

Physikalisches Institut der Universität Bayreuth

PHYSIKALISCHES PRAKTIKUM FÜR FORTGESCHRITTENE

LASER

EIGENSCHAFTEN DER STRAHLUNG UND IHRE ANWENDUNG

W. Richter

Inhalt

1. Vorbereitung.....	3
1.1 Stichworte	3
1.2 Literatur:.....	3
2. Sicherheitshinweis.....	4
3. Versuchsdurchführung	5
3.1. Justieren des Lasers in konfokaler Spiegelanordnung	5
3.2 Darstellung verschiedener transversaler Moden.....	6
3.3 Bestimmung des Verstärkungsfaktors des laseraktiven Mediums	6
3.4 Axiale Lasermoden.....	8
4. Gauß'sche Strahlenbündel	10
5. Holographie	13

1. Vorbereitung

Im Rahmen dieses Versuches soll zunächst ein He-Ne-Laser justiert und mit einfachen Messmethoden dessen Verstärkung sowie die axiale und transversale Modenstruktur untersucht werden. Die dabei benutzten Messgeräte, Fabry-Perot-Interferometer und elektrischer Spektrumanalysator, dienen zur Laserstrahldiagnose und im Weiteren für technische Messanwendungen. Das Laserlicht in der TEM₀₀-Mode stellt eine nahezu kollineare Lichtquelle mit räumlicher gaußförmiger Intensitätsverteilung dar, dessen Veränderung beim Durchgang durch optische Medien elegant mit der Matrixschreibweise berechnet werden kann. Eine der vielen möglichen Anwendungen für eine kohärente Lichtquelle ist die Holographie.

1.1 Stichworte

Die folgenden Stichworte sollen nur einen ungefähren Leitfaden für die Vorbereitung geben. Die angegebenen Literaturnummern sind insoweit als Anhaltspunkt zu verstehen, dass in der jeweiligen Monographie die Thematik sehr ausführlich behandelt wird.

- Besetzungswahrscheinlichkeit (2), spontane und induzierte Emission (2), Verstärkung eines laseraktiven Mediums (2,3)
- Homogene und inhomogene Verbreiterung von Spektrallinien (2), Linienbreite (2)
- Optische Resonatoren (1,2), Schwingungsmoden (3), Abstand von Axialmoden (3), Bandbreite von Laser-Oszillatoren (1), *single-mode* Betrieb eines Lasers (2)
- Messung von Mischfrequenzen mittels einer Photodiode (1)
- Dielektrische Spiegel (2, S.73)
- 3- und 4-Niveaulaser (1), Termschema für He-Ne-Laser (3)
- Fresnel'sche Gleichungen
- Konfokales Fabry-Perot-Interferometer (2,6)
- Definition der Basiseinheit Meter (8)
- Gauß'sche Strahlen, Strahlausbreitung in Medien, Strahlausbreitungsfaktor M^2 (6,7,8)
- Holographie (1,3)

1.2 Literatur:

- (1) *Laser, Grundlagen und Anwendungen*, H. Weber, G. Herziger
- (2) *Grundlagen und Techniken der Laserspektroskopie*, W. Demtröder
- (3) *Laser, kurz und bündig*, K.Tradowsky
- (4) *Quantum Electronics* (2nd edition), A. Yariv
- (5) *Lasers*, B.A. Lengyel
- (6) *Optics and Lasers in Engineering*, G. Laufer
- (7) *Optical Resonators*, N. Hodgson und H. Weber
- (8) Kopierte Literatur:
 - Firmenschrift "*Fabry-Perot-Interferometer*"
 - *Neudefinition der Basiseinheit Meter im Jahre 1983*, *Phys. Bl.* 39, 307 (1983)
 - *Laser Beams and Resonators*, *Appl. Optics* 5, 1550 (1966)
 - *Laser Design Equations*, H.Weichel, L.S.Pedrotti

2. Sicherheitshinweis

Wichtige Hinweise für diese Laserapparatur

- Niemals direkt in den Laserstrahl schauen!



