

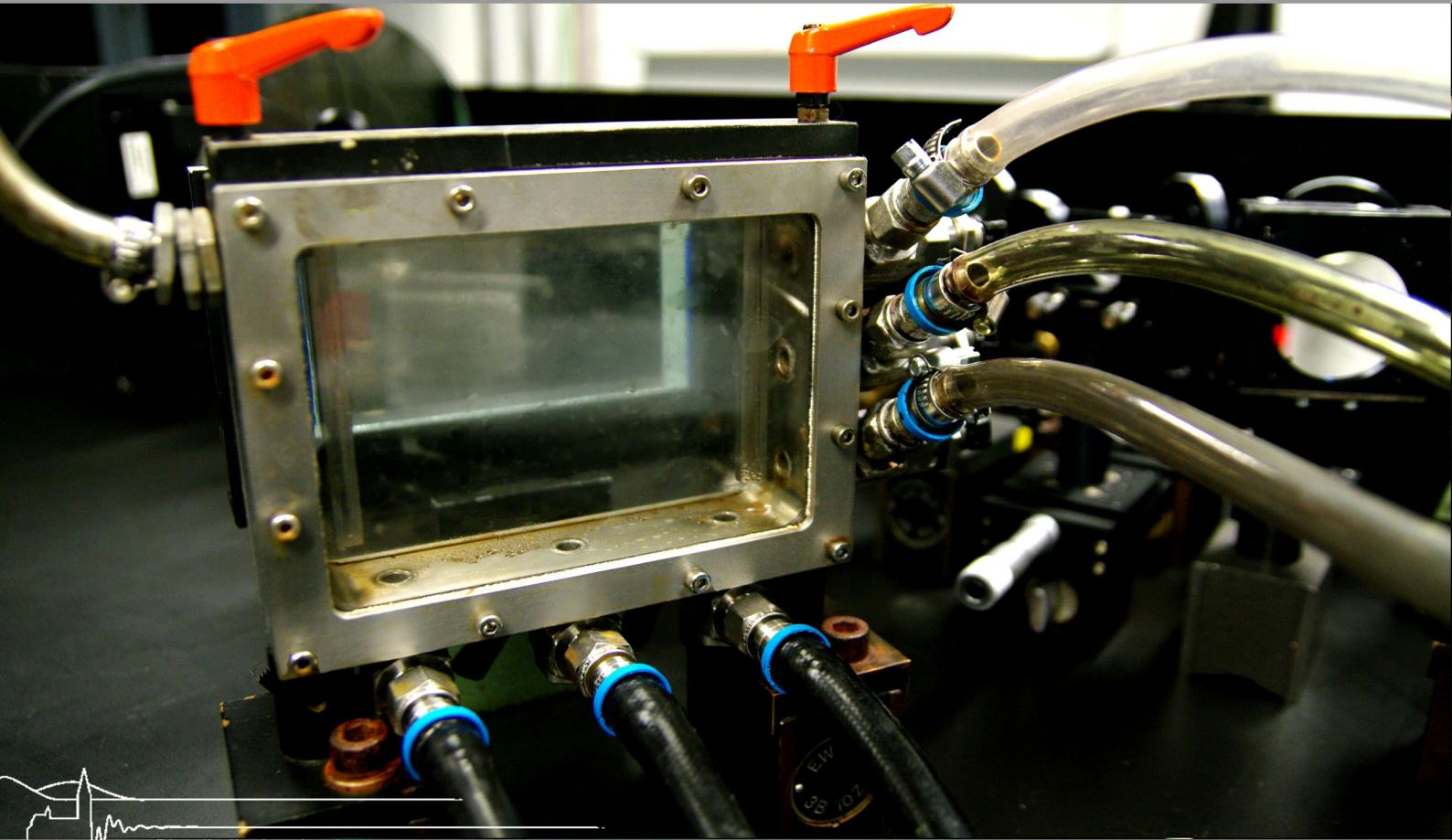


Versuchsanleitung

Fortgeschrittenen Praktikum

Teil II

Holographie



FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM II

M.KÖHLI (2/2011)

Holographie

INSTITUT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT
FREIBURG IM BREISGAU

26. JUNI 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Versuches	1
2 Vorwort zum Versuch	1
3 Versuchsbeschreibung	2
4 Erforderliche Kenntnisse	3
5 Aufgabenstellung	4
6 Versuchsdurchführung	6
7 Geräteliste	10
8 Versuchsaufbau	10
9 Hinweise zum Entwickeln	11
10 Literatur	12

1 Ziel des Versuches

2 Vorwort zum Versuch

Die Holographie ist ein Verfahren zur dreidimensionalen Abbildung von Gegenständen. Hologramme kennt man als optischen Effekt aus dem Alltag, beispielsweise von Chipkarten. Weniger bekannt ist dagegen, dass die Holographie auch Grundlage einiger interessanter physikalischer Anwendungen ist. Durch Interferenzerscheinungen ist es möglich, selbst Abstände von Bruchteilen von Mikrometern an holographisch gespeicherten Objekten sichtbar zu machen. Im Versuch wird dies zum Beispiel benutzt, um die Eigenschwingungen einer massiven Aluminiumplatte zu 'sehen'.

