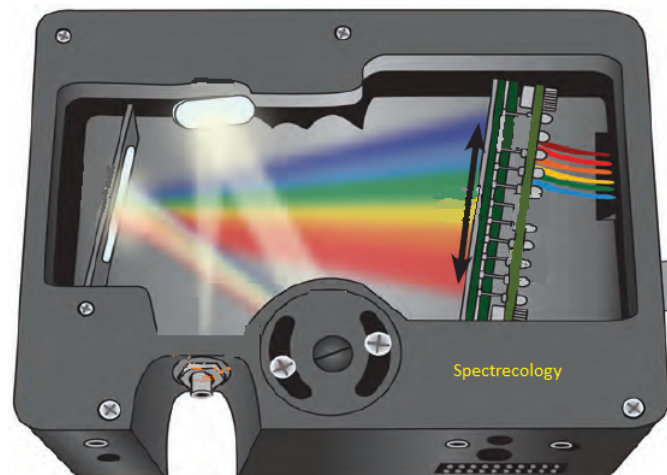


Abbildung 2.6.: Aufbau des im Versuch eingesetzten Gitterspektrometers.

tive Interferenz gegenseitig aus. Durch einen an einem der Spiegel angebrachten Piezoaktuator kann die von dem Spiegelabstand abhängige Interferenzbedingung verändert werden, sodass sie für andere Wellenlängen erfüllt ist.

Wird eine Sägezahnspannung an den Piezoaktor angelegt, so kann das Wellenlängenspektrum des Lasers aufgenommen werden. Die Maxima werden über eine Fotodiode detektiert und sind als Airypeaks über ein Oszilloskop beobachtbar, wobei der Kurvenverlauf durch die Airyfunktion

$$I(x)_T = I_0 \cdot \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \cdot \sin^2\left(\pi \cdot \frac{x-\nu}{l}\right)} + o \quad (2.5)$$

beschrieben wird. I_0 ist die Ausgangsintensität, $I(x)_T$ die transmittierte Intensität, R die Reflektivität der Spiegel, ν die Position des 1. Maximums, l der Abstand zwischen den Maxima und o der Offset.

Der Abstand zwischen den Peaks, der so genannte freie Spektralbereich (FSR), ist bei konfokalen Spiegeln über folgende Formel gegeben

$$FSR = \frac{c}{4d} \quad (2.6)$$

mit der Lichtgeschwindigkeit c und der Resonatorlänge d . Der FSR des hier eingesetzten FPIs liegt bei 1,5 GHz. Das Oszilloskop liefert das Signal als Funktion der Spannung, die proportional zur Intensität des Lasers ist, über der Zeit. Der angegebene FSR dient zur Kalibrierung der Zeitachse und zur Umrechnung in den Frequenzraum. Bei der Herleitung der Formel wird davon ausgegangen, dass der Strahl den Resonator der Länge d gerade vier mal durchläuft und in seinen Eintrittspunkt reflektiert wird (siehe Abbildung 2.7).

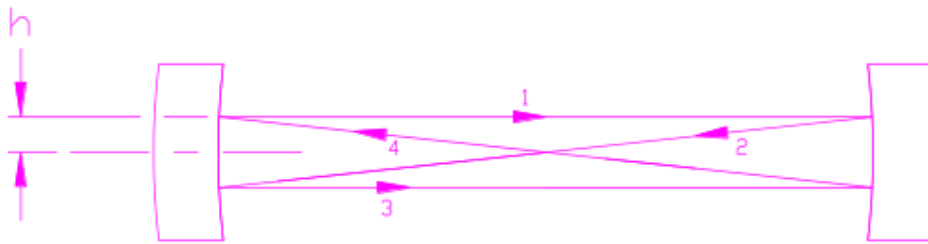


Abbildung 2.7.: Strahlengang des *scanning-FPI* mit konfokalen Spiegeln: der Strahl propagiert näherungsweise vier mal durch den Resonator der Länge d .

Tritt der Strahl parallel zur optischen Achse in einer beliebigen Höhe h in den Resonator ein, so ist diese Bedingung erfüllt. Trifft der Strahl auf der optischen Achse in das FPI, so durchläuft er eine Strecke von $2R$, woraus ein doppelter freier Spektralbereich resultiert.

Die Güte des FPIs wird durch die Finesse F der Peaks beschrieben, die genähert werden kann über

$$F = \frac{\pi \cdot \sqrt{R}}{(1 - R)} . \quad (2.7)$$

Sie beschreibt die Fähigkeit des FPIs, nahe aneinander gelegene Peaks noch auflösen zu können, und ist von der Reflektivität der Spiegel abhängig. Die Reflektivität kann über die Airy-Funktion bestimmt werden. Aus dem Quotient aus freiem Spektralbereich und der Finesse lässt sich dann die Linienbreite des Lasers bestimmen. Es gilt

$$\Delta \nu = \frac{\text{FSR}}{F} . \quad (2.8)$$

Das Auflösungsvermögen eines FPI liegt typischerweise im Megahertzbereich.