- Nach dem Einsetzen der Laserspiegel auf keinen Fall mit den Augen in der Höhe des Strahlenganges justieren.
- Der hier verwendete Laser gehört der Laserklasse II an. Bei dieser Laserklasse ist die Verwendung von Schutzbrillen nicht zwingend vorgeschrieben. Trotzdem sollten aus den bekannten Gründen (Verstärkungsfaktor der Augenlinse 10^5) auch Reflexe der Laserstrahlung nicht ins Auge gelangen.
- Niemals die Laserspiegel und das Glasplättchen mit den Fingern berühren. Sie dürfen nur vom betreuenden Assistenten gereinigt werden. Nach Beendigung oder längerer Abwesenheit Staubschutzkappen vorsichtig aufsetzen.
- Optische Achse (Schiene) ist justiert und sollte nicht verändert werden

3. Versuchsdurchführung

3.1. Justieren des Lasers in konfokaler Spiegelanordnung

Zum Justieren des Resonators müssen beide Laserspiegel und die Entladungsröhre sehr präzise zueinander positioniert werden. Ein Standardverfahren hierfür ist die Autokollimation. Wegen des sehr kleinen Rohrdurchmessers der Plasmaröhre kann man dafür nur sehr schwer das Licht der Entladungsröhre verwenden. Man benutzt deshalb für die Justage einen Hilfslaser. Überlegen Sie sich vor Beginn welchen Abstand die Resonatorspiegel haben dürfen. Für einen stabilen Laser muß die Bedingung $g_1 \cdot g_2 \leq 1$ mit $g_i = 1 - L/r_i$ (L: Spiegelabstand, r_i : Krümmungsradius,) erfüllt sein. Der Krümmungsradius für beide Spiegel beträgt 500mm.

- Justieren Sie zunächst einen Hilfslaserstrahl parallel zur vorhandenen optischen Schiene in einer Höhe von ca. 21,5 cm über der Granitplatte. Verwenden Sie dazu die schwarze PVC-Lochblende und setzen Sie diese mehrmals an zwei weit voneinander entfernten Orten auf die optische Bank. Anschließend schieben Sie die Plasmaröhre mit Halterung in den Strahlengang und richten diese parallel zum Hilfslaserstrahl aus. Das durchgelassene Licht sollte bei richtiger Justierung einen runden Fleck an der Wand ergeben und maximale Intensität haben.
- Als nächstes ist der totalreflektierende Laserspiegel ($R = 99,9 \%$) einzusetzen. Achten Sie darauf, daß die mit der dielektrischen Schicht versehene Seite zum Resonator zeigt. Eine Irisblende im Strahlengang vor der gegenüberliegenden Seite der Plasmaröhre blendet einen kleinen Teil des Hilfslaserstrahles aus und fängt gleichzeitig das rückreflektierte Licht vom totalreflektierenden Spiegel auf. Bei richtiger Justierung kommen beide Strahlen zur Deckung (Autokollimation). Achten Sie dabei darauf, daß der Spiegel in der Mitte vom Hilfslaserstrahl getroffen wird.
- Nun setzen Sie auf der gegenüberliegenden Seite den Auskoppelspiegel ($R \approx 98 \%$) ein. Wenn der Rückreflex vom Auskoppelspiegel mit dem Hilfslaserstrahl zur Deckung kommt (z.B. auf einem Umlenkspiegel zu erkennen), sollte der Experimentierlaser anschwingen. Falls nicht, justiere man vorsichtig an der Höhen- und Seitenausrichtung des Auskoppelspiegels bis der Strahl aufblitzt.

Die Ausrichtung der Spiegel auf maximale Intensität wird durch abwechselndes Nachjustieren beider Spiegel vorgenommen. Überprüfen Sie durch Änderung der Spiegelabstände ob die Bedingung $g_1 \cdot g_2 \leq 1$ für den vorliegenden Versuchsaufbau erfüllt ist.

