

## Messung von Wellenlänge, Polarisation und Strahlprofil

### Versuchsziele

- Bestimmung der Wellenlänge der emittierten Strahlung eines He-Ne-Lasers
- Bestimmung der Polarisationsrichtung und des Polarisationsgrades der emittierten Strahlung
- Messung des Strahlprofils der emittierten Strahlung

### Grundlagen

Der Helium-Neon-Laser gehört zu den am weitesten verbreiteten Lasern. Im Versuch P5.8.1.1 wird ein Helium-Neon-Laser aus einzelnen Komponenten aufgebaut. Im Versuch P5.8.1.2 werden verschiedene Eigenschaften des emittierten Laserstrahls untersucht: die Wellenlänge, der Polarisationsgrad und das Strahlprofil.

#### Wellenlänge

Die Wellenlänge der emittierten Strahlung wird durch den energetischen Abstand der an der Emission beteiligten Energieniveaus bestimmt. Am Bekanntesten ist der Übergang bei 632,8 nm (1,96 eV) zwischen einem der 5s-Zustände und einem der 3p-Zustände im Neon. Weitere Übergänge liegen bei 3,39  $\mu\text{m}$  und 1,15  $\mu\text{m}$ . Die jeweilige Wellenlänge wird durch die Beschichtung der Resonatorspiegel selektiert. Diese sind nur für die gewünschte Wellenlänge hochreflektierend. Für alle anderen Wellenlängen ist die Reflektivität klein; ein Laserprozess ist nicht möglich.

Die Wellenlänge wird durch Beugung am Gitter bestimmt. Für eine gegebene Gitterkonstante  $g$  erhält man die Position des  $n$ -ten Hauptmaximums aus:

$$n\lambda = g \sin\alpha \quad (1)$$

Der Winkel  $\alpha$  wird im Versuch bestimmt über

$$\tan\alpha = \frac{d}{L} \quad (2)$$

mit  $2d$  Abstand der beiden Hauptmaxima und  $L$  Abstand von Gitter zu Schirm.

#### Polarisationsrichtung und -grad

Brewster-Fenster werden in optischen Resonatoren verwendet, um die Verluste im Resonator zu reduzieren. Die Fensterflächen stehen dabei zur optischen Achse im Brewster-Winkel, wodurch das zur Grenzfläche parallel polarisierte Licht nicht durch Reflexion geschwächt wird. Senkrecht polarisiertes Licht wird jedoch wie gewöhnlich zu einem Teil reflektiert. Hierdurch sinkt in einem Laser die Güte des Resonators für eine Polarisationsrichtung, die andere wird dagegen bevorzugt, weshalb der Laser in dieser Mode schwingen wird.

Polarisationsrichtung und -grad werden über das Gesetz von Malus bestimmt: Trifft linear polarisiertes Licht auf einen Analysator, so ist die Intensität des durchgelassenen Lichts

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (3)$$

$I_0$ : Intensität des einfallenden Lichts

$\varphi$ : Winkel zwischen Polarisationsrichtung und Analysator

### Strahlprofil

Laserstrahlung besteht aus einem oder mehreren Strahlungsmoden. Meist wird die transversale Intensitätsverteilung in den sogenannten TE-Moden (TEM) beschrieben. Diese TE-Moden werden durch zwei Indizes unterschieden, die angeben, wie viele Nullstellen das elektrische Feld in  $x$ - und  $y$ -Richtung aufweist, wobei  $z$  die Ausbreitungsrichtung der Strahlung ist. Ein  $\text{TEM}_{mn}$  hat also  $m$  Nullstellen in  $x$ -Richtung und  $n$  Nullstellen in  $y$ -Richtung.

