

Nr. 61

HeNe-Laser

Sara Krieg
sara.krieg@udo.edu

Marek Karzel
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 16.02.2021

Abgabe: 20.02.2021

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

Ziel dieses Versuches ist es, sich mit dem HeNe-Laser vertraut zu machen. Dafür werden zwei TEM-Moden des Lasers und die Stabilitätsbedingung des Resonators untersucht. Desweiteren werden die Polarisation und die Wellenlänge des Lasers bestimmt.

Das Wort *Laser* ist eine Abkürzung für den englischen Begriff "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*". Ein Laser besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, mit denen es möglich ist, den charakteristischen Laserstrahl zu erzeugen. Diese Komponenten sind das aktive Lasermedium, die Pumpquelle und der Resonator, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

1.1 Aktives Lasermedium

Im aktiven Lasermedium finden die optischen Übergänge statt, weswegen dieses das Strahlungsspektrum des Lasers bestimmt. Im Fall des HeNe-Lasers fungiert das Neon als aktives Lasermedium. Zunächst wird die Wechselwirkung zwischen Strahlungsfeld und Lasermedium als Zweizustandssystem betrachtet. Es gibt demnach einen Grundzustand mit Besetzungszahl n_1 und einen angeregten Zustand mit Besetzungszahl n_2 . Die Wechselwirkung kann im Wesentlichen mit drei Prozessen beschrieben werden.

Die Absorption, bei der ein Photon ein Atom aus dem Grundzustand in den ersten angeregten Zustand hebt.

Die spontane Emission, bei der das Atom spontan aus dem angeregten Zustand zurück in den Grundzustand fällt, wobei ein Photon in beliebiger Richtung abgestrahlt wird.

Und die stimulierte Emission, bei der ein Atom im angeregten Zustand durch ein eingestrahktes Photon, zurück in den Grundzustand fallen kann. Hier hat das stimulierte Photon dann genau die Gleiche Richtung, Energie, Phasenlänge und Polarisation wie das eingestrahkte Photon. Das ist der relevante Prozess für einen Laser.

Diese Prozesse sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

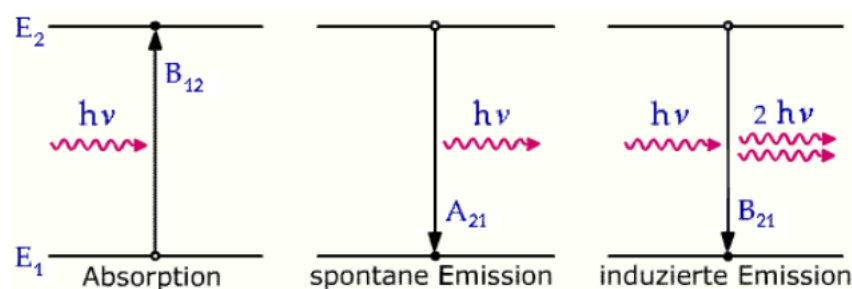


Abbildung 1: Schematische Darstellung der relevanten Prozesse in einem Zweizustandssystem. [prozess]

Die Einsteinkoeffizienten A_{21} , B_{21} und B_{12} geben dabei ein Maß für die Übergangswahrscheinlichkeiten an. Ein Laser lässt sich allerdings nicht komplett durch ein Zweizustandssystem beschreiben. Dies liegt daran, dass die Zustände im thermischen Gleichgewicht

der Maxwell-Boltzmann Verteilung folgen. Das führt dazu, dass maximal eine Gleichbesetzung der Zustände erreicht werden kann. Demnach wäre eine Besetzungsinversion nicht möglich, was aber das notwendige Kriterium für einen Laser ist.