Wenn der ganze Justiervorgang nach mehreren Versuchen keinen Erfolg zeigt, sind eventuell die Spiegel oder die Brewsterfenster verschmutzt und der Assistent ist zu verständigen.

3.2 Darstellung verschiedener transversaler Moden

Die Laserspiegel werden zunächst in die konfokale Resonatorstellung gebracht. Durch Einbringen einer sehr dünnen Drahtblende (\varnothing ca. 15 μm) und durch Feinjustieren der Laserspiegel lassen sich verschiedene Schwingungsmoden einstellen. Zum Einstellen optimaler Modenstrukturen muss der Spiegelabstand nochmals optimiert werden. Der Laserstrahl wird durch eine Linse aufgeweitet und auf einer weißen Fläche betrachtet.

- Man skizziere und identifiziere die beobachteten Moden.
- Erklären Sie, warum in einer konfokalen Anordnung die größte Wahrscheinlichkeit für das Anschwingen höherer transversaler Moden gegeben ist.

3.3 Bestimmung des Verstärkungsfaktors des laseraktiven Mediums

Das Prinzip der Bestimmung des **Verstärkungsfaktors v** beruht auf der gezielten Veränderung einer physikalischen Größe, die Verluste im Resonator erzeugt. Im Versuchsaufbau ist dies ein drehbares Glasplättchen, das zusätzlich in den Resonator eingebracht wird. Die winkelabhängigen Reflexionsverluste des Glasplättchens (siehe Fresnelgleichungen) erlauben bei Kenntnis des Brechungsindex n die Bestimmung von v . Ein besonders ausgezeichneter und leicht messbarer Wert für den Drehwinkel α des Glasplättchens ist die Stellung α_g , bei der die Verstärkung v und die Verluste sich gerade kompensieren. Hier schwingt der Laser an bzw. geht bei weiterem Drehen des Glasplättchens aus.

Der Laser ist bei diesem Versuchsteil bei möglichst hoher Leistung zu betreiben. Auf einer drehbaren Halterung bringe man ein dünnes sauberes Glasplättchen (Dicke ca. 150 μm) in den Resonatorraum und orientiere es so, dass zunächst die Flächennormale parallel zur optischen Achse zeigt. Beim Drehen des Plättchens bewegt sich die Flächennormale in der durch optische Achse und Flächennormale der Brewsterfenster gebildeten Ebene.

Vor der eigentlichen Messung muss zunächst die Nullstellung α_0 des Drehtisches bestimmt werden. Diese ist dann gegeben, wenn der (mit der opt. Achse kollineare) Hilfslaserstrahl oder der Experimentierlaser vom Glasplättchen in sich zurück reflektiert wird (dafür Glasplättchen leicht schräg positionieren). Durch Drehen des Glasplättchens wird sowohl die Laserstrahlung $I_L(\alpha)$ als auch die am Plättchen reflektierte Intensität $I_R(\alpha)$ moduliert (Laserstrahlreflexe an der Decke beobachten). Die Intensitäten $I_R(\alpha)$ und $I_L(\alpha)$ sind das Ergebnis aus Interferenz von den an beiden Grenzflächen des Glasplättchens reflektierten Anteilen. Zur Messung der Intensität muss der Laserstrahl noch mittels eines Umlenkspiegels auf die Photodiode justiert werden.

Die Verstellung des Drehtisches und die Aufnahme der Laserintensität erfolgt mit dem Computerprogramm.

Für das Verhältnis \tilde{R} von reflektierter zu einfallender Amplitude an einer Grenzfläche gilt:

$$\frac{A_r}{A_0} = \tilde{R} = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

α (Winkel: Einfallrichtung-Flächennormale) und β (Winkel: gebrochener Strahl-Flächennormale) hängen über das Brechungsgesetz zusammen.