2.5. Aufbau des Seed-Lasers und der Faserverstärkung

Der gesamte Aufbau ist in Abbildung 2.8 zu sehen und wird im folgenden Abschnitt genauer erklärt.

Als Seedlaser dient ein kommerzieller ECDL. Innerhalb des ECDL-Gehäuses befindet sich ein doppelter Faradayisolator. Außerhalb des Gehäuses ist ein anamorphes Prismenpaar (APP) angebracht, welches den elliptischen Strahlenverlauf des Diodenlasers an ein Gaußprofil annähert. Durch einen um 45° geneigten Strahlteiler werden 5% des Lichts für spektroskopische Untersuchungen zur Verfügung gestellt. 95%

Achten Sie besonders auf die Pumpdiode, da diese bereits durch Berührung und die dadurch erzeugte Potentialdifferenz beschädigt werden kann.

Vorbereitung

Die im Grundlagenkapitel hervorgehobenen Fragen sind elementar zum Verständnis des Versuches. Die Beantwortung dieser Fragen ist Teil der Vorbereitung.

Stichwörter zur Vorbesprechung:

- Laserprinzip, Besetzungsinversion, 2-Niveausystem, 3-Niveausystem, 4-Niveausystem, Diodenlaser, ECDL
- Glasfaser als Lichtwellenleiter, single-mode Faser, Doppelmantelfaser, Polarisationserhaltung
- optischer Verstärker, Ytterbium-dotierter Faserverstärker, Starkaufspaltung

3. Aufgabenstellungen

Für die Aufgaben in diesem Versuch steht Ihnen ein Computer zur Verfügung, der zur Datenaufnahme genutzt wird. Sie benötigen einen **USB-Stick**, um die aufgenommenen Daten zu sichern. Die handschriftlich protokollierten Daten müssen mit der Ausarbeitung abgegeben werden.

Achten Sie während des gesamten Versuches auf den **sorgfältigen Umgang** mit optischen Instrumenten und den frei liegenden Fasern.

3.1. Aufgabe 1: Das Lasersystem

Machen Sie sich zunächst mit dem Strahlengang des *Seed*-Lasers (*ECDL*) vertraut.

An welchen Stellen wird der Strahl aufgeteilt und warum?

Identifizieren Sie die einzelnen Komponenten des Faserverstärkers und die jeweiligen Messinstrumente. Blockieren Sie die Ausgangsapertur des *ECDLs* mit Hilfe der roten Blende und machen sich mit der Temperatur- und Stromsteuerung des *ECDLs* vertraut.

Warum ist die Laserdiode temperaturstabilisiert?

Nehmen Sie im Anschluss den *ECDL* bei einer Ausgangsstromstärke von 90 mA in Betrieb. Die Ausgangsstromstärke der Steuerung ist auf ca. 93 mA beschränkt. Wird diese Grenze überschritten, ertönt ein Warnsignal.

3.2. Aufgabe 2: Charakterisierung des *ECDLs*

Nehmen Sie nun die Leistungskennlinien des *ECDLs* für verschiedene Wellenlängen auf, indem Sie die Ausgangsleistung in Abhängigkeit des Diodenstroms darstellen.

Die Kennlinie soll für die Wellenlängen $\lambda_1=1025$ nm, $\lambda_2=1050$ nm, $\lambda_3=1060$ nm und $\lambda_4=1075$ nm aufgenommen werden.

Wie können Sie die Wellenlänge des *ECDL* einstellen?

Mit Hilfe welchen Messgerätes können Sie die Wellenlänge überprüfen?

Die Ausgangsleistung wird mit Hilfe eines Siliziumleistungsmesskopfes gemessen. Dieser wird über USB an den PC angeschlossen. Der Sensor muss auf jede Wellenlänge neu eingestellt werden, um eine exakte Messung zu gewährleisten.

Überlegen Sie sich vorher, wie viele Messpunkte Sie aufnehmen möchten und wo diese liegen sollten! Passen Sie an die Datenpunkte eine Ausgleichsgerade an und bestimmen Sie die Laserschwelle, sowie die Steigung der Kennlinie!

Welche Aussage lässt sich durch die Steigung der Kennlinie ableiten?

Wie erklären Sie sich die unterschiedlichen Laserschwellen bei verschiedenen Wellenlängen?

3.3. Aufgabe 3: Polarisation ohne Faserverstärkung

Stellen Sie nach der Messung die Wellenlänge des *ECDLs* wieder auf 1050 nm ein.

Überlegen Sie sich, ob und wie das Licht des *ECDLs* polarisiert ist!

Prüfen Sie Ihre Überlegungen mit Hilfe eines Analysators und des Siliziummesskopfes und geben Sie sowohl den maximalen, als auch den minimalen Wert, sowie das Verhältnis der beiden Werte an.

Falls das Licht polarisiert ist, in welcher Art und in welcher Richtung?

3.4. Aufgabe 4: Charakterisierung des Faserverstärkers

Machen Sie sich mit der Temperatur- und Stromsteuerung der Pumpdiode vertraut.

Schalten Sie die Temperatur- und Stromsteuerung des Pumplasers an.

Schalten Sie nun den Strom des Pumplasers an.

