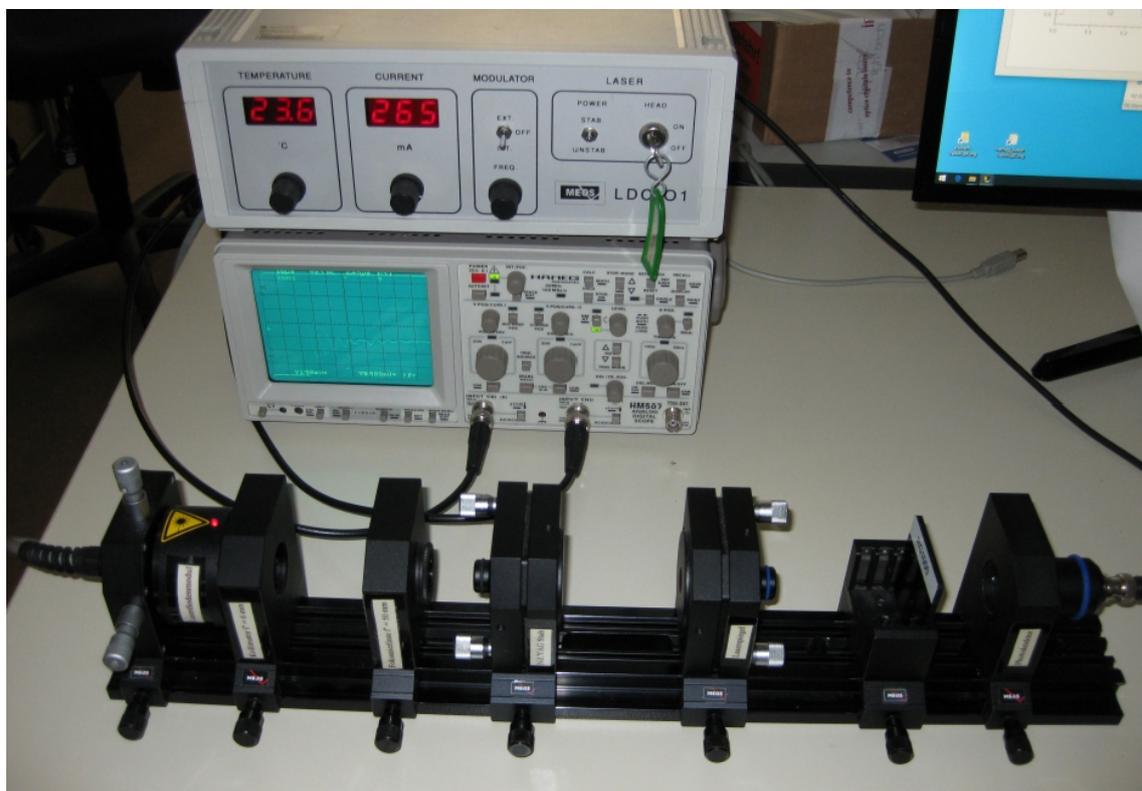


Nd:YAG-Laser und Halbleiterlaser

Lernziele:

- Verhalten eines Halbleiterlasers bei Veränderung von Temperatur und Diodenstrom.
- Optisches Pumpen mit einem Halbleiterlaser.
- Frequenzverdopplung durch nichtlineare optische Bauelemente.