Den Brechungsindex n des Glasmaterials erhält man aus der Messung des Brewsterwinkels α_B . Die Laserstrahlung ist nicht exakt vertikal polarisiert, da die Plasmaröhre mit den beiden Brewsterfenstern nur bis auf wenige Grad genau einbaubar ist. Verwenden Sie zur exakten Bestimmung von α_B das reflektierte Licht vom Glasplättchen, dessen Intensität und Polarisation beim Brewsterwinkel bestimmte Grenzwerte erreicht. Überlegen Sie sich, welche Polarisation der reflektierte Strahl beim Brewsterwinkel besitzt, und wie Sie unter Zuhilfenahme einer Polarisationsfolie den Brewsterwinkel exakt bestimmen können. Besprechen Sie dieses Freihandexperiment mit dem Betreuer.

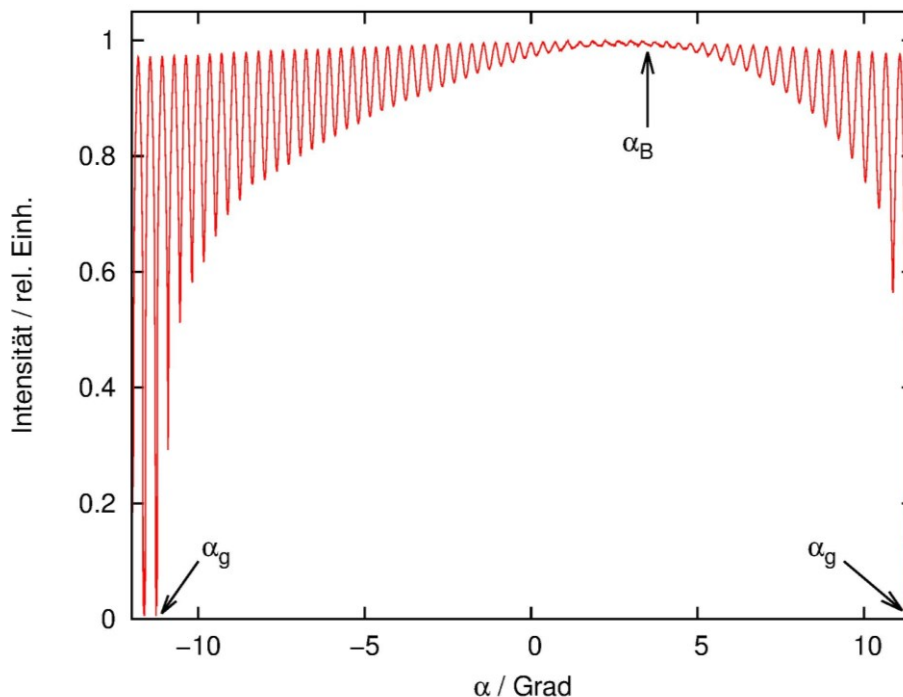


Abb. 1: Intensität des Lasers $I_L(\alpha)$ bei Drehung des Glasplättchens. Markiert sind die beiden Grenzwinkel α_g sowie der Brewsterwinkel α_B .

Bei Variation des Winkels α zeigt die Laserintensität $I(\alpha)$ den in Abb. 1 dargestellten Verlauf. Der Laser erlischt erstmals bei einem Grenzwinkel α_g . Hier gleicht die maximal reflektierte Intensität am Glasplättchen die Verlust-Gewinn-Bilanz des Lasers aus.

- Erklären Sie den oszillierenden Verlauf der Laserintensität in Abhängigkeit von α .
- Erklären Sie die Unsymmetrie bezüglich α_B
- Bestimmen Sie aus dem gemessenen Verlauf von $I_L(\alpha)$ den Brewsterwinkel α_B und die Grenzwinkel α_g .
- Stellen Sie die Verlust-Gewinn-Bilanz für die Laserintensität auf und berechnen Sie I_6 (als Hausaufgabe vor Versuchsbeginn). Dazu verfolge man den Laserstrahl durch die Resonator Anordnung (siehe Abb. 2):

