

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Versuchs	1
2 Versuchsaufbau	1
3 Versuchsdurchführung	1
3.1 Kalibrierung der Fotodiode	1
3.2 Laserleistung und Wirkungsgrad des Diodenlasers	1
3.3 Absorption der Pumpstrahlung im Pr:YLF-Kristall	2
3.4 Aufbau des Resonators und Inbetriebnahme des Lasers	2
4 Auswertung	3
4.1 Kalibrierung der Fotodiode	3
4.2 Laserleistung und Wirkungsgrad des Diodenlasers	5
4.3 Absorption der Pumpstrahlung im Pr:YLF-Kristall	5
5 Diskussion	10
5.1 Versuchsergebnisse	10
5.2 Diskussion der Messmethoden	11
5.3 Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge	11
A Anhang	12
A.1 Rohdaten	12

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch sollte ein Pr:YLF-Laser aufgebaut werden. Dafür sollte zunächst der Fotodiodenstrom und die Laserleistung für verschiedene Regelspannungen mit und ohne ND-Filter (Graufilter) gemessen werden, um die Fotodiode und den Graufilter zu kalibrieren. Anschließend sollte die Leistungsaufnahme des Diodenlasers und die Absorption der Pumpstrahlung im Pr:YLF-Kristall gemessen werden. Schließlich sollte der Resonator aufgebaut werden, der Laser in Betrieb genommen werden und die Laserleistung und der Wirkungsgrad des Lasers bestimmt werden.

2 Versuchsaufbau

Auf einem optischen Tisch war eine optische Bank montiert. Ein Diodenlaser, der mit zwei Netzteilen verbunden war, war parallel zur optischen Bank ausgerichtet. Zwei Spiegel waren so ausgerichtet, dass das Licht vom Diodenlaser auf die optische Achse gelenkt wurde. Danach wurde das Licht entlang der optischen Bank zunächst durch eine Irisblende, dann durch eine Linse in einem Halter mit xy -Translation, einen ebenen Einkopplungsspiegel in einem Halter mit Winkeleinstellung, einen Pr:YLF-Kristall in einem Halter mit xy -Translation, einen sphärischen Auskopplungsspiegel in einem Halter mit Winkeleinstellung, einen Graufilter (ND-Filter) in einem fixen Halter, einen Farbfilter in einem fixen Halter, und schließlich durch eine weitere Irisblende geleitet. Am Ende der optischen Bank befand sich eine Fotodiode, die mit einem Analogmultimeter verbunden war. Außerdem gab es ein kalibriertes Laserleistungsmessgerät, bestehend aus Messkopf und Monitor.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Kalibrierung der Fotodiode

Im ersten Versuchsteil sollte die Fotodiode mithilfe des Laserleistungsmessgeräts kalibriert werden. Dafür wurden zunächst alle Komponenten, die auf der optischen Bank montiert waren, abgebaut. Zuerst wurden Messungen ohne den ND-Filter gemacht. Am Netzteil, das die Leistung für den Diodenlaser liefert, wurde eine Spannung von 12 V eingestellt. Dann wurden am anderen Netzgerät verschiedene Regelspannungen eingestellt. Für jede Regelspannung wurde der Fotodiodenstrom gemessen und anschließend (ohne die Regelspannung zu verändern) wurde der Messkopf des Laserleistungsmessgeräts in das Licht gestellt und die Leistung gemessen. Für jede Messung wurden Regelspannung, Spannung und Stromstärke des ersten Netzgeräts, Fotodiodenstrom und Laserleistung notiert. Dabei wurden die Regelspannung und die Spannung und Stromstärke des ersten Netzgeräts direkt von den Netzgeräten abgelesen, der Fotodiodenstrom wurde mit dem analogen Amperemeter gemessen.

Anschließend wurde der ND-Filter auf der optischen Bank montiert. Die Messungen wurden wie oben beschrieben wiederholt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Messkopf des Laserleistungsmessgeräts hinter den ND-Filter gestellt wurde.

3.2 Laserleistung und Wirkungsgrad des Diodenlasers

Der Graufilter und das Laserleistungsmessgerät wurden von der optischen Bank entfernt.

Dann wurde wieder das Netzgerät, das die Leistung für den Diodenlaser liefert, auf eine Spannung von 12 V eingestellt. Für verschiedene Regelspannungen wurde dann der Fotodiodenstrom und die Spannung und Stromstärke, die das Netzgeräts geliefert hat, gemessen.

3.3 Absorption der Pumpstrahlung im Pr:YLF-Kristall

Auf der optischen Bank wurden die Linse und dahinter der Pr:YLF-Kristall montiert. Dabei wurde der Abstand von Linse und Kristall so gewählt, dass sich der Kristall im Brennpunkt der Linse befand. Es wurden wieder für verschiedene Regelspannungen Messwerte für den Fotodiodenstrom, der Spannung und Stromstärke des Netzgeräts, das die Leistung liefert und die Regelspannung gemessen. Auch hier war das Netzgerät, das die Leistung liefert, auf 12 V eingestellt.

3.4 Aufbau des Resonators und Inbetriebnahme des Lasers

Zuletzt sollte der Resonator aufgebaut und der Laser in Betrieb genommen werden. Dafür wurden wieder alle Komponenten wie in Abschnitt 2 beschrieben auf der optischen Bank montiert. Es wurde darauf geachtet, dass sich der Kristall im Brennpunkt der Linse befand. Dann wurde versucht, die Spiegel so parallel einzustellen, dass der Resonator funktioniert und ein Laserstrahl zu beobachten war. Leider gelang dies auch nach ca. einstündigem Ausprobieren und Neujustieren der Spiegel und Linse nicht. Somit konnte auch keine Messung zur Berechnung der Laserleistung und des Wirkungsgrads durchgeführt werden.