Lasersicherheit

Verhaltensregeln beim Arbeiten mit Lasern der Klasse 3B

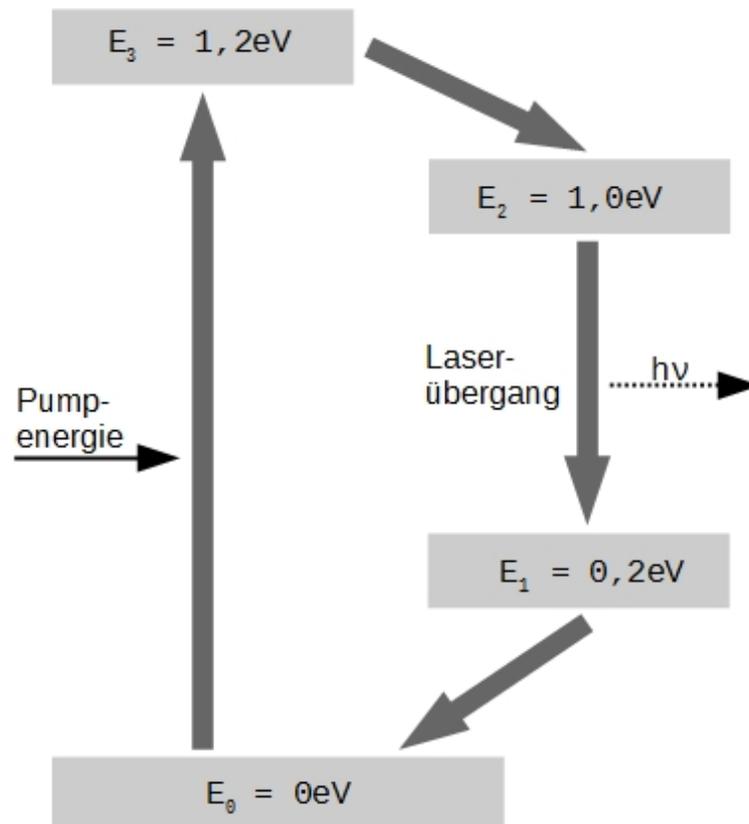
Die zugängliche Laserstrahlung ist für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut gefährlich. Der direkte Blick in den Strahl ist immer gefährlich. Die Betrachtung des diffus reflektierten Lichts ist bei hinreichendem Abstand möglich. Bei Justage - Arbeiten an Lasern der Klasse 3B dürfen keine spiegelnden Werkzeuge oder sonstige spiegelnden Gegenstände in den Strahlengang gebracht werden. Armbanduhr und Ringe müssen vor Beginn der Arbeiten abgelegt werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbericht	1
2. Diodenlaser	3
2.1 Grundjustierung	3
2.2 Absorptionsspektrum zur Kalibration der Diodenlaserwellenlänge	4
3. Nd:YAG-Laser	7
3.1 Lebensdauerermessung des Nd - Ions im angeregten Zustand	7
3.2 Nd:YAG - Laserbetrieb	8
3.3 Messung der relativen Ausgangsleistung des Nd:YAG - Lasers	9
4. Frequenzverdopplung	10
4.1 Resonatorinterne Frequenzverdopplung	10
4.2 Resonatorexterne Frequenzverdopplung	11

1. Vorbericht

Die folgende Abbildung zeigt das fiktive Vierniveauschema eines optisch gepumpten Lasers mit seinen energetischen Lagen. Das aktive Medium mit der Brechzahl $n_M = 1$ befindet sich in einem optischen Resonator.



- Skizzieren und beschreiben Sie den Aufbau eines optisch gepumpten Lasers?
- Ordnen Sie den einzelnen Energieniveaus die folgenden Begriffe zu (Mehrfachnennungen sind möglich):
Unteres Laserniveau, oberes Laserniveau, Pumpniveau, Grundniveau, metastabiles Niveau
- Welche Energieniveaus sollen eine möglichst kurze und welche eine möglichst lange Lebensdauer besitzen?

- d.) An welchen Übergängen findet Absorption, spontane- und induzierte Emission statt?
- e.) Berechnen Sie die Wellenlänge der Pump- und Laserstrahlung des fiktiven Lasersystems.
- f.) Wie groß ist der theoretische optische Wirkungsgrad des Systems?
- g.) Welche Wellenlänge besitzt der frequenzverdoppelte Laserstrahl?

2. Diodenlaser

2.1 Grundjustierung

Zur Inbetriebnahme der Laserdiode wird das Modul auf die Schiene gesetzt und arretiert. Das Laserdiodenmodul besteht aus einer XY-Verstelleinheit, in der die Laserdiode eingebaut ist. Innerhalb der Laserdiode befindet sich die Monitordiode zur Überwachung der Laserausgangsleistung, ein Thermistor zur Messung und ein Peltierelement zur Regelung der Diodentemperatur.

Alle Regler und der Schlüsselschalter auf der Frontseite des Steuergerätes sind am Linksanschlag. Der Kippschalter Laserpower steht auf STAB. (optische Laserleistung wird stabilisiert) und der des Modulators auf OFF. Das Steuergerät wird an der Rückseite mit dem Netzschalter eingeschaltet. Die rote Warnlampe auf dem Diodenlasermodul leuchtet auf und signalisiert, dass Laserstrahlung austreten kann. Die beiden LED-Anzeigen zeigen den eingestellten Wert der Temperatur in °C und den Injektionsstrom in mA an. Mit einem IR-Wandlerschirm kann die austretende Strahlung sichtbar gemacht werden. Bei höheren Injektionsströmen wird die austretende Strahlung so intensiv, dass sie auch auf einem Blatt Papier sichtbar wird.

Zum Einsetzen des Kollimators und anderer Bauelemente während der Versuche wird der Injektionsstrom auf den kleinsten Wert gestellt und die Laserdiode mit dem Schlüsselschalter ausgeschaltet, damit nicht unerwünschte Reflexionen beim Umbau auftreten. Der Kollimator wird nun, wie in Abb. 2.1 dargestellt, vor das Laserdiodenmodul gesetzt, die Laserdiode wieder eingeschaltet und der Injektionsstrom auf ca. 200 mA eingestellt.