1.2 Die Pumpquelle

Die Pumpquelle fügt dem System Energie hinzu und erzeugt damit die notwendige Besetzungsinversion. Dies funktioniert mit dem Prinzip des Optischen Pumpens. Im Fall des HeNe-Lasers ist das Pumpgas Helium, weswegen kein Zweizustandssystem mehr vorliegt. Dabei wird die Besetzungsinversion durch elektrische Entladung im Laserrohr erzeugt. Folgend geben die so angeregten Helium Atome ihre Anregungsenergie an die Neon Atome durch Stöße ab. Dies kann durch ein Niveauschema dargestellt werden, welches in Abbildung 2 zu sehen ist.

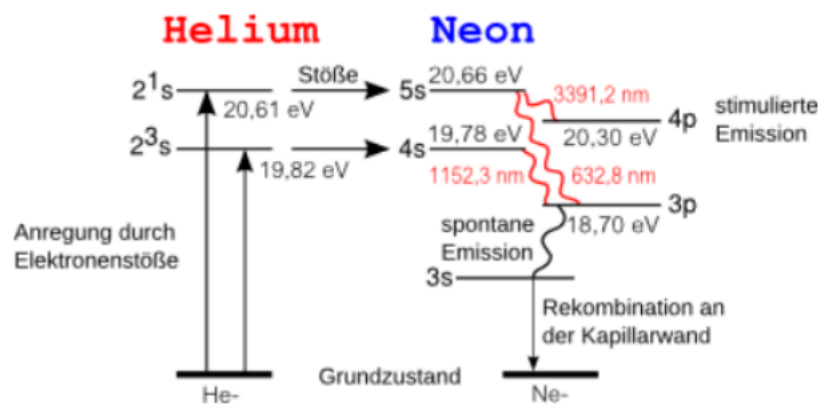


Abbildung 2: Niveauschema eines HeNe-Lasers. [Zeugs]

Es ist zu erkennen, dass die Laserlinie bei $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ beim Übergang von 3s zu 2p am intensivsten ist.

1.3 Der Resonator

Die Verstärkung des Lasers nimmt mit der Länge des Laufweges zu, weswegen ein Resonator diesen Laufweg verlängert. Der Resonator besteht aus zwei Spiegeln, welche sich gegenüber stehen. Dabei ist einer totalreflektierend, während der andere eine geringe Transmission zulässt, um die Auskopplung des Lasers zu ermöglichen. Dieses Prinzip ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

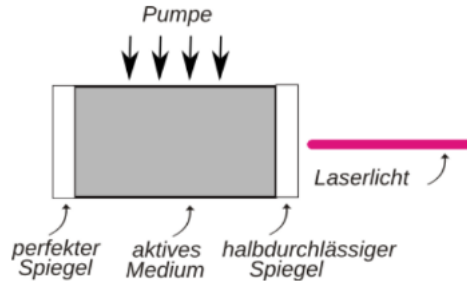


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Resonators. [Zeugs]

Die Unterscheidung zwischen Resonatoren erfolgt durch die verwendeten Spiegel. Häufig werden sphärische, planparallele oder eine Kombination dieser Spiegelarten eingesetzt. Ein Resonator wird dann als stabil bezeichnet, wenn die Verluste geringer als die Verstärkung durch stimulierte Emission sind. Die Stabilitätsbedingung ist dann

$$0 \leq g_1 g_2 \leq 1 \quad (1)$$

mit Parametern

$$g_i = 1 - \frac{\text{Resonatorlänge } L}{\text{Krümmungsradien Spiegel } r_i}.$$

In einem Resonator bilden sich stehende Wellen aus, die als Moden TEM_{lqp} bezeichnet werden, wobei q die longitudinale Mode und l, p die transversalen Moden bezeichnen. Demnach wäre TEM_{00} die Grundmode. Für diese hat die Intensität die Form einer Gaußkurve gemäß

$$I(r) = I_0 \exp\left(\frac{-2r^2}{\omega^2}\right).$$

Moden höherer Ordnung, wie TEM_{00} , werden allgemein als Multimoden bezeichnet. Diese machen sich durch unregelmäßige Lichtintensität im Strahlprofil bemerkbar und stehen somit für eine schlechtere Strahlqualität.