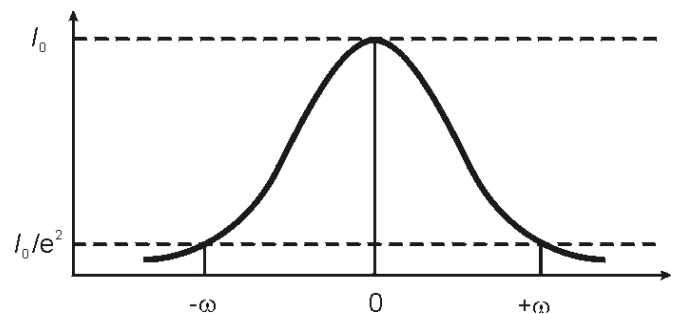


Abb. 1: Intensitätsverteilung eines gaußschen Strahls

Die meisten Gaslaser und viele Festkörperlaser niedriger Leistung (z.B. HeNe- und Ionenlaser) emittieren in der Grundmode  $\text{TEM}_{00}$ . Die  $\text{TEM}_{00}$  hat keine Nullstellen in transversaler Richtung. Die Intensitätsverteilung wird durch eine Gaußverteilung beschrieben (gaußscher Strahl):

$$I(r) = I_0 \cdot e^{-\frac{2r^2}{\omega^2}} \quad (4)$$

Dabei sind  $I_0$  die Maximalintensität und  $r$  der Abstand von der optischen Achse. Als Strahlradius  $\omega$  (Strahldurchmesser:  $2\omega$ ) wird der Abstand von der optischen Achse definiert, bei dem die Intensität auf  $1/e^2$  der Maximalintensität abgefallen ist.

Die  $\text{TEM}_{00}$  ist beugungsbegrenzt; das bedeutet, dass das Produkt aus Strahldivergenz und minimalem Strahlradius längs der Ausbreitungsrichtung konstant ist (siehe Gleichung 4) und - im Vergleich zu jeder anderen Mode - den minimal möglichen Wert annimmt. Deshalb werden Laser nach Möglichkeit so konstruiert, dass sie Strahlung in  $\text{TEM}_{00}$  emittieren.

Das Strahlprofil wird ermittelt, indem der Strahl zunächst durch eine Linse aufgeweitet wird. Senkrecht zum Strahl wird schrittweise ein Fotoelement verschoben, vor dem sich eine Spaltblende befindet. Aus dem am Fotoelement gemessenen Strom wird das Strahlprofil bestimmt.

**Geräte**

1 Grundpaket „He-Ne-Laser“ .....	471 810
1 Optische Bank, 2 m.....	460 33
1 Halter mit Federklemmen .....	460 22
1 Strichgitter 6000/cm (Rowland).....	471 23
1 Metallmaßstab .....	311 02
1 Polarisationsfilter.....	472401
1 Linse in Fassung, $f = 50$ mm .....	460 02
1 Fotoelement .....	578 62
1 Halter für Steckelemente.....	460 21
2 Kabel, 100 cm, schwarz .....	500 444
1 Vielfach-Messgerät LD analog 20 .....	531 120
1 Verschiebereiter .....	460 383
1 Schirm.....	441 531
<i>zusätzlich empfehlenswert:</i>	
Justierbrille He-Ne.....	471 828

**Sicherheitshinweise**

Achtung: Zusätzlich die Hinweise in den Gebrauchsanweisungen der verwendeten Geräte beachten!

Der aufgebaute He-Ne-Laser entspricht der Klasse 3B gemäß der DIN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen“. Laser der Klasse 3B sind potentiell gefährlich, falls ein direkter oder spiegelnd reflektierter Strahl in das ungeschützte Auge gelangt (direktes Blicken in den Strahl).

- Nicht in den direkten oder reflektierten Laserstrahl blicken!
- Unbeabsichtigte spiegelnde Reflexionen vermeiden (z.B. durch Uhren, Schmuck, Werkzeug mit metallischen Oberflächen)!
- Alle Laserstrahlen am Ende des zweckbedingten Strahlengangs durch ein absorbierendes oder diffus streuendes Material blocken.
- Ggf. Laserjustierbrille (471 828) tragen.

Die Laserröhre benötigt zum Zünden der Gasentladung Spannungen  $>12$  kV und zum Betrieb berührunggefährliche Spannungen bis zu 2,5 kV.