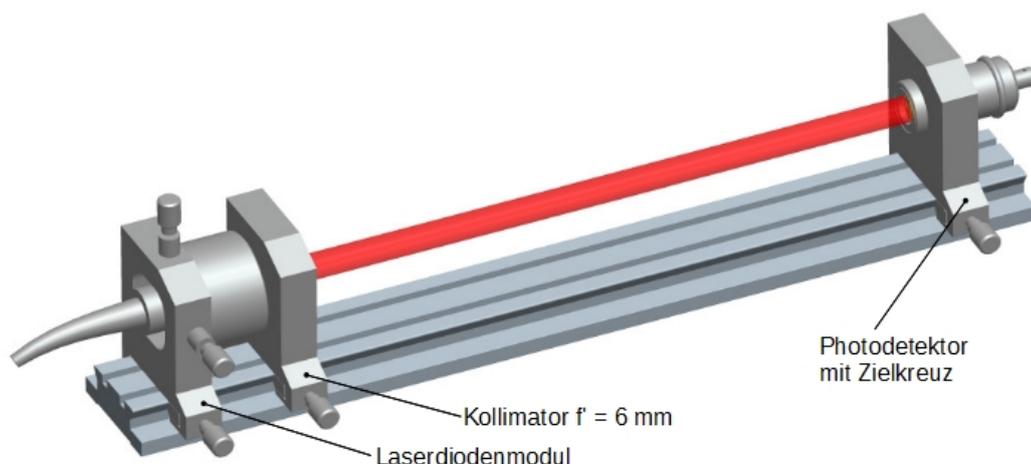


Abb. 2.1 Laserdiode mit Kollimator

Durch Verschieben des Kollimators und gleichzeitiges Beobachten der Laserstrahlung mit dem Wandlerschirm wird die optimale Position (Licht der Laserdiode nahezu parallel) des Kollimators gesucht. Da die Diode ein 12-Streifenelement ist, wird das Strahlprofil ein flaches Rechteck darstellen. Das Zentrum des Rechteckes sollte in der Mitte des Zielkreuzes liegen. Ist das nicht der Fall, kann mit den Justierschrauben am Laserdiodenmodul der Strahlverlauf einjustiert werden.

2.2 Absorptionsspektrum zur Kalibration der Diodenlaserwellenlänge

Eine besondere Eigenschaft der Diodenlaser ist die Abhängigkeit der Laserwellenlänge von der Temperatur und dem Injektionsstrom. Im folgenden Versuch soll die Wellenlängenabhängigkeit der Diodenlaserstrahlung von der Temperatur zur Messung des Absorptionsspektrums der Nd-Ionen genutzt werden.

In Abb. 2.2 ist die relative Absorption des Nd:YAG-Kristalls in Abhängigkeit von der Wellenlänge dargestellt. Das Diagramm zeigt den Bereich der Wellenlängen, die mit der Temperaturregelung der Laserdiode eingestellt werden können. Aus dem Diagramm entnimmt man, dass bei einer Wellenlänge von $\lambda = 808,4 \text{ nm}$ das Nd-Ion besonders effektiv gepumpt werden kann.

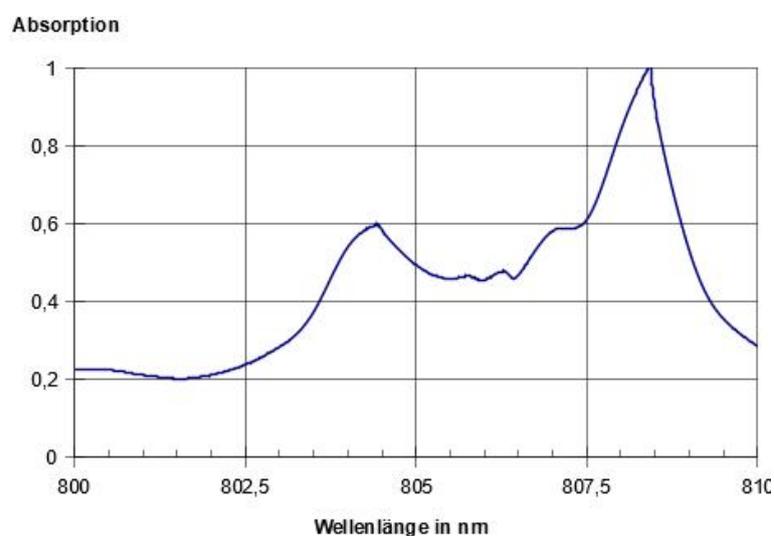


Abb. 2.2 Absorptionsspektrum des Nd YAG-Kristalls

Zur Absorptionsmessung wird in den Versuchsaufbau in einem Abstand von ca. 50 mm hinter dem Kollimator die Fokussierlinse auf die Schiene gesetzt (s. Abb. 2.3). Die Fokus-

sierlinse soll die Pumpstrahlung in den Nd:YAG Kristall fokussieren.