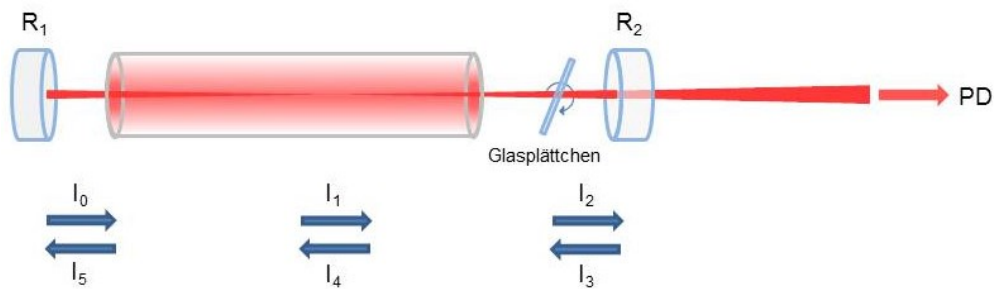


Abb. 2: Schematische Aufbau zur Bestimmung des Verstärkungsfaktors.

I_0 : Ausgangsintensität

I_1 : Intensität nach Verstärkung im laseraktiven Medium ($L = 30 \text{ cm}$)

I_2 : Intensität nach Durchgang durch das Glasplättchen

I_3 : Intensität nach Reflexion am Spiegel 2 (Reflexionskoeffizient $R_2 = 98 \%$)

I_4 : Intensität nach Durchgang durch das Glasplättchen

I_5 : Intensität nach Verstärkung im laseraktiven Medium

I_6 : Intensität nach Reflexion am Spiegel 1 (Reflexionskoeffizient $R_1 = 99.9 \%$)

PD : Photodiode.

- Bestimmen Sie aus der Bedingung $I_0 = I_6$, den Verstärkungsfaktors v im Leerlauf ($I_0 \rightarrow 0$). Bei der Transmission am Glasplättchen ist zunächst der Interferenzanteil zu berücksichtigen. In diese Beziehung geht sehr empfindlich die Plättchendicke d ein. Wie genau müssten Sie die Plättchendicke d kennen um die gleiche Genauigkeit wie bei der Drehwinkelmessung (± 1 Bogenminuten) zu erreichen? Überlegen Sie sich eine Näherung mit Hilfe der Maximalwerte für Transmission und Reflexion, mit der Sie ohne Kenntnis der Schichtdicke d den Verstärkungsfaktor v bestimmen können.
- Bestimmen Sie aus dem gemessenen oszillatorischen Verlauf von $I_L(\alpha)$ die Schichtdicke des Glasplättchens.

Bei der Fehlerrechnung ist zu beachten, daß die Größen α und d nicht unabhängig voneinander sind.

3.4 Axiale Lasermode

Die Darstellung der axialen Lasermode geschieht mit Hilfe eines durchstimmbaren konfokalen Fabry-Perot-Interferometers (FPI, FSR: *free spectral range*, 2 GHz). Die Justierung des Interferometers sollte mit einem möglichst parallel zur Tischebene verlaufenden Laserstrahl erfolgen.

Die vom FPI durchgelassene Intensität wird von einer Photodiode gemessen, 100-fach verstärkt auf Kanal 1 des digitalen Speicheroszilloskopes dargestellt. Auf Kanal 2 wird das Triggersignal des FPI-Steuergerätes dargestellt. Wählen Sie diejenige Zeitbasis, die die volle Schirmbreite für den Rampenanstieg ermöglicht. Die Bedienung des digitalen Speicheroszilloskopes (Messen und Speichern von Bildern) wird vom Assistenten erklärt.

Machen Sie sich mit den verschiedenen Möglichkeiten der Einstellung der Rampenspannung vertraut. Erhöhen Sie nun die Amplitude der Spannungsrampe und erklären Sie das entstehende Oszillographenbild.

Woran erkennen Sie, daß genau einmal der freie Spektralbereich dargestellt wird?