2 Durchführung

2.1 Aufbau

Der Aufbau des Versuchs ist in Abbildung 4 dargestellt.

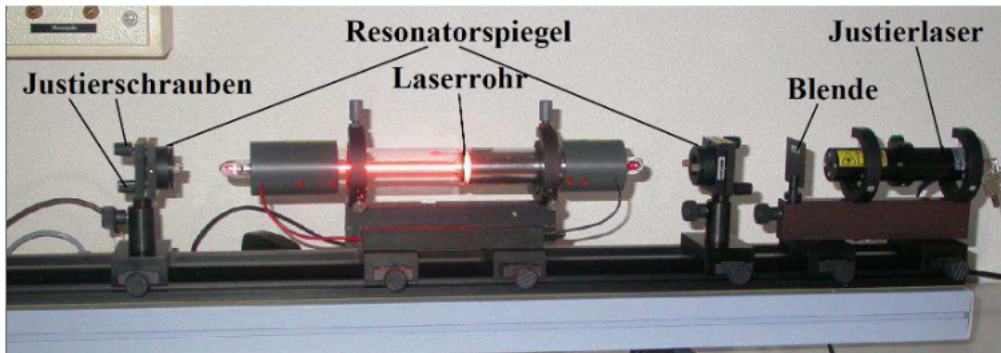


Abbildung 4: Darstellung des Aufbaus. [1]

Die Justage wird mit Hilfe eines vorinstallierten Justierlasers ($\lambda = 532 \text{ nm}$, $P_{\text{max}} = 1 \text{ mW}$, $P_{\text{grün}} = 0,2 \text{ mW}$) durchgeführt. Die Maße des Laserrohrs liegen dabei für die Länge bei $l = 408 \text{ mm}$ und für den Durchmesser bei $1,1 \text{ mm}$. Dieses ist mit dem HeNe-Gasgemisch im Verhältnis 5:1 gefüllt und mit Elektroden versehen, sodass mittels Entladung die Besetzungsinversion stattfinden kann. An den Enden des Laserrohrs befindet sich jeweils ein Brewster-Fenster, das dafür sorgt, dass eine definierte Polarisationsrichtung mit möglichst wenig Verlusten erreicht wird. Das Prinzip des Brewster-Fensters ist in Abbildung 5 zu sehen.

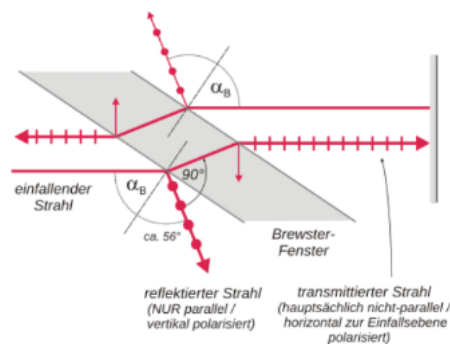


Abbildung 5: Strahlengang am Brewster-Fenster. [Zeugs]

Für den Resonator stehen konkave oder planparallele Spiegel zur Verfügung.

2.2 Durchführung

Zunächst muss der Aufbau justiert werden. Dazu werden Laserrohr und Resonatorspiegel auf die Band gestellt und mittels des grünen Justierlasers so ausgerichtet, dass die Rückreflexe der beiden Spiegel jeweils auf das Fadenkreuz der Justierblende treffen. Anschließend wird der Justierlaser abgestellt und die Hochspannung auf $6,5 \text{ mA}$ gestellt. Falls nicht direkt eine Lasertätigkeit einsetzt, muss vorsichtig an den Justierschrauben der Resonatorspiegel nachjustiert werden.