Nehmen Sie im Anschluss die Leistungskennlinie des Faserverstärkers in Abhängigkeit des Pumpstroms für die vier zuvor betrachteten Wellenlängen auf.

Der Verstärkerstrom darf 1,3 A nicht überschreiten. Überlegen Sie sich vorher, wie viele Messpunkte Sie aufnehmen möchten und wo diese liegen sollten!

Nutzen Sie für diese Messung den thermischen Leistungsmesskopf. Betrachten Sie parallel zu der Messung das Spektrum des Faserverstärkers über das Gitterspektrometer.

Die Einkopplung des *Seed*-Lichts in die erste Transportfaser zur Verstärkerbank muss nach jeder Wellenlängenänderung überprüft und nachgebessert werden. Der Beamsampler auf der Verstärkerbank erlaubt die Einkopplung mittels Photodiodenspannung zu überprüfen.

Weshalb muss das *Seed*-Licht nachgekoppelt werden?

Notieren Sie zu jeder Leistungskennlinie die zur Verfügung stehende Seedleistung!

Achten Sie bei der zu erreichenden eingekoppelten Leistung auch auf Ihre Ergebnisse aus Aufgabe 3.2!

3.5. Aufgabe 5: Polarisation mit Faserverstärkung

Überprüfen Sie, ob die Polarisation des verstärkten *Seed*-Lichts nach der Ytterbium-Faser erhalten ist. Nutzen Sie dazu erneut den Analysator und den thermischen Leistungssensor. Stellen Sie den Verstärkerstrom auf 0,75 A ein.

Ändert der Faserverstärker die Polarisation des *Seed*-Lichts?

3.6. Aufgabe 6: Variable *Seed*-Ströme

Stellen Sie nun die Stromstärke des Pumpasers auf 1,5 A. Betrachten Sie das Spektrum des faserverstärkten Lichts über das Gitterspektrometer und drehen Sie den *Seed*-Strom langsam von 90 mA herunter. Achten Sie auf die Laserschwelle des *ECDLs*! Nehmen Sie für eine Wellenlänge von 1075 nm das Spektrum im Gitterspektrometer bei 90 mA und bei 30 mA *Seed*-Strom auf. Speichern Sie die Daten als *ASCII*-Datei ab.

Was fällt Ihnen auf und wie lassen sich diese Beobachtungen erklären?

Führen Sie diese Aufgabe nur unter Aufsicht des Betreuers durch!

3.7. Aufgabe 7: Linienbreite mit dem Gitterspektrometer

Stellen Sie die Wellenlänge des *ECDLs* für diese Aufgabe auf 1050 nm ein und koppeln Sie das Licht wenn nötig nach.

Nehmen Sie anschließend mit Hilfe des Gitterspektrometers das Spektrum des *ECDL*-Lichts und des faserverstärkten Lichts auf.

Der *ECDL* wird mit 90 mA betrieben, die Pumpdiode mit 0,75 A.

Passen Sie eine Gauß-Funktion an das Spektrum an und bestimmen Sie über die angepassten Parameter die Linienbreite des Lasers.

Wie unterscheiden sich die Linienbreiten des unverstärkten und des faserverstärkten Lichts?

Welche Problematik ergibt sich bei der Linienbreitenbestimmung mithilfe des Gitterspektrometers?

3.8. Aufgabe 8: Linienbreite mit dem FPI

Bestimmen Sie die Linienbreite des unverstärkten und des faserverstärkten Lichts mit Hilfe des FPIs.

Machen Sie sich hierfür zunächst mit der Steuerung des FPI vertraut.

Koppeln Sie das Licht jeweils über einen Beamwalk in das FPI ein und optimieren Sie die eingekoppelte Leistung.

Passen Sie dann an die aufgenommenen Daten eine Airy-Funktion an. Die angepassten Parameter geben u.A. die Reflektivität der Spiegel an. Durch die Reflektivität können Sie die Finesse des FPIs bestimmen. Der FSR des FPIs beträgt 1,5 GHz. Aus Finesse und FSR kann dann die gemessene Linienbreite bestimmt werden. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse miteinander.

Welche Problematik ergibt sich bei dieser Linienbreitenbestimmung mit Hilfe des FPIs?

Literatur

1. L. Ricci, M. Weidemüller, T. Esslinger, A. Hemmerich, C. Zimmermann, V. Vuletic, W. König, T.W. Hänsch, A compact grating-stabilized diode laser system for atomic physics, Optics Communications, Volume 117, Issue 5, 1995, Pages 541-549.
2. J. Limpert, F. Roser, S. Klingebiel, T. Schreiber, C. Wirth, T. Peschel, R. Eberhardt und A. Tunnermann. The Rising Power of Fiber Lasers and Amplifiers. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 13 (2007), 537–545.
3. V. Ter-Mikirtychev, Fundamentals of Fiber Lasers and Fiber Amplifiers, 1.Auflage (2014), Springer Verlag
4. D. Meschede, Optik, Licht und Laser, 3.Auflage (2005), Teubner Verlag
5. W. Demtröder, Laserspektroskopie Grundlagen und Techniken, 5.Auflage (2007), Springer Verlag