In einem Abstand von ca. 60 mm von der Fokussierlinse entsteht ein Fokus der Diodenlaserstrahlung. Durch Einstellen des Injektionsstromes auf max. 200 mA wird mit Hilfe des Zielkreuzes die Position des Fokus überprüft und gegebenenfalls mit den Justierschrauben am Diodenlasermodul korrigiert.

Um den Verstärker bei den folgenden Messungen nicht zu übersteuern, wird der Photodetektor an das hintere Ende der Schiene geschoben und eine Verstärkung von 5 eingestellt.

Bevor man das Diodenlasermodul wieder abschaltet, markiert man den Ort des Fokus, da im folgenden der Nd:YAG-Stab so positioniert werden muss, dass sich der Fokus innerhalb des Stabes befindet.

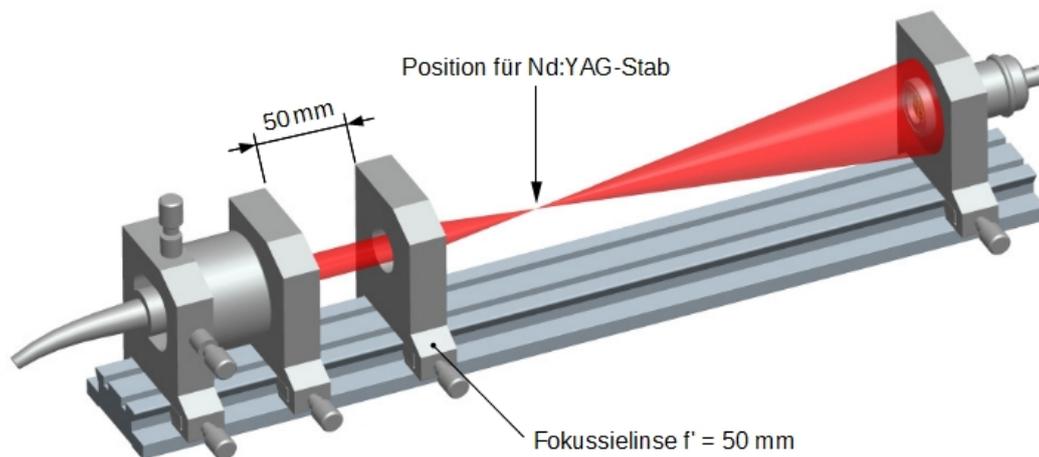


Abb. 2.3 Versuchsaufbau mit eingesetzter Fokussierlinse

Jetzt wird in dem bestehenden Aufbau der Halter mit dem Nd:YAG-Stab eingesetzt. Eine Seite des Stabes ist mit einer für die Laserwellenlänge hochreflektierenden Schicht bedampft und bildet somit den linken Resonatorspiegel.

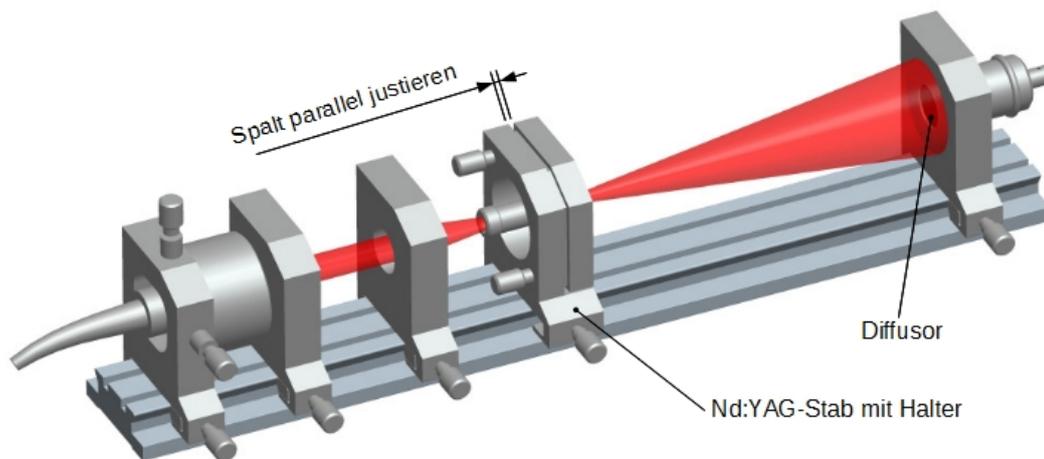


Abb. 2.4 Aufbau zur Absorptionsmessung

Das aus den Nd:YAG-Stab austretende Restpumplicht kann mit weißem Papier beobachtet werden. Verändert man die Temperatur der Laserdiode (\Rightarrow Wellenlängenänderung), so erkennt man die sich ändernde Intensität des Restpumplichts. Ein Maximum der Absorption bzw. Minimum der Transmission ist besonders stark ausgeprägt. Da bei dieser Laserdiodentemperatur der Pumpwirkungsgrad am größten ist, sollen die späteren Laserexperimente bei dieser Temperatur durchgeführt werden.

