
Protokoll zum Versuch Holographie (HO) im Fortgeschrittenenpraktikum

Klaus Steiniger, Alexander Wagner, Gruppe 850
klaus.steiniger@physik.tu-dresden.de, alexander.wagner2@mailbox.tu-dresden.de

Betreuer: Herr K. Schmidt, Frau S. Olthof

Protokoll vom 28. Januar 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Funktionsweise eines Lasers	2
1.1.1	Prinzipielle Funktionsweise	2
1.1.2	Lasermode n	2
1.2	Holografie	3
2	Durchführung	3
2.1	Aufgabenstellung	3
2.2	Durchführung	3
2.2.1	Aufbau des Michelson-Interferometers	3
2.2.2	Aufbau einer Holografie-Anordnung	4
2.2.3	Entwicklung und Untersuchung des Hologramms	4
2.3	Geräte und Hilfsmittel	4
3	Auswertung	5
3.1	Untersuchung von Stabilität und Kohärenzlänge	5
3.2	Untersuchung des Hologramms	5
4	Fazit	6

1 Einleitung

Ziel des Versuches war es, ein Hologramm auf einer Fotoplatte zu erzeugen. Dazu sollten wir in Vorversuchen die Funktionsweise und Eigenschaften eines HeNe-Lasers kennen lernen und ein Michelson-Interferometer aufbauen.

1.1 Funktionsweise eines Lasers

1.1.1 Prinzipielle Funktionsweise

Ein Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) sendet monochromatische, hoch intensive und stark kohärente Photonen aus. Er besteht grob gesagt aus einem Resonator – eine Box, welche von zwei gegenüberliegenden Spiegeln begrenzt wird, in ihr befindet sich das emittierende Medium (Ne). Elektronenzustände werden in diesem Medium durch Stöße mit einem anderen Medium (He) angeregt, und beim Abregen senden sie Photonen einer bestimmten Energie aus. Bei dem im Versuch benutzten HeNe-Laser stammen diese Photonen hauptsächlich aus dem 3s2p-Übergang im Neon. Ihre Wellenlänge beträgt $\lambda_\gamma = 632,8 \text{ nm}$. Da die Photonen aber nicht aus dem Resonator austreten können, werden immer mehr Photonen durch stimulierte Emission abgegeben und es entsteht so eine hoch intensive Strahlung. Einer der beiden Spiegel ist in einem kleinen Punkt halbdurchlässig, so dass dort die gebündelte Strahlung austreten kann.

1.1.2 Lasermoden

Die oben genannte scharf definierte emittierte Wellenlänge ist experimentell ein gewisses Spektrum, denn hauptsächlich durch den optischen Doppler-Effekt unterliegt die Übergangsenergie statistischen Schwankungen. Es ergibt sich also vielmehr eine gaußförmige Frequenzverteilung $\nu_\gamma \pm \Delta\nu_{oD}$, wobei jedoch nur bestimmte Frequenzen (Moden) verstärkt werden. Eine Bedingung an diese Moden ist natürlich, dass die pro Durchlauf des Resonators gewonnene Energie (bzw. Photonenzahl) größer ist als der Verlust. Dadurch verringert sich $\Delta\nu_{oD}$ auf $\Delta\nu_{gain}$. Eine weitere Bedingung für Verstärkung ist die Ausbildung von stehenden Wellen im Resonator der Länge L , damit ihn die Photonen praktisch endlos durchlaufen könnten. Die Bedingung an stehende Wellen $n\frac{c}{2\nu} = L$ gibt also diskrete „erlaubte“ Werte für die Frequenz. Diese Werte müssen nun in $\nu_\gamma \pm \Delta\nu_{gain}$ liegen und unterliegen ebenfalls einer gewissen spektralen Aufspaltung. Zum experimentellen Einordnen des Lasers bezüglich der Moden nehmen wir die Kontrastfunktion über dem Gangunterschied der beiden Laserstrahlen im Michelson-Interferometer auf, denn je nach Modenanzahl ergibt sich ein charakteristischer Verlauf der Kontrastfunktion $K(\tau)$. Diese gibt das Verhältnis von zwei aufeinander folgenden Extrema im Interferenzbild wieder, und lässt sich durch die normierte komplexe Selbstkohärenzfunktion $\gamma(\tau)$ ausdrücken. Es gilt:

$$K(\tau) = |\gamma(\tau)| = \left| \frac{1}{S_0} \int_0^\infty S(\omega) e^{-i\omega\tau} d\omega \right|, \quad (1.1)$$

wobei $S(\omega)$ die Spektrale Dichte der Strahlung darstellt. Im Falle einer monochromatischen Lichtquelle mit der Kreisfrequenz Ω ist $S(\omega) \sim \delta(\omega - \Omega)$, im Falle eines N-Modenlasers wie im Versuch, ist

$$S(\omega) = S_0 \sum_{n=0}^{N-1} A_n \delta(\omega - \Omega - n\Delta\vartheta). \quad (1.2)$$