- Kalibrieren Sie das Oszillographenbild und bestimmen Sie
 1. den Abstand der axialen Lasermoden sowie die Breite einer Mode.
 2. die ungefähre Breite des Verstärkungsprofils (dazu leicht an einem Laserspiegel wackeln oder auf den Granittisch vorsichtig klopfen).
- Berechnen Sie die Finesse und das Auflösungsvermögen des FPI. Wodurch wird theoretisch die spektrale Breite einer axialen Mode bestimmt und wodurch wird praktisch die Modenbreite limitiert?
- Bauen Sie das Etalon (FSR 10 GHz) in den Resonatorstrahlengang ein und justieren es, so dass Sie einen stabilen *single-mode* Betrieb erreichen (s. Abb. 3).



Abb. 3: *Single-mode* Betrieb des He-Ne Lasers: (A) Aufbau mit Etalon, (B) Bildschirmausgabe des Oszilloskopes im normalen Betrieb und (C) im *single-mode* Betrieb des Lasers.

- Bestimmen Sie die Mischfrequenz der axialen Moden aus dem Signal einer schnellen Photodiode mit Hilfe des Spektrumanalysators dar. Zur erstmaligen Bedienung des Spektrumanalysators sollte der betreuende Assistent hinzugezogen werden.
- Ändern Sie mit einem planparallelen Werkstück (Glasplättchen) definiert die Laserresonatorlänge und bestimmen Sie die absolute Länge des Werkstückes, wenn man den seit 1983 definierten Wert für die Lichtgeschwindigkeit $c = 299\,792\,458$ m/s benutzt.
- Wie groß ist der Fehler in der Längenmessung und welche Genauigkeit ist mit diesem Laseraufbau erreichbar? Was müsste man tun um die Genauigkeit zu steigern? Berech-

nen Sie die Messgenauigkeit, die man mit diesem Messverfahren erreichen könnte, wenn die Einstell- und Ablesegenauigkeit ± 100 Hz betragen würde.

•

4. Gauß'sche Strahlenbündel

Der Laser wird in konfokaler Spiegelanordnung betrieben. Zur Erzeugung einer TEM₀₀-Mode kann im Resonator eine Irisblende auf einer xy-Verschiebung eingesetzt oder der Abstand der Laserspiegel optimiert werden.

Schwingt der Laser in der TEM₀₀-Mode, so entsteht ein "Gauß'scher Strahl", d.h. die (komplexe) Amplitude in einer Ebene senkrecht zur Fortplanzungsrichtung ($z = \text{const.}$) wird beschrieben durch

$$u(x, y) = \frac{2}{\pi} \frac{1}{w} \exp\left(-i \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{x^2 + y^2}{R}\right)\right) \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{w^2}\right) \quad (2)$$

Der komplexe Anteil beschreibt eine sphärische Welle mit dem Radius R , der Realteil ein gaußförmiges Strahlprofil der Breite w . Nach dem Huygens'schen Prinzip läßt sich ableiten, daß mit dem Fortschreiten der Welle in z -Richtung die Gaußförmigkeit erhalten bleibt, R und w sich jedoch ändern:

$$R(z) = z \left(1 + \left(\frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda \cdot z} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$w(z) = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0^2} \right)^2} \quad (4)$$

$$\text{mit } z_R = \frac{\pi \cdot w_0^2}{\lambda} \quad (\text{Rayleigh-Bereich}) \quad (5)$$

Der Koordinatenursprung für z liegt jeweils an der engsten Strahltaile mit w_0 als halber Durchmesserwert. Für die Intensität ist dies der $1/e^2$ -Wert der Intensität im Maximum. Innerhalb des Rayleigh-Bereiches nimmt der Strahldurchmesser jeweils um $\sqrt{2}$ zu.