- Anschluss an das Versorgungsgerät nur über den Hochspannungsstecker herstellen.
- Beschaltung und Änderungen im Versuchsaufbau nur bei ausgeschaltetem Versorgungsgerät vornehmen.
- Versorgungsgerät erst einschalten, wenn die Schaltung fertiggestellt ist.

Der Diodenlaser entspricht der Klasse 2 gemäß der DIN 60825-1 „Sicherheit von Lasereinrichtungen“. Bei Beachtung der entsprechenden Hinweise in der Gebrauchsanleitung ist das Experimentieren mit dem Diodenlaser ungefährlich.

- Nicht in den direkten oder reflektierenden Laserstrahl blicken.
- Überschreitung der Blendungsgrenze vermeiden (d.h. kein Beobachter darf sich geblendet fühlen)

**Vorbemerkung**

Der Versuch gelingt nur, wenn der Aufbau sorgfältig justiert wird und alle optischen Oberflächen frei von Verunreinigungen sind. Die Reinigung einer Präzisionsoptik stellt immer eine Gefahr für die Oberfläche dar. Um Optiken so wenig wie möglich reinigen zu müssen, sollte man sie in ihrer Originalverpackung aufbewahren oder Optiken im Halter mit einer Schutzhülle abdecken, wenn sie nicht verwendet werden.

Während des Versuchs ist darauf zu achten, dass die Spiegeloberflächen (bei Auskoppelspiegeln auch die Rückseite) und die Brewsterfenster der Laserröhre nicht beschädigt werden. Nicht mit bloßen Händen anfassen. Fingerabdrücke, Öl- oder Wasserflecken sofort beseitigen, da die Säuren der Haut die Beschichtung und das Glas angreifen und bleibende Flecken hinterlassen können.

Falls eine Reinigung notwendig ist, empfiehlt sich eine der in der Gebrauchsanweisung empfohlenen Methoden.

**Aufbau und Durchführung**

Der Aufbau und die Justierung des He-Ne-Lasers sind in Versuch P5.8.1.1 beschrieben. Als Spiegelabstand wird in diesem Versuch  $L = 60$  cm verwendet. Die Laserröhre befindet sich mittig im Resonator.

**Bestimmung der Wellenlänge**

Der Aufbau ist in Abbildung 3 dargestellt. Für jedes Element ist jeweils die Position des linken Randes des oder der Optikelementer in cm angegeben.

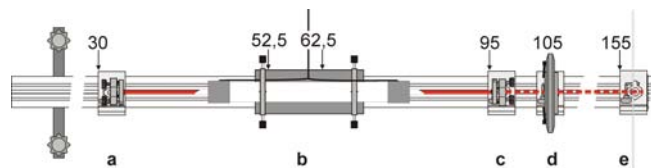


Abb. 2: Aufbau zur Bestimmung der Wellenlänge

- a Hochreflektierender Planspiegel HR
  - b Laserröhre in Laserträger
  - c Auskoppelspiegel OC,  $R = -1000$  mm
  - d Rowlandgitter in Halter mit Federklemmen
  - e Schirm
- Rowlandgitter in Halter mit Federklemmen hinter dem Auskoppelspiegel befestigen.
  - Schirm in 50 cm Abstand zum Rowlandgitter aufstellen.
  - Mit Hilfe des Metallmaßstabs den Abstand der ersten beiden Hauptmaxima bestimmen.

**Bestimmung von Polarisationsrichtung und -grad**

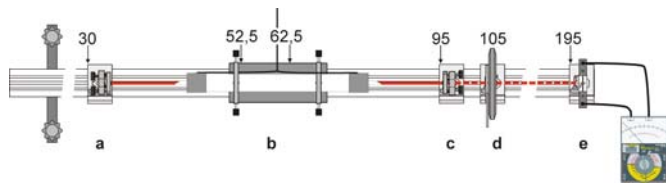


Abb. 3: Aufbau zur Bestimmung der Wellenlänge

- a Hochreflektierender Planspiegel HR
- b Laserröhre in Laserträger
- c Auskoppelspiegel OC, R = -1000 mm
- d Polarisationsfilter
- e Fotoelement auf Halter für Steckelemente