Aufgabe:

Nehmen Sie das Transmissionsspektrum des Nd:YAG-Kristalls bei $I = 550\text{mA}$ als Funktion der Laserdiodentemperatur auf. Bevor mit der Messung begonnen wird, muß das Multimeter auf Null gesetzt werden.

Die Messreihe beginnt bei einer Laserdiodentemperatur von 10°C . Nach einer Temperaturänderung wartet man einige Zeit ab, bis die Temperatur einen konstanten Wert erreicht hat. Bei den Messungen ist darauf zu achten, dass der einmal eingestellte Injektionsstrom konstant gehalten wird ($\pm 1\text{mA}$). Von hier beginnt die Messung in Schritten von einem Grad ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) bis zu einer Temperatur von 35°C .

Auswertung:

Normieren Sie die Messwerte und tragen Sie diese in ein Diagramm ein. Bestimmen Sie mit Hilfe von Abb. 2.2 die Wellenlänge der Laserstrahlung im Transmissionsminimum.

3. Nd:YAG-Laser

3.1 Lebensdauermessung des Nd - Ions im angeregten Zustand

Ein Elektron im metastabilen Energieniveau des Nd-Ions im angeregten Zustand besitzt eine typische Lebensdauer von ca. $230\mu s$, d.h., es vergehen $230\mu s$ bis die normierte Intensität der spontanen Emission auf einen Wert von $1/e = 0,37$ abgeklungen ist.

Durch periodisches optisches Pumpen kann die sich ändernde Intensität der spontanen Emission auf einem Oszilloskop dargestellt werden. Periodisches optisches Pumpen ist mit Laserdioden ohne großen Aufwand möglich, da nur der Injektionsstrom moduliert werden muss. Dies geschieht mit dem im Steuergerät eingebauten Rechteck-Modulator. Den Aufbau zur Messung der Lebensdauer zeigt Abb. 3.1.

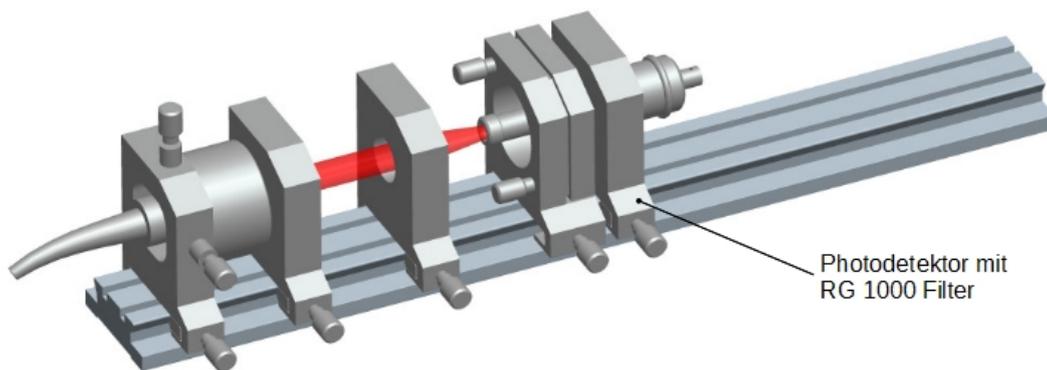


Abb. 3.1 Aufbau zur Lebensdauermessung

Direkt hinter dem Nd:YAG-Stab wird der Halter mit dem Photodetektor und dem RG 1000 Filter positioniert. Der Filter hat die Aufgabe, die nicht absorbierte Pumpstrahlung zu unterdrücken, wobei Fluoreszenzlicht der Wellenlänge oberhalb 1000 nm durch den Filter zum Photodetektor gelangt.

Der Ausgang des Verstärkers wird auf den einen Kanal des Oszilloskops gelegt. Auf den zweiten Kanal wird das Signal gelegt, mit dem die Laserdiode moduliert wird. Dieses kann auf der Rückseite des Steuergerätes am Anschluß INT.MOD. abgegriffen werden. Zu Beginn der Messung wird ein Injektionsstrom mit der dazugehörigen Temperatur, für den maximale Absorption auftritt, eingestellt (s. Messung 2.2). Nun wird der interne Modulator eingeschaltet (Kippschalter auf INT.). Die Verstärkung am Steuergerät muss auf 100 gestellt werden.

Aufgabe:

Drucken Sie die auf dem Oszilloskops dargestellten Kurven aus.