4 Auswertung

4.1 Kalibrierung der Fotodiode

Für die Messreihe ohne den Graufilter wurde die gemessene Laserleistung P_L gegen den gemessenen Fotodiodenstrom I_f aufgetragen. Das Diagramm ist in Abb. 1 zu sehen. Die Fehler auf die Messwerte ergeben sich dabei aus den in den Herstellerangaben [1, 2, 4] genannten internen Unsicherheiten der Messgeräte. Es lässt sich grob ein linearer Zusammenhang feststellen. Deswegen wurde an die Daten eine gewichtete lineare Regression der Form

$$P_L = m_{11} \cdot I_f + c_{11} \quad (1)$$

durchgeführt. Da sich für hohe Regelspannungen u die Laserleistung und der Fotodiodenstrom kaum geändert haben, wurden diese Werte nicht für die Regression berücksichtigt. Die Regression ist auch in Abb. 1 eingetragen. Zusätzlich sind auch die Fehlergeraden miteingezeichnet. Die für die Regression verwendeten Werte sind in schwarz markiert, die nicht berücksichtigten Werte in rot markiert.

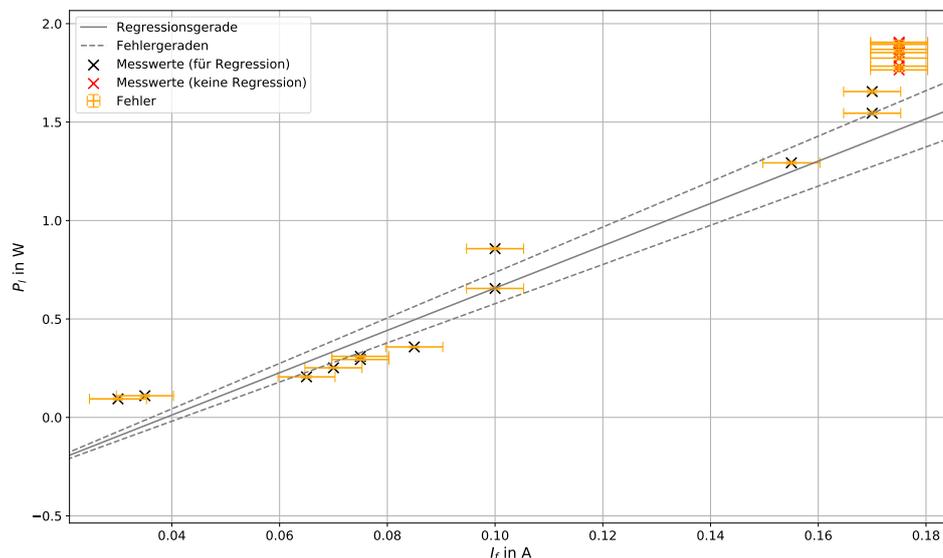


Abbildung 1: Auftragung der Laserleistung P_L gegen den Fotodiodenstrom I_f ohne Graufilter. Die zugehörigen Fehler sind auch eingezeichnet, auch wenn die Fehler auf die Leistung so klein sind, dass sie nicht sichtbar sind. An die in schwarz markierten Datenpunkte wurde eine gewichtete lineare Regression an eine Gerade durchgeführt. Diese ist zusammen mit den zugehörigen Fehlergeraden auch mit eingezeichnet.

Für die Bestwerte der Parameter aus der Regression ergibt sich:

$$m_{11} = (10,7 \pm 0,8) \text{ W A}^{-1}$$

$$c_{11} = (-0,42 \pm 0,09) \text{ W.}$$

Auch für die Messreihe mit Graufilter wurde die gemessene Laserleistung $P_{L,g}$ gegen den gemessenen Fotodiodenstrom $I_{f,g}$ aufgetragen. Diese Auftragung ist in Abb. 2 zu sehen.

Obwohl für die Messreihe mit dem Graufilter aus Zeitgründen nur wenige Messwerte aufgenommen werden konnten, ist auch hier ein linearer Zusammenhang zu erkennen. Deswegen wurde wie zuvor eine lineare Regression der Daten an eine Funktion der in Gleichung (1) beschriebenen Form $P_{L,g} = m_{12}I_{f,g} + c_{12}$ durchgeführt. Die erhaltene Regressionsgerade ist auch in Abb. 2 eingezeichnet.