Bei der Abbildung von Gauß'schen Strahlenbündel durch optische Komponenten treten gegenüber den Gesetzmäßigkeiten der geometrischen Optik deutliche Unterschiede auf. Als abzubildende Gegenstandsgröße und als zugehöriges Bild werden jeweils die engsten Strahltaillen vor und nach der Abbildung betrachtet. Für eine Linse (Gegenstandsweite s , Bildweite s' , Brennweite f) gibt es folgende 4 Hauptunterschiede zur herkömmlichen geometrischen Optik:

- Bei der Variation der Gegenstandsweite s eines Gauß'schen Strahles (Abstand engste Strahltaile vor der Linse bis zur Linse) gibt es sowohl ein Maximum als auch ein Minimum für die entsprechende Bildweite s' (Abstand Linse bis engste Strahltaile nach der Linse).
- Die maximale Bildweite erhält man, abhängig von z_R und w_0 , bei einer Gegenstandsweite von $s = f + z_R$, anstatt wie in der geometrischen Optik bei $s = f$.
- Für alle Gauß'schen Strahlen, unabhängig von ihren Strahlparametern z_R und w_0 , ist die Gegenstandsweite $s = f$ ein gemeinsamer ausgezeichnete Punkt. Hier gilt im völligen Gegensatz zur geometrischen Optik

$$s' = s = f$$

- Im Bereich $0 < z < f$ scheint eine Linse bei Gauß'schen Strahlen eine kleinere Brennweite als f aufzuweisen ('Gauß'sche Brennpunktverschiebung').

Zusammengefaßt lassen sich diese Phänomene durch eine abgewandelte Linsengleichung beschreiben.

$$\frac{1}{s + z_R^2/(s - f)} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad (6)$$

(s und s' sind jeweils die Orte der engsten Strahltaillen vor und nach der Linse).

Für den Fernfeldbereich ($z \geq 5 z_R$) läßt sich $w(z)$ in Gleichung (4) mit folgender Näherungsformel beschreiben.

$$w(z) \cong \frac{\lambda \cdot z}{\pi \cdot w_0} \quad (7)$$

Im Fernfeldbereich nähert sich der Strahlradius $w(z)$ asymptotisch einem Grenzwinkel θ_0 .

$$\theta_0 = \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{w(z)}{z} = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (8)$$

Das "Strahlparameterprodukt"

$$w_0 \theta_0 = \frac{\lambda}{\pi} \quad (9)$$

ist für jeden Gauß'schen Strahl eine Konstante und bleibt beim Durchgang durch optische Medien, die sich durch das ABCD-Theorem beschreiben lassen, unverändert.

Bei Laserstrahlprofilen, die mehr oder weniger starke Abweichungen von der Gauß'schen Form aufweisen (z.B. bei Überlagerungen höherer Lasermodes), ist das Strahlparameterprodukt deutlich größer als λ / π .

$$w_0 \theta_0 = M^2 \cdot \frac{\lambda}{\pi} \quad (10)$$

Gleichung (10) definiert den „Strahlausbreitungsfaktor“ M^2 . Er charakterisiert die Abweichung vom Gauß'schen Strahlprofil. Die Kenntnis und die Bestimmung der Größe M^2 ist insbesondere bei der technischen Anwendung von Lasern von großer Bedeutung, da damit indirekt die Fokussierbarkeit beschrieben wird.

In vielen Fällen liegt die kleinste Strahltaille w_0 des Laserstrahls innerhalb des Resonators und ist deshalb nicht direkt zugänglich. Eine übliche Methode beruht auf der Verwendung einer zusätzlichen Linse (s. Abb. 3). Im Fokusbereich dieser Linse werden sowohl am Ort L_0 der minimalen Strahltaille d_0 als auch an 2 weiteren Orten (L_1 und L_2) symmetrisch zur Lage des minimalen Strahldurchmessers, die jeweiligen Strahltaillen (d_1 und d_2) bestimmt.