Die A_n stellen zusammen mit S_0 die Normierung der Gesamtintensität sicher und bringen die Intensität der einzelnen Moden zum Tragen, $\Delta\vartheta$ bezeichnet den Kreisfrequenzabstand der

Moden.

Für einen 3-Modenlaser mit der Modenintensitätsverteilung von 1 : 1,4 : 1 errechnet sich die Kontrastfunktion nach (1.1) und (1.2) zu:

$$\begin{aligned} K(\tau) &= \frac{1}{3,4} \left| e^{-i(\Omega-\Delta\vartheta)\tau} + 1,4 e^{-i\Omega\tau} + e^{-i(\Omega+\Delta\vartheta)\tau} \right| \\ &= \frac{1}{3,4} \left| e^{-i\Delta\vartheta\tau} + 1,4 + e^{i\Delta\vartheta\tau} \right| \\ &= \frac{1}{3,4} |1,4 + 2 \cos \Delta\vartheta\tau| \end{aligned} \quad (1.3)$$

Für einen 4-Modenlaser mit 0.28 : 0.56 : 0.56 : 0.28 ergibt sich K zu:

$$K(\tau) = \frac{1}{1,68} \left| 0,56 \cos \frac{3\Delta\vartheta\tau}{2} + 1,12 \cos \frac{\Delta\vartheta\tau}{2} \right| \quad (1.4)$$

1.2 Holografie

Im Gegensatz zu einer Fotografie speichert die Fotoplatte bei der Holografie sowie Lichtintensität *als auch* die Phase der Lichtwelle. Dadurch kann beim Betrachten des Hologramms die gesamte Information wiederhergestellt werden und es ergibt sich ein realer räumlicher Eindruck. Die Phase kann jedoch nur im Bezug auf eine Referenzwelle gespeichert werden, indem man beide Wellen zur Interferenz bringt. Hierzu wiederum benötigt man eine Lichtquelle mit großer Intensität und langer Interferenzlänge, weshalb wir in unserem Versuch einen HeNe-Laser benutzten. Dieser wird durch die Fotoplatte auf das Objekt geleitet und von dort zurück auf die Platte reflektiert. Der reflektierte Strahl interferiert nun mit dem Referenzstrahl auf der Platte. Die Interferenzmaxima spalten auf der Fotoplatte Silberhalogenid-Moleküle auf und beim anschließenden Entwickeln wird elementares Silber als Schwärzung sichtbar. Dieses Silber wird schließlich beim Bleichen zu einem absorptionsfreien Brechungsindexprofil umgewandelt.

2 Durchführung

2.1 Aufgabenstellung

1. Aufbau eines Michelson-Interferometers, Untersuchung von Stabilität und Kohärenzlänge
2. Aufbau einer Holographie-Anordnung für Weißlicht-Reflexionshologramme
3. Aufzeichnung, Entwicklung und Untersuchung eines Hologramms

2.2 Durchführung

Wir haben den Versuch am Messplatz 2 durchgeführt.

2.2.1 Aufbau des Michelson-Interferometers

Für die Einstellarbeiten war der Laser immer mit einem Filter abgedeckt um größere Schäden bei Unachtsamkeit zu vermeiden. Zuerst haben wir Spiegel 1 in 55 cm Entfernung vom Laser auf der Untergrundplatte befestigt und ihn so eingedreht, dass der reflektierte Strahl rechtwinklig zum einfallenden verlief. Dafür haben wir uns an den Schraublöchern der Untergrundplatte orientiert.

Im nächsten Schritt haben wir den Spiegel 2 eingesetzt, der 20 cm nach dem Strahlteiler folgt. Dieser muss das einfallende Laserlicht möglichst um 180° zurückwerfen. Um aber nicht den Strahl genau in den Laser zurück zu werfen, wird der Spiegel ein klein wenig verkippt.

Danach haben wir den Strahlteiler eingesetzt und darauf geachtet, dass der nicht durchgehende Strahl senkrecht abgelenkt und die Strahlen generell das Prisma mittig durchlaufen.