2.2.1 Untersuchen der Stabilitätsbedingung

Um die Stabilitätsbedingung zu untersuchen wird die Resonatorlänge in ungefähr 4 cm erhöht und jeweils die Intensität mittels einer Photodiode gemessen. Dabei muss der Laser gegebenenfalls nach jeder Verschiebung der Spiegel nachjustiert werden. Diese Messung wird für einen Resonator mit konkaven Spiegeln und einem Resonator mit einem konkaven und einem planparallelen Spiegel durchgeführt.

2.2.2 Multimodenbetrieb untersuchen

Um den Multimodenbetrieb zu untersuchen, werden die Schwebefrequenzen vermessen. Dabei wird die Frequenz mittels einer schnellen Photodiode (Bandbreite bis 1 GHz) gemessen und mittels eines Spektrumanalysators die Fourierspektren für unterschiedliche Resonatorlängen untersucht.

2.2.3 Bestimmung der Wellenlänge

Zur Bestimmung der Wellenlänge werden unterschiedliche Gitter in den Strahlengang gestellt und der Abstand zwischen den Beugungsmaxima mittels eines Zollstocks vermessen.

2.2.4 Bestimmung der Polarisation

Um die Polarisation zu bestimmen, wird ein Polarisator hinter den Auskoppelspiegel gestellt. Die Polarisationsrichtung wird dann in 10° geändert und jeweils die Intensität mittels einer Photodiode gemessen.

2.2.5 Untersuchen der *TEM*-Moden

Zur Unterdrückung der Grundmode wird ein Wolframdraht der Dicke $d = 0,005 \text{ mm}$ zwischen Laserrohr und Resonatorspiegel gebracht. Der Laserstrahl wird dann mittels einer Zerstreuungslinse aufgeweitet, sodass auf dem optischen Schirm dann verschiedene Moden zu erkennen sein sollten. Die Intensität wird mittels einer Photodiode gemessen.

3 Auswertung

3.1 Stabilitätsbedingung

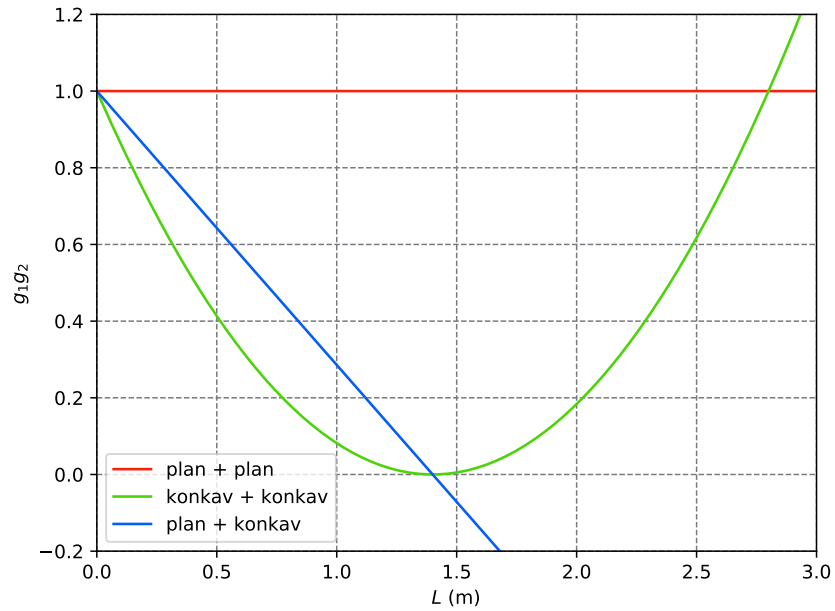


Abbildung 6: Stabilitätsparameter verschiedener Spiegelkonfigurationen planer und konkaver Spiegel mit einem Krümmungsradius von $r = 1400$ mm.