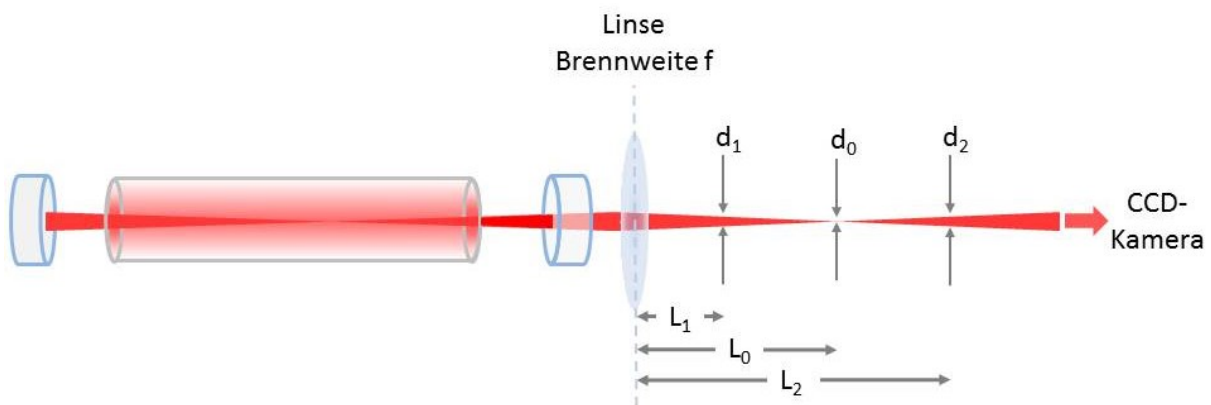


Abb. 3: Schematischer Aufbau zur Bestimmung der Strahltaillen im Resonator.

Der Strahlausbreitungsparameter M^2 errechnet sich dann zu

$$M^2 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{2\lambda(L_2 - L_1)} \sqrt{\frac{d_1^2}{d_0^2} - 1} \quad (11)$$

Zur experimentellen Bestimmung von M^2 wird eine CCD-Kamera (Pixelgröße $11 \mu\text{m} \times 11 \mu\text{m}$, 640×480 Pixel) verwendet. Um den CCD-Chip nicht zu übersteuern, wird der Strahl vor der Kamera mit Graufiltern abgeschwächt. Das PC-Programm „Laserscan“ erlaubt die Aufnahme eines kompletten Strahlprofils und den Ausdruck eines Schnittes durch dieses Profil.

Aufgaben:

- Überlegen Sie sich wie die Gleichung (4) mit Hilfe der Größe M^2 für Strahlen umgeschrieben werden kann, die Abweichungen vom Gaußprofil aufweisen. Leiten Sie aus dieser umgeschriebenen Gleichung (4) die Gleichung (11) zur Bestimmung von M^2 her. Welche Vorteile bietet diese M^2 -Bestimmung?
- Bestimmen Sie für 2 unterschiedliche Laserstrahlen jeweils M^2 :
 - a) TEM_{00} des Hilfslasers (fakultativ)
 - b) TEM_{00} des ExperimentierlasersDazu sind jeweils sowohl Gleichung (11) als auch die Fernfelddaten heranzuziehen, die man aus der Messung des Strahlquerschnittes an verschiedenen Orten hinter der Linse erhält.
- Bestimmen Sie die 'effektive' Brennweite der Linse bei der gewählten Anordnung.
- Berechnen Sie die minimale Strahltaille w_{00} im Resonator des Experimentierlasers für die TEM_{00} – Mode aus den gegebenen Resonatordaten.
- Vergleichen Sie die errechnete Strahltaille w_0 (bei $z_0 = L_0$) ausgehend vom Wert w_{00} mit dem gemessenen Wert. Woher kommen die Unterschiede?
- Bestimmen Sie die Laserleistung/Flächeneinheit im 'effektiven' Fokus der Linse bei Annahme einer mittleren Laserleistung von 1 mW. Als Strahlprofil soll hier ein Gauß'scher Strahl angenommen werden.

5. Holographie

Berechnen Sie für den vorhandenen Laser mit Hilfe der Messergebnisse aus Pkt. 5 die Kohärenzlänge des Lasers. Rekonstruieren Sie mit einem aufgeweiteten Laserstrahl ein vorgegebenes holographisches Bild.