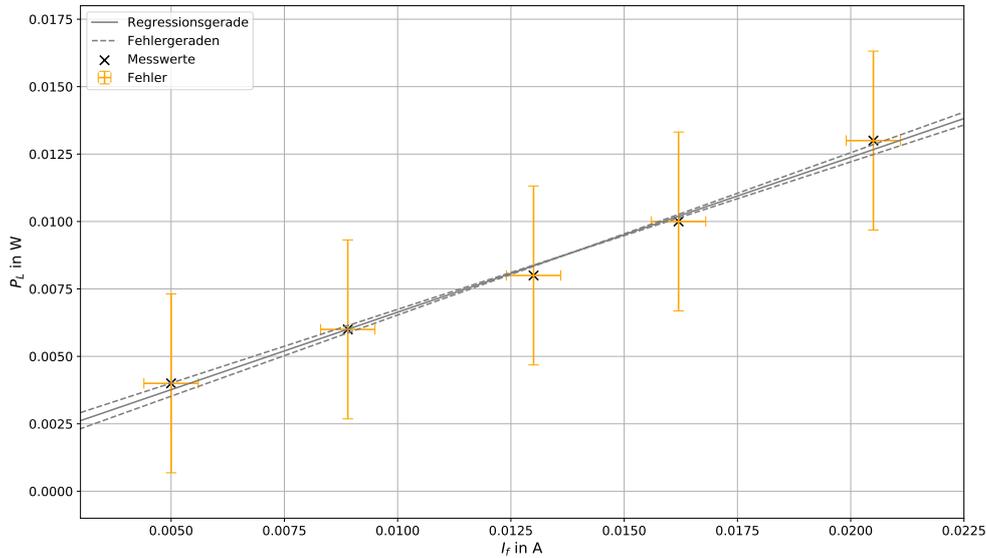


Abbildung 2: Auftragung der Laserleistung P_L gegen den Fotodiodenstrom I_f mit Graufilter. Die zugehörigen Fehler sind auch eingezeichnet. An die in Datenpunkte wurde eine gewichtete lineare Regression an eine Gerade durchgeführt. Diese ist zusammen mit den zugehörigen Fehlergeraden auch mit eingezeichnet.

Hier ergeben sich die Parameter als

$$m_{12} = (0,57 \pm 0,03) \text{ W A}^{-1}$$

$$c_{12} = (0,0008 \pm 0,0004) \text{ W.}$$

Der Transmissionsgrad T des ND-Filters ergibt sich durch

$$T = \frac{P_{L,g}}{P_L}. \quad (2)$$

Um einen möglichst repräsentativen Wert für T aus den Messdaten zu erhalten, wurde zunächst für jeden Messwert (mit und ohne Graufilter) der Quotient

$$\frac{P_L}{I_f}$$

berechnet. Anschließend wurde für die Messreihen mit und ohne Graufilter separat der Mittelwert dieses Quotienten berechnet. Für die Mittelwerte ergibt sich

$$\overline{\left(\frac{P_L}{I_f}\right)} = (5 \pm 3) \text{ W A}^{-1}$$

$$\overline{\left(\frac{P_{L,g}}{I_{f,g}}\right)} = (0,67 \pm 0,07) \text{ W A}^{-1},$$

wobei sich der Fehler aus der Standardabweichung des Mittelwerts ergibt.

Daraus lässt sich dann mit

$$T = \frac{\overline{\left(\frac{P_L}{I_f}\right)}}{\overline{\left(\frac{P_{L,g}}{I_{f,g}}\right)}}$$

der Transmissionsgrad

$$T = 0,12 \pm 0,12$$

berechnen. Der Fehler berechnet sich hierbei über Gaußsche Fehlerfortpflanzung.

Alternativ lässt sich der Transmissionsgrad auch über den Quotienten der aus der Regressionen erhaltenen Steigungen

$$T_{\text{alt}} = \frac{m_{12}}{m_{11}}$$

berechnen. Dafür ergibt sich ein Wert von

$$T = 0,053 \pm 0,005.$$

Auch hier wurde die Unsicherheit mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung berechnet.

Aus dem Transmissionsgrad lässt sich mit

$$OD = -\log_{10} T$$

berechnen. Da der für den aus den Mittelwerten berechnete Transmissionsgrad einen Fehler hat, der so groß ist, wie der Wert selbst, wurde für die Berechnung der optischen Dichte nur der aus den Steigungen der Regressionsgeraden berechnete Transmissionsgrad verwendet. Es ergibt sich eine optische Dichte von

$$OD = 1,27 \pm 0,04.$$

4.2 Laserleistung und Wirkungsgrad des Diodenlasers

Um die Laserleistung P_L aus dem Fotodiodenstrom I_f zu erhalten wurde Gleichung (1) aus dem ersten Versuchsteils verwendet. Die Fehler auf P_L wurden dabei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung aus den Parametern m_{11} und c_{11} bestimmt. Anschließend wurde die Laserleistung P_L in Abhängigkeit der vom Netzteil gelieferten Leistung P aufgetragen. Die Auftragung ist in Abb. 3 zu sehen.

Bei Ablesung des Stroms U und der Spannung I waren fast nie Schwankungen zu erkennen. Deswegen ergeben sich die Fehler auf die Leistung P hier durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung der in den Herstellerangaben [3] angegebenen internen Fehlern des Netzteils.

Da erst gemessen wurde, als ein Fotodiodenstrom am Amperemeter ablesbar war, ergibt sich der Schwellwert der Leistung P^* aus der Extrapolation der Tangente für die kleinsten Werte von P . Es ergibt sich

$$P^* = 0,34 \pm 0,08,$$

die Fehler wurden dabei geschätzt.

Um den differentiellen Wirkungsgrad $\frac{dP_L}{dP}$ oberhalb der Leistungsschwelle zu bestimmen, wurden an den in Abb. 3 erkennbaren Verlauf Tangenten angelegt. Der differentielle Wirkungsgrad ergibt sich dann aus der Steigung der Tangenten. Die Werte sind in Tabelle 1 eingetragen.

Anschließend wurde der Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_L}{P}$$

für jeden Messwert berechnet. Der Fehler ergibt sich hierbei wieder aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung. In Abb. 4 ist der Wirkungsgrad η in Abhängigkeit der Leistung P aufgetragen.