- Polarisationsfilter hinter dem Auskoppelspiegel befestigen.
- Fotoelement (e) auf Halter für Steckelemente befestigen.
- Schirm entfernen und Halter für Steckelemente so im Optikreiter befestigen, dass der Laserstrahl die lichtempfindliche Seite etwa mittig trifft.
- Das Fotoelement mit den Kabeln zur Stromstärkenmessung an das Vielfachmessgerät anschließen. Vielfachmessgerät einschalten.
- Ausrichtung des Polarisationsfilters beginnend bei  $-90^\circ$  in  $5^\circ$ -Schritten verändern und jeweils die Stromstärke am Vielfachmessgerät ablesen und in einer Tabelle notieren.

**Bestimmung des Strahlprofils**

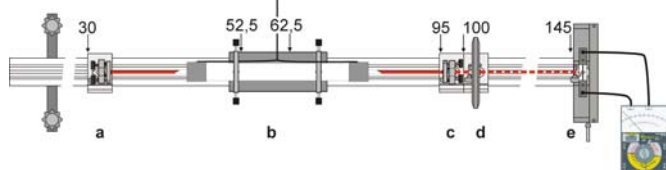


Abb. 4: Aufbau zur Bestimmung der Wellenlänge

- a Hochreflektierender Planspiegel HR
- b Laserröhre in Laserträger
- c Auskoppelspiegel OC, R = -1000 mm
- d Linse in Fassung, f = 50 mm
- e Fotoelement auf Halter für Steckelemente

- Linse in Fassung mit f = 50 mm direkt hinter dem Auskoppelspiegel befestigen.
- Fotoelement mit zwei dunklen Papierstreifen so abkleben, dass ein kleiner Eintrittsspalt mit der Breite von ca. 1 mm entsteht.
- Halter für Steckelemente mit Fotoelement im Verschiebereiter auf der optischen Bank aufstellen.
- Verschiebereiter zunächst so ausrichten, dass kein Laserlicht durch den Spalt trifft.
- Verschiebereiter nun schrittweise verschieben, so dass sich der Spalt durch den aufgeweiteten Laserstrahl bewegt. Jeweils Position und Stromstärke ablesen und in einer Tabelle notieren.

**Messbeispiel und Auswertung**

**Bestimmung der Wellenlänge**

Im Messbeispiel ergibt sich für Abstand der beiden Hauptmaxima  $2d = 41,3$  cm für den Abstand von Gitter zu Schirm  $L = 50$  cm. Die Gitterkonstante des verwendeten Gitters beträgt  $g = 1,67 \mu\text{m}$ . Aus Gleichung (2) ergibt sich ein Ablenkwinkel  $\alpha = 22,4^\circ$ . Damit erhält man über Gleichung (1) für die Wellenlänge des Lasers  $\lambda = 637$  nm. Dies entspricht sehr gut dem Literaturwert  $\lambda = 632,8$  nm.

**Bestimmung von Polarisationsrichtung und -grad**

Folgende Tabelle zeigt ein Messbeispiel.

$\varphi / ^\circ$	I / mA	$\varphi / ^\circ$	I / mA
-90	0,308	5	0,010
-85	0,298	10	0,020
-80	0,288	15	0,033
-75	0,268	20	0,051
-70	0,248	25	0,072
-65	0,228	30	0,094
-60	0,198	35	0,128
-55	0,168	40	0,148
-50	0,148	45	0,178
-45	0,118	50	0,198
-40	0,091	55	0,228
-35	0,070	60	0,248
-30	0,051	65	0,268
-25	0,033	70	0,288
-20	0,020	75	0,298
-15	0,009	80	0,298
-10	0,004	85	0,308
-5	0,001	90	0,298
0	0,004		