Zum Schluss haben wir Spiegel 3, mit der selben Entfernung vom Strahlteiler wie Spiegel 2, eingebaut und ihn so justiert, dass sein reflektierter Strahl sich genau mit dem refl. Strahl des anderen Armes überlagert. Um dann am Schirm ein Interferenzmuster zu sehen, haben wir noch einen Strahlaufweiter zwischen Strahlteiler und Schirm gebracht. Anschließend wurden die Untersuchungen zu Stabilität und Kohärenzlänge durchgeführt. Dazu wurde ein Arm des Michelson-Interferometers verlängert (in 5 cm Schritten) und am Schirm der Kontrast des Interferenzmusters ermittelt. Ein Ausdruck mit Beispielbildern für einige Kontraststufen diente als Referenz.

2.2.2 Aufbau einer Holografie-Anordnung

Dieser Teil beginnt mit der Justierung des Raumfilters. Dieser sorgt für eine Aufweitung des Laserstrahls unter Ausblendung von Linsenfehlern (bzw. Dreck auf der Linse) im Außenbereich der Aufweitungsoptik. Durch sukzessives Verschieben der Linse und nachstellen der Lochblende auf den Strahl wurde die Fokusebene der Aufweitungsoptik in die Höhe der Lochblende gebracht. Anschließend haben wir mit einem Oberflächenspiegel den Strahl auf unsere Fotoplatte umgelenkt. Diese war so ausgerichtet, dass sich die aktive Schicht auf der Objektseite befand. Als nächstes haben wir Leistung pro Fläche am Ort der Fotoplatte mit einem Laserleistungsmessgerät bestimmt, um daraus die Belichtungsdauer zu ermitteln. Die der gemessene Wert betrug im Mittel 0.16 mW/cm^2 . Daraus errechneten wir die Belichtungsdauer, mit der Faustformel $0.15 \text{ mW/cm}^2 \hat{=} 10 \text{ s}$, zu 10 s. Für das eigentliche Holografieren wurde dann der Raum abgedunkelt und Ruhe gehalten während der Belichtung.

2.2.3 Entwicklung und Untersuchung des Hologramms

Zur Entwicklung nutzten wir das 'CW-C2-Entwicklung mit PBU-Amidol Bleichung'-Verfahren. Um das Hologramm zu untersuchen wurde es wieder in die Anordnung eingebracht und mit dem Laserlicht bestrahlt.

2.3 Geräte und Hilfsmittel

- HeNe-Laser (Wellenlänge 638 nm)
- Strahlteiler
- Graufilter
- 1 Raumfiltersystem
- 3 Spiegel mit Halterung
- Oberflächenspiegel
- Laserleistungsmessgerät
- Photo-Chemie Arbeitsplatz
- Lineal
- Abschirmbleche
- Fotoplatte
- Fotoplattendummy

3 Auswertung

3.1 Untersuchung von Stabilität und Kohärenzlänge

Zuerst untersuchten wir die Stabilität des Interferenzbildes. Dazu haben wir am Tisch gewackelt, die Tür auf und zu gemacht, die Hand unter den Laserstrahl gehalten und in Strahlengang gepustet. Dabei ist uns aufgefallen das die Entkopplung des Tisches einen sehr positiven Einfluss auf die Stabilität hat. Nur direktes am Tisch wackeln hat Störungen verursacht, der Rest wurde von der Luftlagerung größtenteils kompensiert. Außerdem stellten wir fest, dass Veränderungen der Umgebung (Temperatur, Druck) des Strahlenganges einen großen Einfluss haben und so etwas vermieden werden sollte, vor Allem beim späteren Holografieren.

Aus den Messwerten zur Kohärenzlänge (Abb. 1) schließen wir, dass wir mit einem 4 Moden Laser arbeiteten. Allerdings ist die Einschätzung des Kontrastes sehr subjektiv. Wir haben den Bereich 15-30 cm mehrere male durchlaufen und hatten das Gefühl, dass das Interferenzmuster immer anders ist, mal mit weniger, mal mit mehr Kontrast. Die theoretische Kohärenzlänge liegt bei $x = 17.5$ cm (3-Moden) bzw $x = 15.6$ cm (4-Moden). Aus unseren Messwerten können wir 12 cm als einen Mindestwert angeben.