Auswertung:

Bestimmen Sie mit Hilfe der ausgedruckten Kurven die Lebensdauer des Nd-Ions.

3.2 Nd:YAG - Laserbetrieb

Der Aufbau aus dem vorhergehenden Experiment wird um den Laserspiegel (SHG 100, Radius = 100 mm) ergänzt und der Verstärker auf 1 gestellt. Um die Spiegeljustierung zu erleichtern, ist darauf zu achten, dass die bewegliche Justierplatte des Spiegelhalters parallel zur feststehenden Grundplatte steht. Der maximale Abstand der Resonatorspiegel ergibt sich aus dem Stabilitätskriterium und beträgt 100 mm.

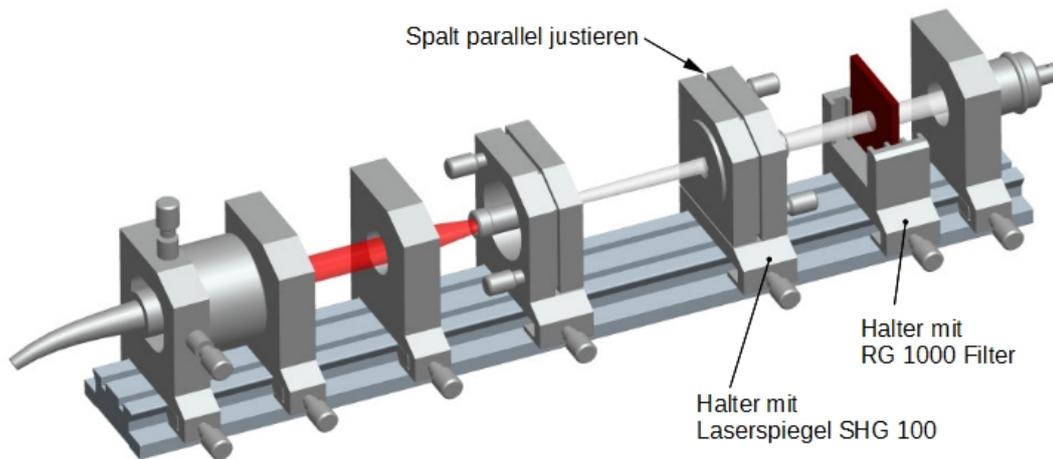


Abb. 3.2 Versuchsaufbau zur Messung der rel. Ausgangsleistung des Nd:YAG-Lasers

Da die Nd:YAG-Laserstrahlung mit der Wellenlänge von 1064 nm außerhalb des sichtbaren Spektralbereichs für das Auge liegt, verwendet man zum Nachweis der IR-Strahlung einen Wandlerschirm, welcher vor Gebrauch im Umgebungslicht aufgeladen werden muss. Um einen störenden Einfluss der Pumpstrahlung zu vermeiden, positioniert man den Wandlerschirm im Strahlengang hinter dem RG 1000 Filter. Tritt Nd:YAG-Laserstrahlung auf, erzeugt sie auf der aktiven Fläche des Wandlerschirms einen weißen Leuchtfleck. Je nach Justierzustand des Laserresonators kann der Leuchtfleck zerfranst oder aufgefächert erscheinen. Die Resonatorjustierung erfolgt bei moduliertem Laserdiodenstrom mit Hilfe des Photodetektors und Oszilloskops.

Kann jedoch keine Laserstrahlung festgestellt werden, löst man die Klemmschraube des hinteren Spiegelhalters und verdreht ihn um die vertikale Achse hin und her. Gleichzeitig wird die Justierschraube für die horizontale Achse in eine Richtung gedreht und das Bild am Oszilloskop beobachtet. Schwingt der Laser an, so stellt man auf dem Bildschirm ein kurzes „Aufblitzen“ fest. Ist die Klemmschraube wieder angezogen, dann sollte nach kurzem Nachjustieren Laserstrahlung auftreten.

Die Resonatorjustierung wird nun so optimiert, dass die Intensität der Nd:YAG Laserstrahlung, siehe Oszilloskop, maximal ist. Dazu kann es auch notwendig sein, die Fokussierlinse auf der Schiene geringfügig zu verschieben. Dadurch wird erreicht, dass der Nd:YAG Laserkristall optimal ausgeleuchtet wird.

Aufgabe:

Drucken Sie das Bild mit den Lasereinschwingvorgängen (Spiking) aus.

Auswertung:

Beschreiben Sie mit Hilfe des Vierniveauschemas den Einschwingvorgang.

3.3 Messung der relativen Ausgangsleistung des Nd:YAG - Lasers

Die Messung wird mit dem gleichen Aufbau des vorhergehenden Experiments durchgeführt. Schalten Sie die interne Modulation des Laserdiodenstroms aus und stellen Sie die Verstärkung auf 5.

