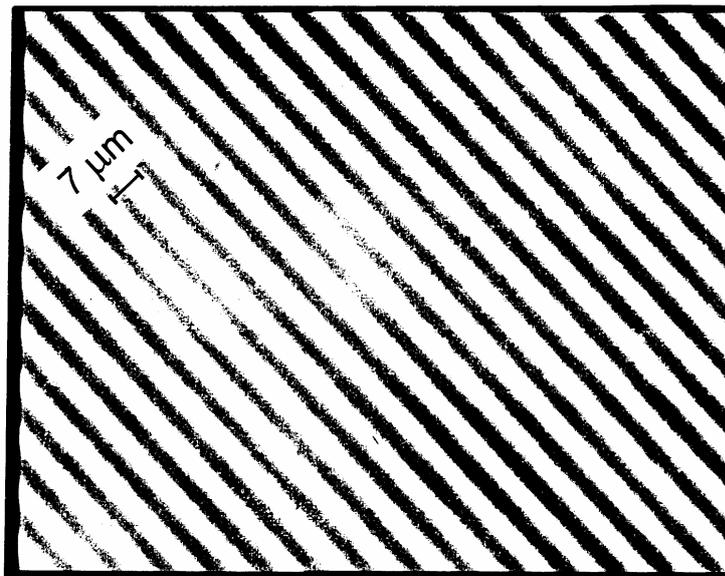


A13: Holografie

Mit der Entwicklung der Laser als kohärenter Lichtquellen im optischen Wellenlängenbereich hat auch die Weiterentwicklung der von D. Gabor (1948) vorgeschlagenen Idee der holografischen Abbildung einen enormen Aufschwung genommen. Heute sind holografische Verfahren zur Erzeugung räumlicher Bilder etabliert in Bereichen von sowohl künstlerischer (holografische „Bilder“; Schmuckhologramme) als auch technischer Bedeutung (Herstellung holografischer optischer Komponenten; holografische Verfahren zur Teilchengrößenbestimmung; holografische Vibrationsanalyse, etc.). Mit diesem Versuch sollen die theoretischen und experimentell-technischen Grundlagen der Holografie erarbeitet werden.

Ein Hologramm besteht im Wesentlichen in der Aufzeichnung eines von zwei kohärenten Wellen gebildeten Interferenzmusters in einem lichtempfindlichen Medium. Hierzu wird das aus einem Laser¹ austretende Licht in zwei kohärente (je nach Anwendung ebene oder divergente) Wellen hinreichenden Querschnitts aufgeweitet. Eine der beiden wird nach Streuung am interessierenden Objekt als sog. Objektstrahl mit dem ungestreuten sog. Referenzstrahl in der Ebene einer Photoplatte (Slavich PFG-01) zur Interferenz gebracht.

Abbildung eines holografisch erzeugten Strichgitters



Das nach der Entwicklung und der Fixierung bzw. der Bleichung der Fotoemulsion im Filmmaterial gespeicherte Intensitätsmuster enthält als Amplitudenhologramm bzw. als Phasenhologramm alle für die Rekonstruktion eines räumlichen Bildes des Objekts notwendige Intensitäts- und Phaseninformation.

Lernziele

- physikalische Grundlagen der holografischen Abbildung (Beugung, Interferenz, Kohärenz)

¹ **Vorsicht:** beim Arbeiten im Laserlabor muss - insbesondere weil während der Justierphase teilweise ohne Schutzbrille gearbeitet wird - unbedingt vermieden werden, direkt in den Laserstrahl zu schauen! Beachten Sie vor allem auch das Auftreten von Reflexen an den Spiegeln und gekrümmten (!) Flächen optischer Komponenten (z.B. der Linsen), und entfernen Sie bitte (reflektierende) Uhren und Schmuck.

- Grundkenntnisse zur Fourier-Transformation
- Kenntnis der verwendeten (optischen) Elemente [speziell: Eigenschaften des He-Ne-Lasers als Lichtquelle; optische Gitter (Sinusgitter, Rechteckgitter; Transmissions-, Reflexionsgitter)]
- Prinzip der optischen Informationsspeicherung in Hologrammen; Hologramme in der optischen Mustererkennung

Versuchsvorbereitung

In der Anlage 1 finden Sie eine Liste der zur Verfügung stehenden Bauteile und Geräte.