4.3 Absorption der Pumpstrahlung im Pr:YLF-Kristall

Wieder wurde mit Gleichung (1) aus dem Fotodiodenstrom I'_f der Messung mit Laser die zugehörige Laserleistung P'_L berechnet. Die Fehler wurden wie in Abschnitt 4.2 mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung der aus der Regression in Abschnitt 4.1 berechnet. Die Laserleistung P'_L wurde in Abhängigkeit der gelieferten Leistung P aufgetragen. Die Auftragung ist in Abb. 5 zu sehen. Bei Betrachtung der Abbildung fällt auf, dass einige Werte nicht sehr gut zum Verlauf der anderen

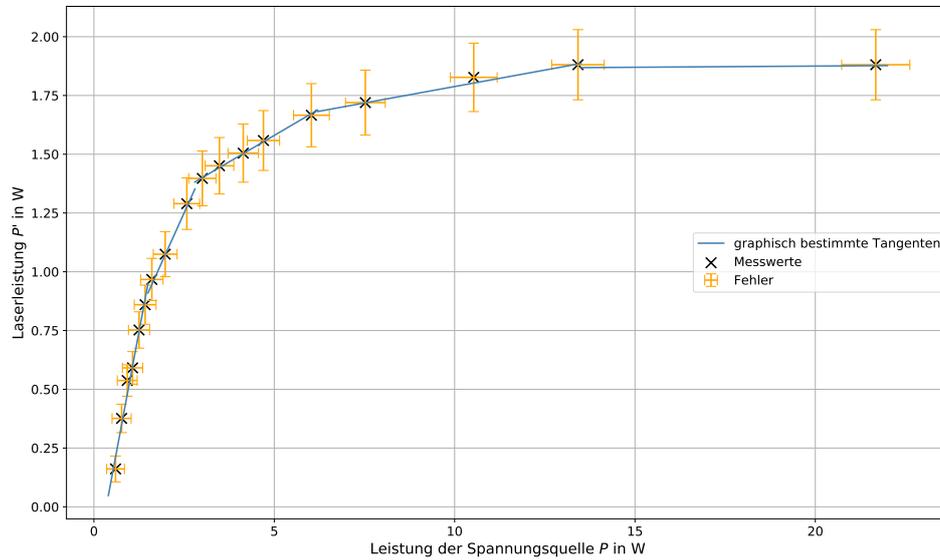


Abbildung 3: Auftragung der Laserleistung P_L des Diodenlasers gegen die vom Netzgerät gelieferte Leistung P . Die zugehörigen Fehler sind mit eingezeichnet. Um den differentiellen Wirkungsgrad zu bestimmen, wurden für verschiedene Bereiche graphisch Tangenten an die Messwerte bestimmt. Die Tangenten sind auch eingezeichnet, die daraus bestimmten differentiellen Wirkungsgrade sind in Tabelle 1 eingetragen.

Bereich für P in W	differentieller Wirkungsgrad $\frac{dP_L}{dP}$
$0,4 \leq P \leq 1,5$	$0,82 \pm 0,06$
$1,5 \leq P \leq 2,8$	$0,34 \pm 0,02$
$2,8 \leq P \leq 6,2$	$0,09 \pm 0,05$
$6,2 \leq P \leq 13,5$	$0,028 \pm 0,003$
$13,5 \leq P \leq 22,0$	$0,0010 \pm 0,0010$

Tabelle 1: Werte für den differentiellen Wirkungsgrad dP_L/dP des Diodenlasers in Abhängigkeit von der Leistung des Netzteils P . Der differentielle Wirkungsgrad wurde graphisch durch Anlegen von Tangenten an verschiedene Bereiche für Werte von P der Auftragung von P_L gegen P bestimmt. Die Fehler auf die Steigungen wurde dabei geschätzt. Die Tangenten sind zusammen mit der Auftragung von P_L gegen P in Abb. 3 zu sehen.

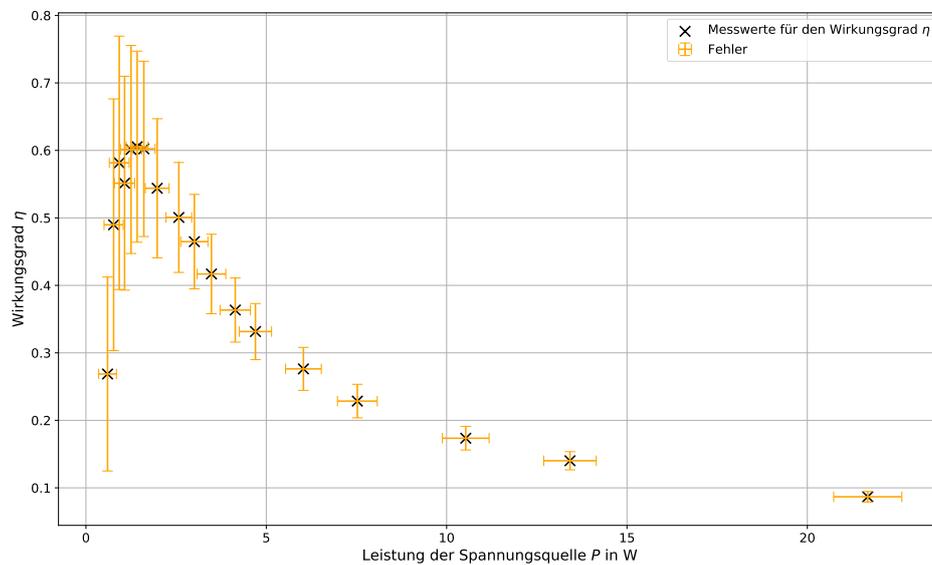


Abbildung 4: Auftragung des Wirkungsgrad η des Diodenlasers für verschiedene vom Netzteil gelieferte Leistungen P . Die zugehörigen Fehler sind mit eingezeichnet.