3.2 Transversale Moden

3.2.1 TEM₀₀-Mode

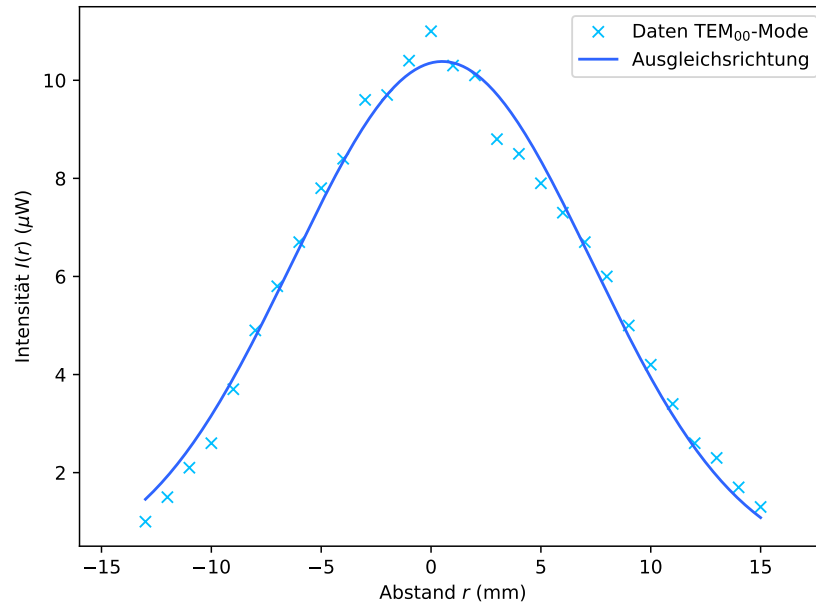


Abbildung 7: Intensitätsverteilung $I(r)$ der TEM₀₀-Mode für verschiedene Abstände r von der Modenmitte.

Tabelle 1: Messwerte der Intensität $I(r)$ der TEM₀₀-Mode abhängig vom Modenmittenabstand r .

r / mm	I / μW	r / mm	I / μW	r / mm	I / μW
-13	1,0	-3	9,6	7	6,7
-12	1,5	-2	9,7	8	6,0
-11	2,1	-1	10,4	9	5,0
-10	2,6	0	11,0	10	4,2
-9	3,7	1	10,3	11	3,4
-8	4,9	2	10,1	12	2,6
-7	5,8	3	8,8	13	2,3
-6	6,7	4	8,5	14	1,7
-5	7,8	5	7,9	15	1,3
-4	8,4	6	7,3		

3.2.2 TEM₀₁-Mode

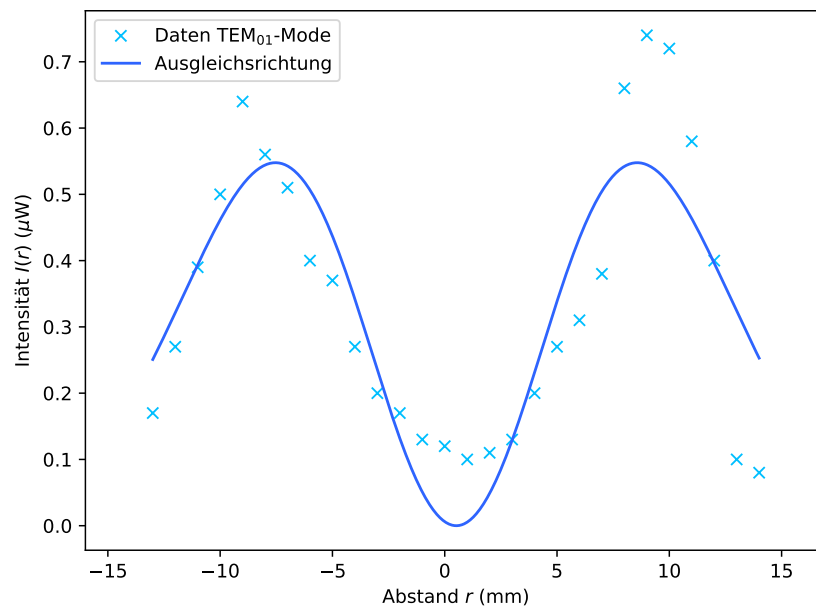


Abbildung 8: Intensitätsverteilung $I(r)$ der TEM₀₁-Mode für verschiedene Abstände r von der Modenmitte.