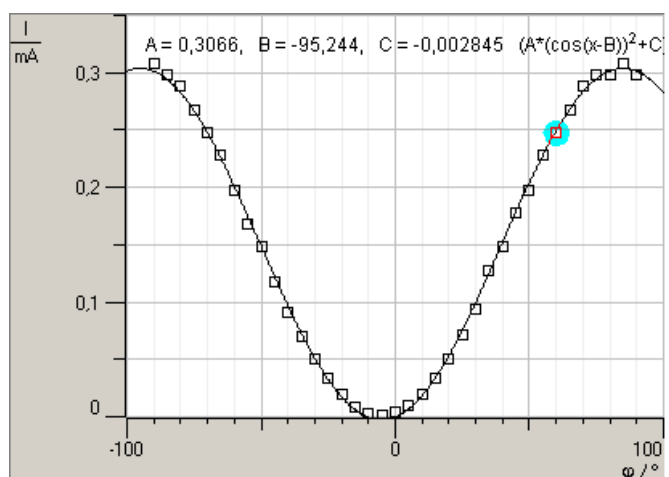


Abb. 5: Messung von Polarisationsrichtung und -grad

Die Daten sind zusätzlich in Abbildung 5 aufgetragen. Die Anpassung einer Kurve nach Gleichung (3) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Die Polarisationsrichtung (Parameter B) beträgt  $-95^\circ$ ; dies passt zu den zur Wand gerichteten Brewsterfenstern. Der Offset der Kurve (Parameter C) ist sehr klein; der Polarisationsgrad beträgt daher fast 100%.

**Bestimmung des Strahlprofils**

Folgende Tabelle zeigt ein Messbeispiel.

x / mm	I / $\mu\text{A}$
0,0	0,0
1,0	1,0
2,0	3,0
3,0	8,0
4,0	22,0
5,0	39,0
6,0	63,0
7,0	74,0
8,0	69,0
9,0	58,0
10,0	36,0
11,0	20,0
12,0	8,5
13,0	2,0
14,0	0,0
15,0	0,0

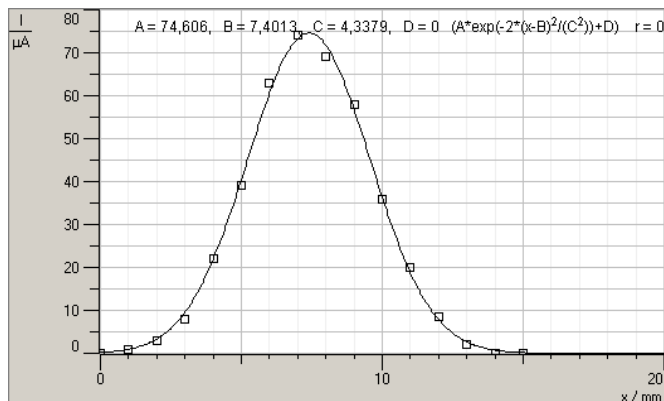


Abb. 6: Messung des Strahlprofils

Die Daten sind zusätzlich in Abbildung 6 aufgetragen. Die Anpassung einer Kurve nach Gleichung (4) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Der Strahlradius (Parameter C) beträgt in 50 cm Abstand zur Linse  $\omega = 4,33\text{mm}$ .

Über Strahlensatz (siehe Abbildung 7) kann daraus der Strahlradius  $\omega_L$  am Ort der Linse bestimmt werden:

$$\frac{\omega_L}{\omega} = \frac{f}{L-f}$$

Mit  $f = 50\text{ mm}$  und  $L = 500\text{ mm}$  ergibt sich:

$$\frac{\omega_L}{\omega} = 0,11 \text{ bzw. } \omega_L = 0,48\text{ mm.}$$

Der Strahldurchmesser am Ort der Linse und damit näherungsweise am Ausgang des Lasers beträgt damit  $0,96\text{ mm}$ .

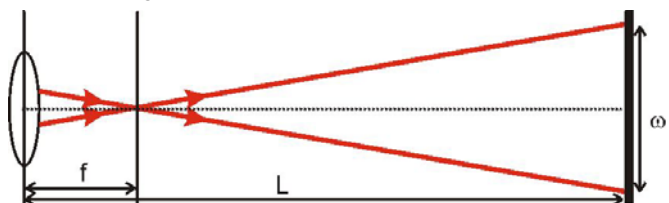


Abb. 7: Skizze zur Ermittlung des Strahlradius am Ort der Linse.