- 1) Machen Sie sich mit den zugrundeliegenden physikalischen Eigenschaften und mit den Funktionsweisen der Bauteile vertraut!
- 2) Überlegen Sie, wie Sie hiermit einen Aufbau zur Aufnahme eines Amplitudenhologramms bzw. eines Phasenhologramms realisieren können!
- 3) Bringen Sie am Praktikumstag Skizzen Ihrer geplanten Versuchsaufbauten mit und erläutern Sie diese (mündlich). Welche Anforderungen müssen an die (mechanische) Stabilität gestellt werden? Welche Anforderungen folgen für die Kohärenzlänge?
- 4) Bringen Sie ferner jeder (mindestens) einen zur Aufnahme Ihres Hologramms geeigneten Gegenstand (Höhe und Breite ca. 3 cm, Tiefe nicht mehr als 2 cm) mit. Wie soll dieser beschaffen sein? Welche Farben sind geeignet? Warum?
- 5) Zur Abschätzung der Stabilität sollen Sie ein Michelson-Interferometer aufbauen. Inwieweit können Sie aus dem Interferenzmuster auf die mechanische Stabilität des Aufbaus schließen? Wie muss das auszumessende Interferenzmuster aussehen? Achten Sie darauf, dass beide optischen Wege gleich sind (Messband).
- 6) Zum Schluss beobachten Sie den Kontrast bei einigen unterschiedlichen Wegdifferenzen zwischen ca. 10 bis 30 cm.
- 7) Überlegen Sie, wie Sie die Herstellung eines optischen Gitters realisieren können.

Versuchsdurchführung

- 1) Rekonstruieren Sie mit einem der vorhandenen Hologramme die dort gespeicherte Gegenstandsinformation (eventuell auf dem Hologramm vorhandene Beschriftung zum Beobachter). Wenn Sie das virtuelle Bild gefunden haben, wo müsste das reelle Bild liegen? Beschreiben und begründen Sie Ihre Beobachtungen!
- 2) Bauen Sie mit den zur Verfügung stehenden Komponenten ein Michelson-Interferometer auf.² Überprüfen Sie die mechanische Stabilität Ihres Aufbaus:
 - a) in Bezug auf kurzzeitige Störungen,
 - b) in Bezug auf das Langzeitverhalten (ca. 30 min. lang).
- 3) Was können Sie hieraus in Bezug auf die von Ihnen zu erstellenden Hologramme schließen?
- 4) Diskutieren Sie den Aufbau und die geplante Belichtung für die Herstellung von Weißlichtreflexionshologrammen mit Ihrem Betreuer. Montieren Sie den Holografiefilm³ und nehmen Sie mit zweien Ihrer Objekte Hologramme auf. (Bitte machen Sie von jedem Objekt zwei identische Expositionen! Denken Sie daran, die Filme vor der Belichtung geeignet zu markieren, insbesondere falls Sie verschiedene Belichtungszeiten wählen.)

² Wenden Sie dabei besondere Sorgfalt bei der Justierung der Lochblenden auf.

³ Von jetzt an müssen Sie in absoluter Dunkelheit arbeiten und vor dem Einschalten von Licht das Filmmaterial lichtdicht aufbewahren!

- 5) Entwickeln Sie Ihre Hologramme in der Dunkelkammer. Anleitungen hierzu befinden sich in den ausführlichen Unterlagen im FP-Ordner zu Versuch A13 in der Bibliothek. Nach einer Trocknungszeit von ca. 60 min überprüfen Sie das Ergebnis und diskutieren Sie es mit Ihrem Betreuer. Während des Trocknens schrumpft die Gelatineschicht des Filmmaterials. Welche Auswirkungen hat das auf das fertige Hologramm?

Folgende Fragen sollen im Protokoll beantwortet werden:

- 1) Geben Sie eine mathematische Behandlung für das Speichern und Auslesen von Hologrammen unter Verwendung der Wellenvektoren k_{referenz} und k_{objekt} . Zeigen Sie explizit die k_{referenz} und k_{objekt} Abhängigkeit von den verschiedenen Termen.
- 2) Warum sollten beim Speichern von Transmissionshologrammen Referenz- und Objektstrahl von derselben Seite kommen, und beim Speichern von Reflektionshologrammen von verschiedenen Seiten?
- 3) Warum steht der Objekthalter schräg im experimentellen Aufbau für die Aufnahme der Hologramme?
- 4) Erklären Sie die Sinusbewegung in der Langzeitaufnahme bei der Stabilitätsüberprüfung.
- 5) Die leichte Winkelabhängigkeit von der Farbe des Hologramms ist verknüpft mit einer ungleichen Schrumpfung der Filme in verschiedenen Richtungen und nicht mit der Braggbedingung selbst. Das ist einfach einzusehen durch eine kleine Berechnung: Nimm an, dass die Braggbedingung für eine gewisse Gitterkonstante d beim Winkel $\alpha=30^\circ$ die passende Wellenlänge 500 nm ist, berechne dann welche Wellenlänge (Farbe) man von diesem Gitter sieht unter einem Betrachtungswinkel von $\alpha=50^\circ$.

Literatur

- Lauterborn W., Kurz T., Wiesenfeld M.:
Kohärente Optik - Grundlagen für Physiker und Ingenieure,
Springer-Verlag Berlin usw. (1993)
Kap. 7.1 – 7.3 S. 101-123
- Bergmann L., Schäfer C.: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd.3: Optik, 9. Auflage,
Verlag de Gruyter (1993)
Kap. 3.14 S. 428-435, 441-449
- Fowles G.R.: Introduction to Modern Optics, 2nd edition,
Dover Publ. New York: (1989)
Kap. 5.5-5.7 S. 132-146
- Gabor D.: A new microscopic principle, Nature 161, 777-778 (1948)

| | |
|---------------|--|
| Hariharan P.: | Optical Holography Principles, Techniques and Application, Cambridge Studies in Modern Optics 2, Cambridge University Press (1991) |
| insbesondere: | Kap. 2.1, 2.2, 2.3 S. 11-18 |
| | Kap. 4.1.1 S. 41 |
| | Kap. 5.1 - 5.9 S. 63-73 |
| | Kap. 6.1 - 6.4, 6.7, 6.8 S. 78-80, S. 85-86 |
| | Kap. 7.1 S. 88 |
| | Kap. 12.9 S. 187-188 |
| | Kap. 13.1 S. 194-195 |

Anlagen

- Anlage 1: Liste der optischen Komponenten
- Anlage 2: Kennlinie des Filmmaterials⁴
- Anlage 3: Vorgehen beim Herstellen der Fotochemikalien
- Anlage 4: Zum Belichten des holografischen Filmmaterials
- Anlage 5: Vorgehen bei der Entwicklung der belichteten Photoschicht
- Anlage 6: Benutzungsanleitung für den Belichtungsmesser

Anlage 1:

Liste der Arbeitsmaterialien:

1. schwingungsgedämpfter Tisch
2. He-Ne-Laser, 5 mW, pol., rot: $\lambda = 632.8 \text{ nm}$, mit Justierhalterung und Netzgerät
3. Filterhalterung, dazu: Graufilter in verschiedenen Dichten
4. Wedge-Filter, zirkular (variabler Strahlteiler)
5. Strahlteiler (1:1)
6. 2 Achromaten $f = 300 \text{ mm}$ ($D = 50 \text{ mm}$)
7. 2 Achromaten $f = 160 \text{ mm}$ ($D = 40 \text{ mm}$)
8. 4 Planspiegel
9. 2 justierbare Raumfilter mit
Mikroskopobjektiv (10x; $f = 16.9 \text{ mm}$) und $15 \mu\text{m}$ Lochblende
oder
Mikroskopobjektiv (16x; $f = 10.8 \text{ mm}$) und $25 \mu\text{m}$ Lochblende
10. 2 Irisblenden $D/A 37.0 \text{ mm}$, $D_{\text{max}} = 25.0 \text{ mm}$
11. 2 Irisblenden $D/A 70.0 \text{ mm}$, $D_{\text{max}} = 50 \text{ mm}$
12. Elektronischer Verschluss mit Verschlusskontrolleinheit
13. Belichtungsmesser
14. 1 Fotodiode (SFH 206K/Siemens), dazu: diverse Kabel, Netzgerät und X-Y-Schreiber
15. Filmmaterial: Slavich PFG-01, dazu: Planfilmhalterung,
16. Schirme
17. Dunkelkammer mit entsprechender Ausstattung

Zu allen optischen Komponenten gehören Montagegestäbe, Halterungen und Magnethalter.

⁴ Den Inhalt dieser Anlagen entnehmen Sie bitte dem FP-Ordner zu A13 in der Bibliothek.