Tabelle 2: Messwerte der Intensität $I(r)$ der TEM₀₁-Mode abhängig vom Modenmittenabstand r .

r / mm	I / μ W	r / mm	I / μ W	r / mm	I / μ W
-13	0,17	-3	0,20	7	0,38
-12	0,27	-2	0,17	8	0,66
-11	0,39	-1	0,13	9	0,74
-10	0,50	0	0,12	10	0,72
-9	0,64	1	0,10	11	0,58
-8	0,56	2	0,11	12	0,40
-7	0,51	3	0,13	13	0,10
-6	0,40	4	0,20	14	0,08
-5	0,37	5	0,27		
-4	0,27	6	0,31		

3.3 Polarisation

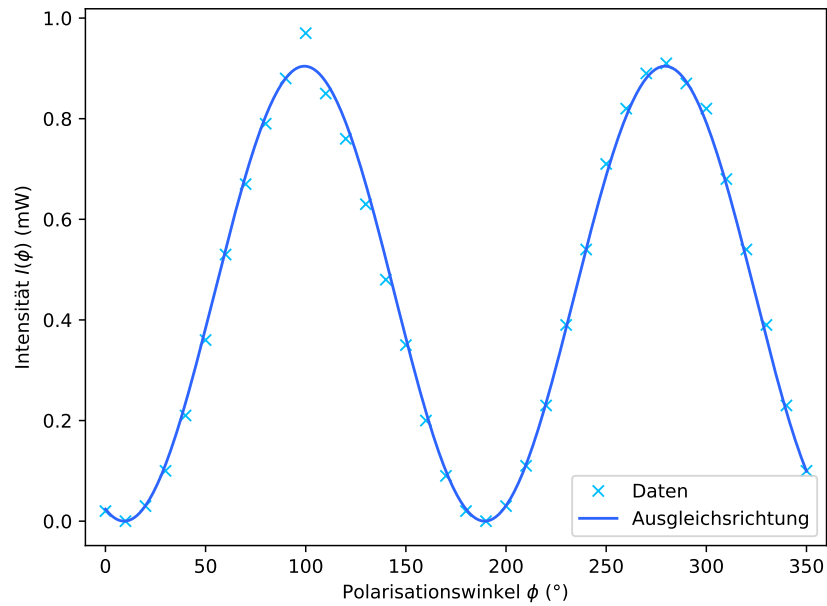


Abbildung 9: Intensitätsverteilung $I(\phi)$ für verschiedene Polarisationswinkel ϕ .

Tabelle 3: Messwerte der Intensität $I(\phi)$ abhängig vom Polarisationswinkel ϕ .

$\phi / ^\circ$	I / mW	$\phi / ^\circ$	I / mW	$\phi / ^\circ$	I / mW
0	0,02	120	0,76	240	0,54
10	0,00	130	0,63	250	0,71
20	0,03	140	0,48	260	0,82
30	0,10	150	0,35	270	0,89
40	0,21	160	0,20	280	0,91
50	0,36	170	0,09	290	0,87
60	0,53	180	0,02	300	0,82
70	0,67	190	0,00	310	0,68
80	0,79	200	0,03	320	0,54
90	0,88	210	0,11	330	0,39
100	0,97	220	0,23	340	0,23
110	0,85	230	0,39	350	0,10

3.4 Wellenlänge

3.5 Longitudinale Moden

4 Diskussion

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Altanleitung zum Versuch 27: Zeeman-Effekt.*