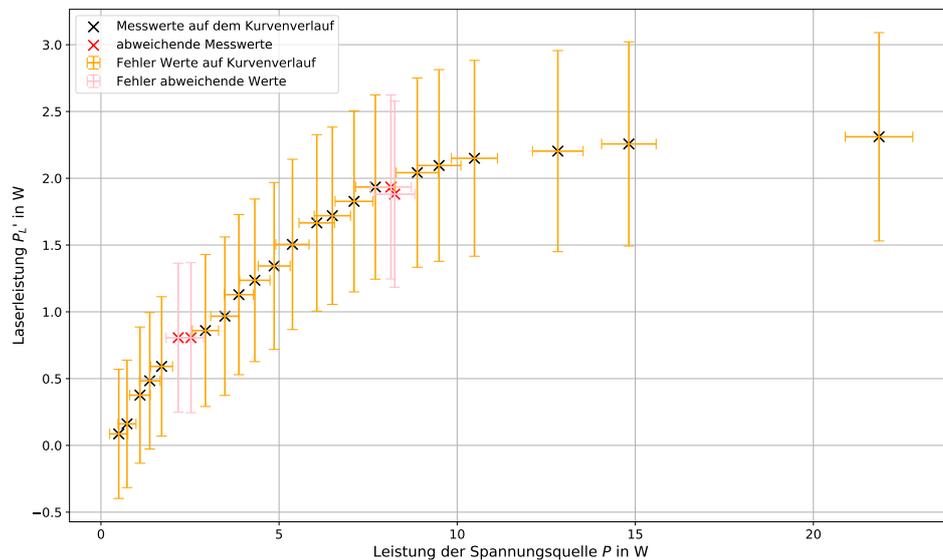


Abbildung 5: Auftragung der Laserleistung nach dem Kristall P'_L gegen die vom Netzgerät gelieferte Leistung P . Die Fehler auf die Werte sind mit eingezeichnet. Die Werte, die nicht gut zu den anderen passen, sind in pink markiert.

Werte zu passen scheinen. Da auch in den weiteren Berechnungen diese Werte nicht gut zu den Anderen gepasst haben, wurden hier diese Werte in pink markiert.

Anschließend wurde mit

$$P_A = P_L - P'_L \quad (3)$$

die im Kristall absorbierte Leistung berechnet.

Um diese zu berechnen, war es nötig, die Leistung des Diodenlasers P_L ohne Kristall für die zugehörige Messwerte für P und P'_L zu kennen. Da der Kristall montiert war, konnte P_L nicht direkt aus dem Fotodiodenstrom berechnet werden. Deswegen wurden die in Abschnitt 4.2 zur Bestimmung des differentiellen Wirkungsgrads an die Daten angelegten Tangenten wiederverwendet. Für jeden Messwert von P'_L wurde aus dem zugehörigen Wert für P geschaut, in welchem Bereich sich der Wert von P in Abb. 3 befindet. Dann wurde die Geradengleichung der zugehörigen Tangente verwendet, um den Wert für P_L in Abhängigkeit von P zu bestimmen. Daraus konnte dann mit Gleichung (3) die im Kristall absorbierte Leistung berechnet werden. Hierbei ergibt sich der Fehler mit

$$s_{P_A} = \sqrt{s_{P_L}^2 + s_{P'_L}^2}$$

aus der Gaußschen Fehlerfortpflanzung.

Die so bestimmten Werte für P und P_A sind in Tabelle 2 eingetragen.

P in W	P_A in W
0,5 ± 0,3	0,0 ± 0,4
1,1 ± 0,3	0,2 ± 0,5
3,5 ± 0,4	0,5 ± 0,5
6,1 ± 0,5	1,0 ± 0,6
10,5 ± 0,6	-0,3 ± 0,7
12,9 ± 0,7	-0,3 ± 0,7
14,9 ± 0,8	-0,4 ± 0,7
21,9 ± 0,9	-0,4 ± 0,7
0,7 ± 0,3	0,2 ± 0,4
1,4 ± 0,3	0,4 ± 0,5
1,7 ± 0,3	0,4 ± 0,5
2,9 ± 0,4	0,5 ± 0,5
3,9 ± 0,4	0,3 ± 0,5
4,3 ± 0,4	0,3 ± 0,6
4,9 ± 0,4	0,2 ± 0,6
5,4 ± 0,5	0,1 ± 0,6
6,5 ± 0,5	-0,3 ± 0,6
7,1 ± 0,5	-0,1 ± 0,6
7,7 ± 0,6	-0,2 ± 0,7
8,9 ± 0,6	-0,3 ± 0,6
9,5 ± 0,6	-0,3 ± 0,7

Tabelle 2: Berechnete Werte für die Leistung P , die das Netzgerät geliefert hat und die im Kristall absorbierte Leistung P_A zusammen mit den jeweils zugehörigen Fehlern.

Anschließend wurde die absorbierte Leistung P_A im Kristall in Abhängigkeit der gelieferten Leistung P aufgetragen. Die Auftragung ist in Abb. 6 zu sehen.

Zum Vergleich von P_L , P'_L und P_A sind die Werte aus Abb. 3, 5 und 6 zusammen in Abb. 7 dargestellt. Um die Einzelwerte besser erkennen zu können sind hier die Fehlerbalken nicht mit eingezeichnet.