Aufgabe:

Nehmen Sie eine Messreihe für die relative Ausgangsleistung des Nd:YAG-Lasers im Bereich von 150 mA bis 550 mA auf. Erhöhen Sie dabei den Injektionsstrom schrittweise um 50 mA . Die Laserdiodentemperatur wird auf den Wert eingestellt, bei dem sich in der Messung von Punkt 2.2 ein Transmissionsminimum ergab.

Auswertung:

Stellen Sie die Messergebnisse in einem Diagramm dar und kommentieren Sie das Ergebnis.

4. Frequenzverdopplung

Zur Erzeugung der Frequenzverdopplung kann ein nichtlinearer optische Kristall, hier KTP (Kalium Titanyl Phosphat), innerhalb oder außerhalb des Resonators eingesetzt werden. Da für eine effiziente Frequenzverdopplung eine möglichst hohe Intensität der Grundwelle ($\lambda = 1064\text{ nm}$) erforderlich ist, empfiehlt es sich, den KTP Kristall innerhalb des Resonators anzuordnen und einen Auskoppelspiegel mit einer geringen Transmission für die Grundwelle zu verwenden. Für die erstmalige Justierung des Aufbaus nach Abb. 4.1 sollte daher der Auskoppelspiegel mit der Bezeichnung (SHG 100, Reflexionsgrad = 99,98 %) eingesetzt sein.

Die Parameter am Steuergerät werden so eingestellt, dass sich für die Grundwelle maximale Leistung ergibt. Diese Einstellungen bleiben bei allen drei Versuchen gleich.

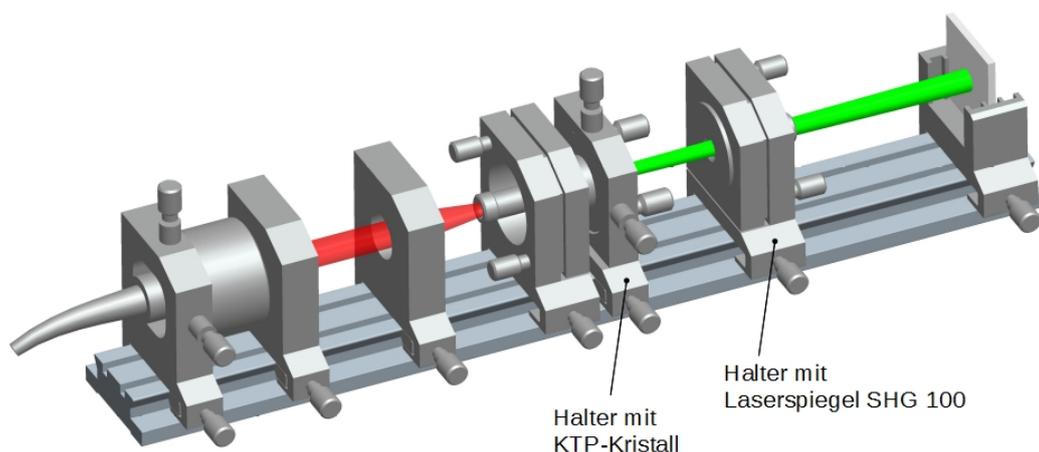


Abb. 4.1 Aufbau zur resonatorinternen Frequenzverdopplung

4.1 Resonatorinterne Frequenzverdopplung

Aufgabe:

Bei dem folgenden Versuch ist ein visueller Vergleich der Helligkeit der 2. Harmonischen bei zwei verschiedenen Aufbauten durchzuführen.

1.) Resonatorinterne Frequenzverdopplung mit Spiegel SHG 100

Dieser Versuch wird mit dem Aufbau nach Abbildung 4.1 durchgeführt. Beurteilen Sie die Helligkeit der grünen Strahlung auf dem weißen Schirm.

2.) Resonatorinterne Frequenzverdopplung mit Spiegel R100-2%

Nun wird der Auskoppelspiegel gewechselt. Dazu wird der Spiegel mit der Klemmung aus dem Halter gedreht (Vorsicht, dass der Spiegel nicht aus der Klemmung fällt) und der Spiegel mit der Bezeichnung "R100-2%" eingesetzt. Dieser besitzt einen Krümmungsradius von $R = 100\text{ mm}$ und einen Reflexionsgrad von 98 % (Transmissionsgrad $\tau = 2\%$). Der Nd:YAG Laser wird wieder auf maximale Leistung der Grundwelle justiert. Da die Transmission des Spiegels größer als beim vorhergehenden Aufbau ist, tritt intensivere Nd:YAG Laserstrahlung aus. Anschließend wird der Verdopplerkristall wieder in den Resonator, möglichst nahe am Nd:YAG Kristall, positioniert und die Justierung optimiert. Beurteilen Sie wieder die Helligkeit der grünen Laserstrahlung auf dem Schirm.

