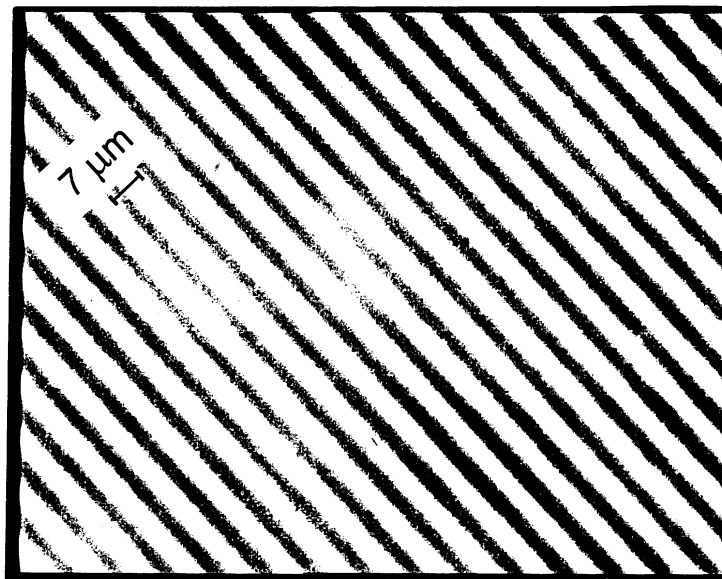


A13: Holografie

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 (Planfilm Holotest 8E75HD / Agfa) zur

Abbildung eines holografisch erzeugten Strichgitters



Interferenz gebracht. 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).

- 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. 4 cm, Tiefe nicht mehr als 2 cm) mit. Wie soll dieser beschaffen sein? Warum?
- 5) Entscheiden Sie, ob Sie von diesem Gegenstand ein Transmissions- oder ein Reflexionshologramm herstellen möchten (oder ob Sie eine optische Komponente herstellen wollen). Für Transmissionshologramm etwa eine Woche vorher eine E-mail an den Betreuer senden, damit für Fixierer gesorgt wird.
- 6) 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). Zum Schluss beobachten Sie den Kontrast bei einer Wegdifferenz von etwa 10 cm.
- 7) Überlegen Sie, wie Sie die Herstellung eines optischen Gitters (oder eines anderen optischen Bauteils) realisieren können.
- 8) Falls Sie **Gitter** herstellen möchten: Planen Sie bitte die Aufnahme (mindestens) eines Gitters zur Anwendung im sichtbaren Bereich des Spektrums. Welche Gitterkonstante soll Ihr Gitter haben?.
- 9) Falls Sie ein **anderes** „Gerät“ herstellen möchten: Planen Sie bitte einen geeigneten optischen Aufbau!

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. 20 min. lang).

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

- 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 zwei 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.)
- 5) Entwickeln Sie Ihre Hologramme in der Dunkelkammer. Anleitungen hierzu befinden sich in Anlage 3 und 4 der ausführlichen Unterlagen im FP-Ordner zu Versuch A13 in der Bibliothek. Nach einer ersten Trocknungszeit von ca. 30 min: Überprüfen Sie das Ergebnis und diskutieren Sie es mit Ihrem Betreuer. Die Hologramme werden dann über Nacht vollständig getrocknet. Dabei wird die Gelatineschicht des Filmmaterials schrumpfen. Welche Auswirkungen hat das auf das fertige Hologramm?
- 6) Falls noch Zeit verbleibt: Realisieren Sie einen Aufbau zur Herstellung einer optischen Komponente Ihrer Wahl, oder realisieren Sie einen von Ihnen geplanten Zweistrahl-Aufbau zur Aufnahme eines Hologramms mit einem Objekt Ihrer Wahl. Wählen (und messen) Sie ein geeignetes Verhältnis von Objektstrahlintensität zu Referenzstrahlintensität.
(Zur Kennlinie der verwendeten Photoemulsion: vergl. Anlage 2 im FP-Ordner.)

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

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

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, 30 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. Kollimationstester
7. 2 Achromaten $f = 300 \text{ mm}$ ($D = 50 \text{ mm}$)
8. 2 Achromaten $f = 160 \text{ mm}$ ($D = 40 \text{ mm}$)
9. 4 Planspiegel
10. 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
11. 2 Irisblenden $D/A 37.0 \text{ mm}$, $D_{\text{max}} = 25.0 \text{ mm}$
12. 2 Irisblenden $D/A 70.0 \text{ mm}$, $D_{\text{max}} = 50 \text{ mm}$
13. Elektronischer Verschluss mit Verschlusskontrolleinheit
14. Laserleistungsmessgerät
15. Belichtungsmesser
16. 1 Fotodiode (SFH 206K/Siemens), dazu: diverse Kabel, Netzgerät und Schreiber
17. Filmmaterial: HOLOtest von AGFA, dazu: Planfilmhalterung,
18. Schirme
19. Dunkelkammer mit entsprechender Ausstattung

Zu allen optischen Komponenten gehören Montagestäbe, Halterungen und Magnethalter.

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