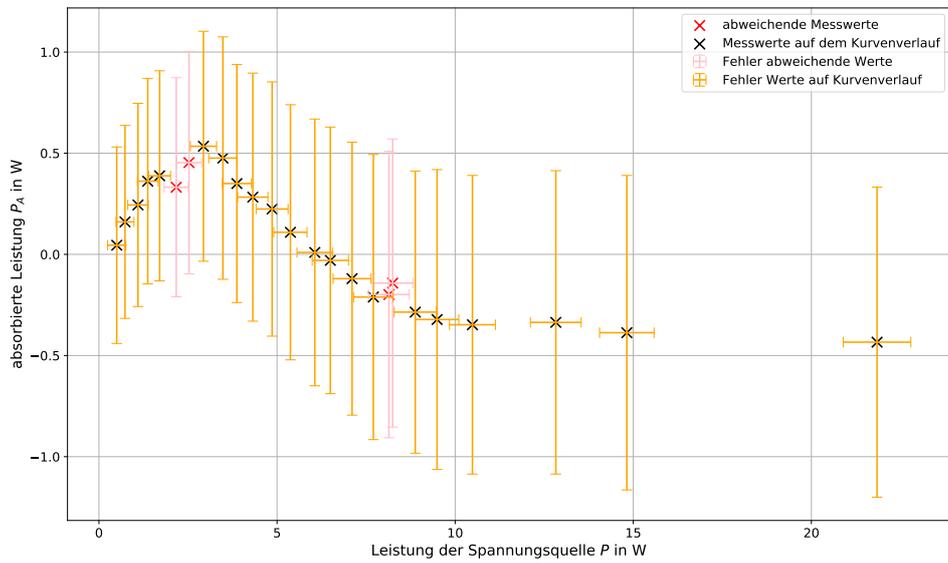


Abbildung 6: Auftragung der vom Kristall absorbierten Leistung P_A in Abhängigkeit der vom Netzgerät gelieferten Leistung P . Die zugehörigen Fehler sind mit eingezeichnet. Auch hier sind die Werte, die nicht sehr gut zu den anderen passen, in pink markiert.

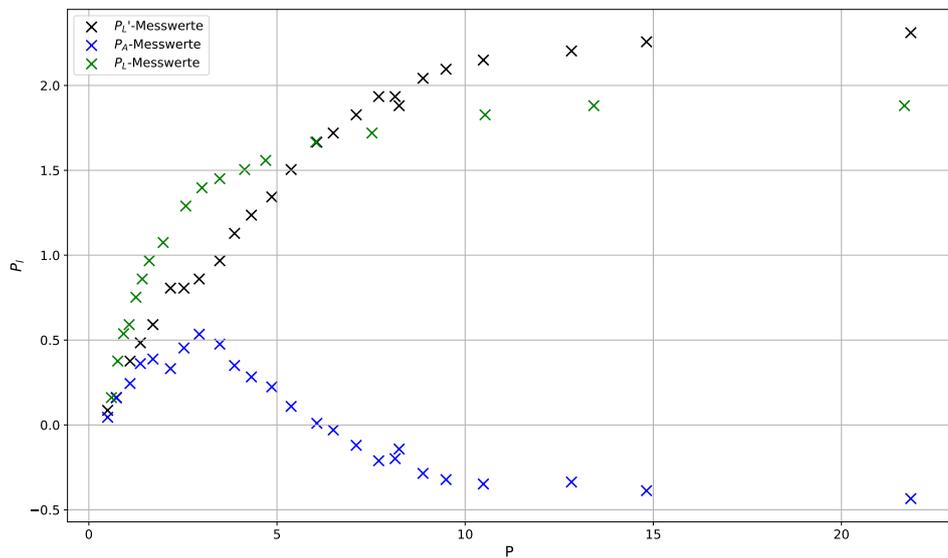


Abbildung 7: Leistung des Diodenlasers P_L , Leistung, die nach dem Kristall noch vorhanden ist P_L' und die vom Kristall absorbierte Leistung P_A in Abhängigkeit der vom Netzteil gelieferten Leistung P . Um die Werte besser unterscheiden zu können, sind hier die Fehlerbalken nicht mit eingezeichnet.

5 Diskussion

5.1 Versuchsergebnisse

Im ersten Versuchsteil wurde die Fotodiode kalibriert. Bei Auftragung der Laserleistung gegen den Fotodiodenstrom konnte grob ein linearer Zusammenhang festgestellt werden, siehe Abb. 1. Eine lineare Regression der Form $P_L = m_{11}I_f + c_{11}$ lieferte die Parameter

$$\begin{aligned}m_{11} &= (10,7 \pm 0,8) \text{ W A}^{-1} \\c_{11} &= (-0,42 \pm 0,09) \text{ W}.\end{aligned}$$

Auffällig hierbei ist, dass es einen y -Achsenabschnitt gibt, der negativ ist. Das würde bedeuten, dass noch ein Fotodiodenstrom fließt, wenn keine Leistung messbar ist. Das könnte z.B. daran liegen, dass durch das umliegende Licht ein Strom in der Fotodiode erzeugt wurde. Wahrscheinlicher ist es aber, dass nicht genug Messwerte im relevanten Bereich aufgenommen wurden, um eine gute Regression zu erhalten. Dies ist auch an der Tatsache erkennbar, dass die Werte vergleichsweise stark um die Regressionsgerade streuen. Um die Laserleistung in Abhängigkeit des Fotodiodenstrom im Bereich der Messwerte zu beschreiben, ist allerdings der y -Achsenabschnitt nicht relevant.