Auswertung:

Beschreiben Sie die Funktionsweise der Frequenzverdopplung. Warum ist die Helligkeit der grünen Laserstrahlung beim zweiten Versuch geringer als beim ersten?

4.2 Resonatorexterne Frequenzverdopplung

Der KTP Kristall wird wieder aus dem Resonator entfernt. Direkt hinter dem Auskoppelspiegel wird, wie in Abbildung 4.2 gezeigt, eine Fokussierlinse eingebracht.

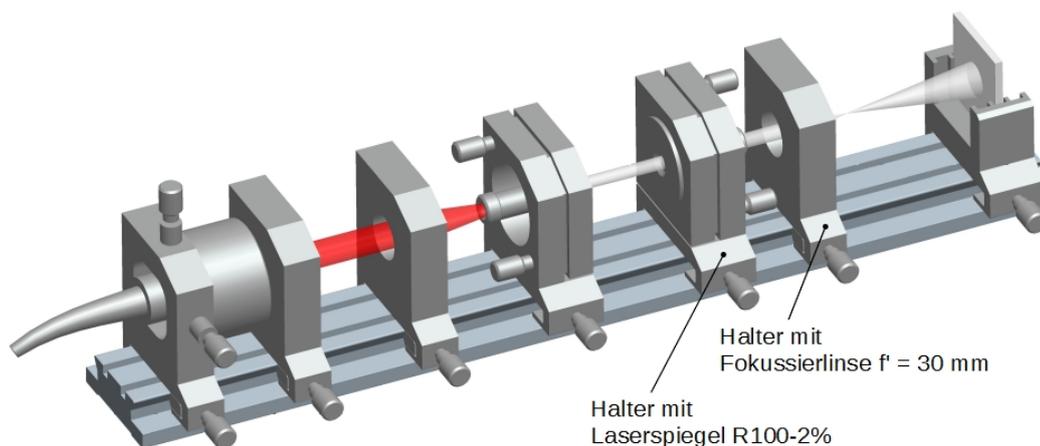


Abb. 4.2 Versuchsaufbau mit eingesetzter Fokussierlinse

Die Linse hat die Aufgabe, die Grundwelle in den KTP-Kristall zu fokussieren. Somit wird die Intensität in dem Kristall wesentlich höher als ohne. Dadurch ist es bei diesem Versuchsaufbau überhaupt erst möglich, frequenzverdoppelte Strahlung zu erzeugen.

Wie in Abbildung 4.3 gezeigt, positionieren Sie den KTP-Kristall direkt hinter der Fokussierlinse. An den Justierschrauben des Resonators und des KTP-Kristalls kann versucht werden, die Helligkeit der grünen Laserstrahlung zu optimieren.

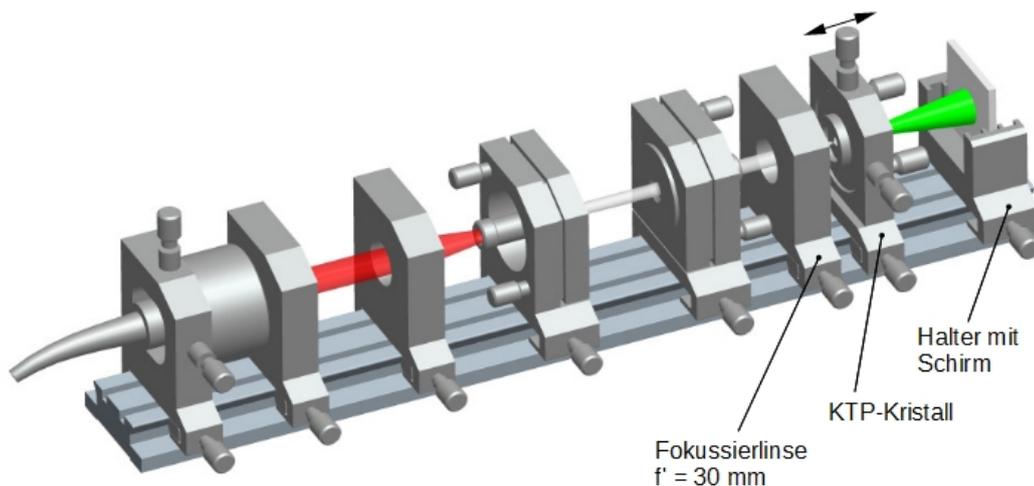


Abb. 4.1 Aufbau zur externen Frequenzverdopplung

Verschieben Sie nun den Kristall langsam in Richtung des Schirms und beobachten Sie den Verlauf der Helligkeit der Laserstrahlung.

Auswertung:

Beschreiben Sie den Verlauf der Helligkeit der grünen Laserstrahlung. Wo ist die Helligkeit maximal und warum?