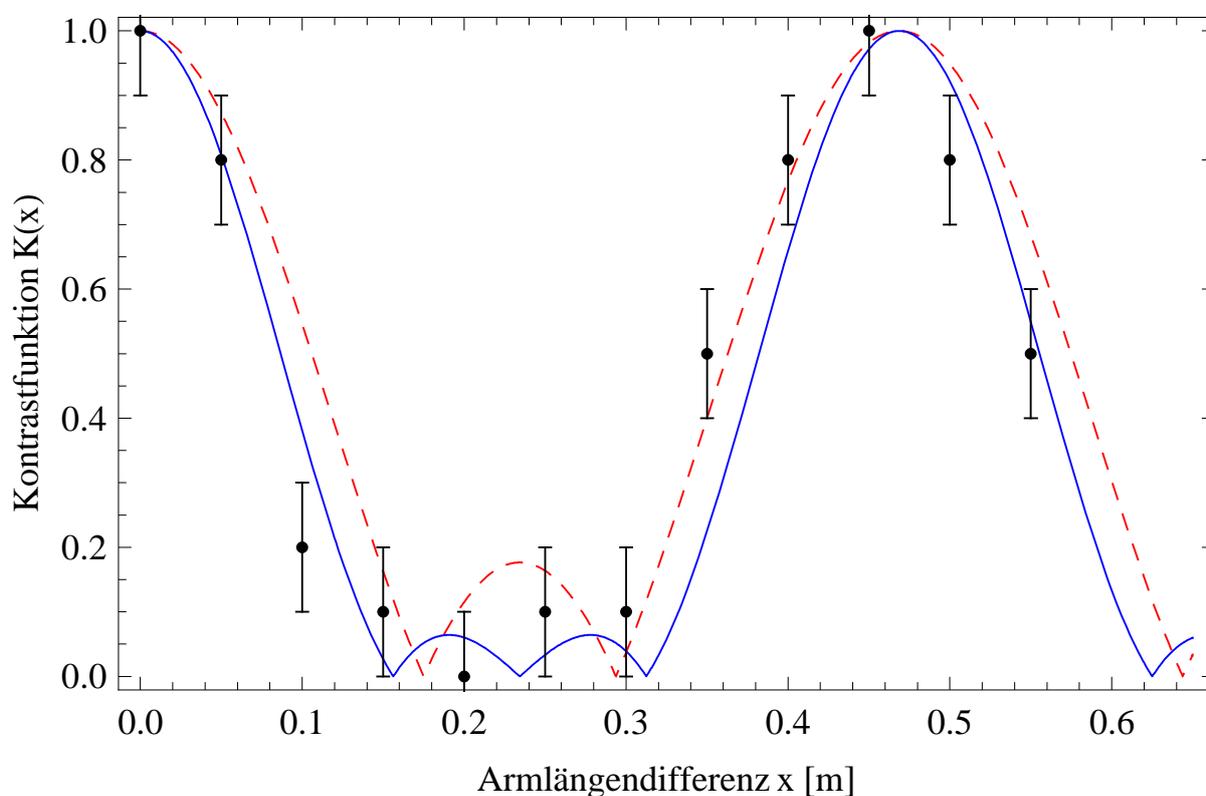


Abbildung 1: Dargestellt ist der Kontrast am Schirm über dem Wegunterschied in den Armen des Interferometers; Schwarz: Messwerte mit Fehler; Rot-Gestrichelte Kurve: Theoretischer Verlauf für einen 3-Moden-Laser (Formel (1.3)); Blaue Kurve: Theoretischer Verlauf für einen 4-Moden-Laser (Formel (1.4))

3.2 Untersuchung des Hologramms

Die Hologramme sind recht gut geworden. Man erkennt bei Bestrahlung mit Halogenlicht sehr gut die, im Rot des Lasers schimmernden, Konturen der verwendeten Muschel. Allerdings nur beim Betrachten aus der Richtung des Referenzlaserstrahles. Betrachtet man die Photoplatte von der anderen Seite so sind nur sehr schwer Konturen zu erkennen und diese sind auch sehr

verzogen. Beim Betrachten von der Seite verändert sich die Farbe und geht mehr ins grün-gelbliche über. Eine Beobachtung in einfachem Sonnenlicht gelingt nicht, da die Intensität der benötigten Wellenlänge zu gering ist.

4 Fazit

In diesem Versuch haben wir den respektvollen Umgang mit einem Laser gelernt. Außerdem, dass ein großer Aufwand nötig ist um präzise mit einem Lasersystem zu arbeiten. Zum Beispiel Dämpfung des Tisches, Verhinderung von Luftwirbeln und konstant halten der Raumtemperatur.

Insgesamt hat uns der Versuch großen Spaß bereitet und wir haben viel gelernt.