Auch für die Messung mit Filter wurde die Laserleistung gegen den Fotodiodenstrom aufgetragen und durch die Messwerte eine lineare Regression durchgeführt (siehe Abb. 2). Für die Parameter ergibt sich

$$\begin{aligned}m_{12} &= (0,57 \pm 0,03) \text{ W A}^{-1} \\c_{12} &= (0,0008 \pm 0,0004) \text{ W}\end{aligned}$$

Hier ist der Achsenabschnitt fast null, was gegen eine Einwirkung des umliegenden Lichts spricht. Berechnung des Transmissionsgrads über eine Mittelung der Messwerte ergibt

$$T = 0,12 \pm 0,12$$

und über die Steigungen der Regressionsgeraden

$$T = 0,053 \pm 0,005.$$

Da beide Werte innerhalb einer Standardabweichung voneinander liegen, sind sie miteinander verträglich. Allerdings beträgt der relative Fehler der Berechnung über die Mittelung fast 100 %. Damit ist dieser Wert offensichtlich nicht aussagekräftig. Dies liegt daran, dass die Werte der Messung ohne den Filter sehr stark streuen. Somit kann kaum eine sinnvolle Aussage über die tatsächliche Größe des Transmissionsgrads gemacht werden, lediglich die Größenordnung kann grob mit 5 % bis 10 % angegeben werden. Aus dem mit den Regressionsgeraden berechneten Transmissionsgrad wurde anschließend die optische Dichte

$$OD = 1,27 \pm 0,04$$

berechnet. Da dieser Wert aus dem Transmissionsgrad berechnet wurde, der nicht sehr gut gemessen wurde, ist auch dieser Wert nicht unbedingt aussagekräftig.

Die Schwellleistung wurde auf

$$P^* = (0,34 \pm 0,08) \text{ W}$$

bestimmt. Die mit graphisch bestimmten Tangenten an die Auftragung der Laserleistung P_L gegen die gelieferte Leistung P berechneten Werte für den differentiellen Wirkungsgrad sind in Tabelle 1 eingetragen. Der Wirkungsgrad wurde auch berechnet, und in Abb. 3 aufgetragen.

Aus der Messung des Fotodiodenstroms nach Montage des Kristalls wurde für verschiedene Werte die im Kristall absorbierte Leistung berechnet. Die berechneten Werte sind in Tabelle 2 eingetragen. Bei Betrachtung der Auftragungen der Leistung nach dem Diodenlaser und nach dem Kristall fällt auf, dass die Fehler auf P_L und P'_L sehr groß sind. Dies liegt zum Einen daran, dass der Fehler beim Ablesen des Stroms durch die Verwendung des analogen Amperemeters relativ groß war. Der

Hauptgrund für die großen Fehler liegt allerdings darin, dass im ersten Versuchsteil kein guter Zusammenhang zwischen Fotodiodenstrom und der Laserleistung bestimmt werden konnte. Dieser Fehler hat sich dann durch die Auswertung der restlichen Versuchsteile gezogen.

Bei Vergleich der Leistung, die der Diodenlaser liefert, mit der Leistung, die nach dem Kristall noch übrig ist und die daraus berechnete im Kristall absorbierte Leistung in Abb. 7 fällt auf, dass die absorbierte Leistung ab einer bestimmten Leistung negativ wird. Dies liegt daran, dass ab einem bestimmten Wert für die Leistung vom Netzgerät die Messwerte der Leistung, die nach dem Kristall noch übrig war, größer ist, als die, die direkt vom Diodenlaser kommt. Das könnte darauf hindeuten, dass ab dieser Netzgerätleistung der Kristall selbst Licht abstrahlt. Die bis dahin erfolgte Bestrahlung des Kristalls könnte also dazu geführt haben, dass die Atome im Kristall angeregt wurden und sich auf einem höheren Energieniveau befanden. Ab einem gewissen Maß an Bestrahlung könnte also der Kristall mehr Licht abgegeben haben, als er absorbiert hat, und somit zu einem Zuwachs im gemessenen Fotodiodenstrom geführt haben. Allerdings ist es auch möglich, dass bei der Messung grobe Fehler passiert sind. Zudem sind auch die in Abb. 3, 5 und 6 sichtbaren Fehler so groß, dass keine wirkliche Aussage getroffen werden kann.

5.2 Diskussion der Messmethoden

5.3 Fehlerquellen und Verbesserungsvorschläge

Eine Fehlerquelle war die Ungenauigkeit der im Netzgerät integrierten Ampere- und Voltmeter. Diese Fehlerquelle könnte man durch ein parallel geschaltetes Voltmeter und ein in Reihe geschaltetes Amperemeter verkleinern. Beide Geräte sollten hochwertig sein und eine geringe interne Ungenauigkeit aufweisen.

Die Ableseungenauigkeit des Stroms am analogen Amperemeter war eine weitere Fehlerquelle. So gab es für die verschiedenen Messbereiche unterschiedliche Skalen und es musste über einen trägen Messzeiger abgelesen werden, der etwas entfernt von der Skala war. Das hatte zum einen zur Folge, dass man zum Ablesen senkrecht auf das Messgerät schauen musste. Zum anderen, dass bei schwankender Stromstärke der Messzeiger träge reagierte und die aktuelle Stromstärke zeitlich verzögert angab. Dies war besonders problematisch, weil das Netzgerät keinen konstanten Strom lieferte, sondern einen Schwankenden. Wir einigten uns darauf, immer den höchsten angezeigten Strom zu verwenden, wobei es sich eventuell um einen systematischen Fehler handelt, der für jede Messung unterschiedlich gewesen sein könnte.

Auch die interne Ungenauigkeit des Laserleistungsmessgerätes stellte eine Ungenauigkeit dar. Eine Verbesserung wäre die Verwendung eines genaueren Messgerätes.

Während der Durchführung war es wichtig, dass der Strahl genau entlang der optischen Achse ausgerichtet wurde. Zudem war es wichtig, dass im dritten Teil der Brennpunkt der Linse genau im Kristall war, was schwierig einzustellen war. Beides lag daran, dass bereits kleine Justierungen an den Bauteilen große Richtungsänderungen des Lichtstrahls zur Folge hatten. Insbesondere zeigte sich dies im vierten Teil, in dem es uns innerhalb von etwa einer Stunde nicht gelang den Laser richtig auszurichten.

Eine weitere Fehlerquelle war starke Fremdlichteinwirkung. Diese könnte zu sich zeitlich ändernden Störungen am Intensitätsmessgerät sowie an der Fotodiode geführt haben.

A Anhang

A.1 Rohdaten

V77		29.3.22		250mA Basis				
ohne Filter	U	I in A	P _L	I _F in 10mA	I in A	u	P _L in W	I _F
1,30V	1,32A	0,5V	0,110 ± 0,004 W	3,50 ± 0,03		1,23	0,4	0,059 ± 0,004
1,70V	1,46	1,0V	0,310 ± 0,007 W	7,50 ± 0,03		1,32	0,8	0,206 ± 0,005
	1,76	1,7V	0,655 ± 0,005 W	10,00 ± 0,03		1,36	0,9	0,252 ± 0,003
	1,23	2,5V	1,002 ± 0,003 W	10,00 ± 0,03		1,30	1,0	0,207 ± 0,003
	2,10	3,2V	1,293 ± 0,002 W	15,50 ± 0,03		1,43	1,1	0,359 ± 0,002
	2,29	4,0V	1,543 ± 0,004 W	17,00 ± 0,03				
	2,53	4,7V	1,655 ± 0,004 W	17,00 ± 0,03				
	2,46	5,5V	1,765 ± 0,005 W	17,50 ± 0,03				
	2,49	6,1V	1,784 ± 0,003 W	17,50 ± 0,03				
	2,51	6,8V	1,825 ± 0,004 W	17,50 ± 0,03				
	2,53	7,5V	1,860 ± 0,005 W	17,50 ± 0,03				
	2,54	8,2V	1,853 ± 0,003 W	17,50 ± 0,03				
	2,54	9,0V	1,905 ± 0,004 W	17,50 ± 0,03				
	2,55	9,8V	1,895 ± 0,003 W	17,50 ± 0,03				
	2,56	10,9V	1,905 ± 0,004 W	17,50 ± 0,03				

1. Filter	I in A	u in V	P _L	I _F in 10mA
	1,29	0,5V	0	12,0 ± 0,5
	1,43	1,0	0,100 ± 0,001	5,0
	1,65	1,7	0,006 ± 0,001	8,5
	1,85	2,4	0,028 ± 0,001	13,0
	2,03	3,0	0,040 ± 0,001	16,2
	2,26	4,0	0,043 ± 0,001	20,5
	5,4	0,0	0,0	

5 mA Basis I_F in 10⁻⁴A

Teil 3				Bwert 50 mA	
U in V	I in A	u in V	I _F		
12,0	1,25	0,4	8 mA	50 mA Bereich	
12,0	1,37	0,8	35 mA	"	
12,0	1,55	1,4	7,5	250 mA Bereich (Skala 500 27)	
12,0	1,74	2,0	10	"	
12,0	2,02	3,0	15,5	← der Gasfilter →	
12,0	2,20	3,7	18,0		
12,0	2,53	4,5	20,0		
12,0	2,42	5,3	20,5		
12,0	2,47	6,0	21,0		
12,0	2,54	8,6	21,5		
12,0	1,22	0,6	1,5		
12,0	1,37	1,0	4,5		
12,0	1,42	1,2	5,5		
12,0	1,58	1,6	7,5		
12,0	1,63	1,8	8,0		
12,0	1,76	2,2	10,5		
12,0	1,80	2,4	11,5		
	1,87	2,6	12,5		
	1,92	2,8	14,0		
	2,03	3,2	16,0		
	2,05	3,4	17,0		
	2,14	3,6	18,0		
	2,17	3,8	17,5		
	2,22	4,0	19,0		
	2,26	4,2	19,5		

Teil z	U in V	I in A	u in V	I		B
				Wert	Ums	
	17,0	1,20	0,5	1,5		Bereich 250 mA
	18,0	1,25	0,6	3,5		
		1,32	0,7	5,0		
		1,34	0,8	5,5		
		1,39	0,9	7,0		
		1,42	1,0	8,0		
		1,46	1,1	9,0		
		1,52	1,3	10,0		
		1,61	1,4	12,0		
		1,67	1,8	13,0		
		1,74	2,0	13,5		
		1,80	2,3	14,0		
		1,88	2,5	14,5		
		2,01	3,0	15,5		
		2,15	3,5	16,0		
		2,34	4,5	17,0		
		2,44	5,5	17,5		
		2,55	8,5	18,5		

Nach ca. 1 Stunde Versuche konnte der Laser Resonator nicht eingestellt werden

Fehler Netzgerät ndg

29.09.22 UT Boemke