Einen Großteil der Informationen über unsere Umwelt erhalten wir über die Augen. Träger dieser Information sind Lichtwellen, die entweder als Streulicht von Gegenständen reflektiert werden oder von den Gegenständen selbst erzeugt werden. Eine Lichtwelle ist charakterisiert durch Frequenz, Richtung, Amplitude und Phase. Das Licht wird im Auge durch eine Linse auf die Netzhaut abgebildet, aus der registrierten Lichtwelle rekonstruiert das Gehirn das Abbild des betreffenden Gegenstandes. Die registrierte Frequenz wird in einen Farbeindruck umgewandelt, die Amplitude in Helligkeit. Durch Vergleich der Bilder beider Augen ist es dem Gehirn möglich ein räumliches Bild zu entwerfen.

Bilder von Gegenständen werden üblicherweise auf Fotografien oder Filmen festgehalten, dabei wird allerdings nur die Intensität der Lichtwelle gespeichert. Das Fehlen der Phaseninformation führt zum Verschwinden des räumlichen Eindrucks. Erst 1948 wurde von Denis Gabor das erste Mal ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem Amplitude und Phase gleichzeitig gespeichert werden können, um dann ein dreidimensionales Bild des aufgenommenen Gegenstandes zu erzeugen. Dabei wird auf einer photographischen Platte das vom Gegenstand kommende Licht, die Objektwelle, einem Referenzstrahlbündel (Referenzwelle) überlagert. Sind die beiden Lichtwellen kohärent, so interferieren sie miteinander, das entstehende Interferenzmuster wird auf der Fotoplatte in Form einer Schwärzung festgehalten. Wird die Aufnahme nach dem Entwickeln wieder mit der Referenzwelle beleuchtet, so wirkt sie als Beugungsgitter und erzeugt eine Lichtwelle, die in Amplitude und Phase der ursprünglichen Objektwelle identisch ist. Es entsteht ein virtuelles, dreidimensionales Bild des Gegenstandes, das für das Auge vom tatsächlichen Gegenstand nicht zu unterscheiden ist.

3 Versuchsbeschreibung

Entscheidend für die Qualität eines Hologrammes sind die Kohärenzeigenschaften des verwendeten Lichtes. Für einfache Hologramme (Weisslichthologramme) ist Sonnenlicht bei der Betrachtung ausreichend; diese kann man direkt bei Tageslicht auf Chipkarten, etc. sehen. Möchte man die Holographie als Messmethode heranziehen, so ist grösste Sorgfalt vonnöten. Als Lichtquelle wird im Versuch ein Helium-Neon-Laser ($\lambda = 632 \text{ nm}$) verwendet, seine Kohärenzlänge liegt bei 30 cm (siehe Staatsexamensarbeit). Der Laserstrahl wird geteilt und mittels Linsen aufgeweitet in einen Objektstrahl und einen Referenzstrahl. Der Objektstrahl beleuchtet den Gegenstand, von dem ein Hologramm erzeugt werden soll. Das vom Gegenstand reflektierte Licht, die Objektwelle, trifft auf eine Fotoplatte und wird dort dem Referenzstrahl überlagert. Die optische Weglänge der beiden Teilstrahlen wird im Aufbau ungefähr gleich lang gehalten, so dass die Überlagerung kohärent erfolgt und auf der Fotoplatte ein Interferenzmuster erzeugt. Nach dem Entwickeln der Fotoplatte kann das Hologramm wie folgt betrachtet werden: Die Fotoplatte wird an den Ort der Aufnahme zurückgebracht. Der Referenzstrahl leuchtet wie bei der Aufnahme die Fotoplatte aus, der Objektstrahl wird abgedunkelt. Nun schaut man durch die Fotoplatte hindurch dorthin, wo sich das reale Gegenstand befand. Genau an dieser Stelle entsteht ein virtuelles dreidimensionales Bild des beleuchteten Gegenstandes.

Solche Hologramme können für mehrere interessante Anwendungen eingesetzt werden. Bei der Doppelbelichtungs-Holographie wird ein Gegenstand in zwei verschiedenen Zuständen auf ein und derselben Fotoplatte festgehalten. Im Versuch sind dies einseitig eingespannte massive Metallbalken, deren freies Ende mit einem kleinen Gewicht belastet wird. Das Gewicht verursacht eine Durchbiegung der Balken im Mikrometerbereich. Die erste Hälfte der Belichtungszeit sind die Balken verbogen, die zweite Hälfte der Belichtungszeit bleiben die Balken entspannt. Die beiden Bilder interferieren auf der Fotoplatte miteinander, beim Betrachten erkennt man auf den Balken Intensitätsmaxima- und Minima entsprechend der Stärke der Durchbiegung. Aus den Positionen dieser Interferenzstreifen wird eine Durchbiegungskurve errechnet und das Elastizitätsmodul der unterschiedlichen Metalle bestimmt.

Bei der Echtzeit-Holographie wird ein Hologramm erstellt und dieses Hologramm dem realen, beleuchteten Gegenstand überlagert. Im Versuch wird das virtuelle Bild einer fest eingespannten, 5 mm dicken runden Aluminiumplatte mit der realen Platte zur Interferenz gebracht. Die reale Platte wird dann über einen Lautsprecher zu Schwingungen angeregt, die Eigenschwingungen der Platte werden dabei direkt als Interferenzstreifenbilder sichtbar (Abbildung 1). Auf diese Weise können die Eigenmoden der Platte bestimmt und mit den theoretischen Werten verglichen werden.

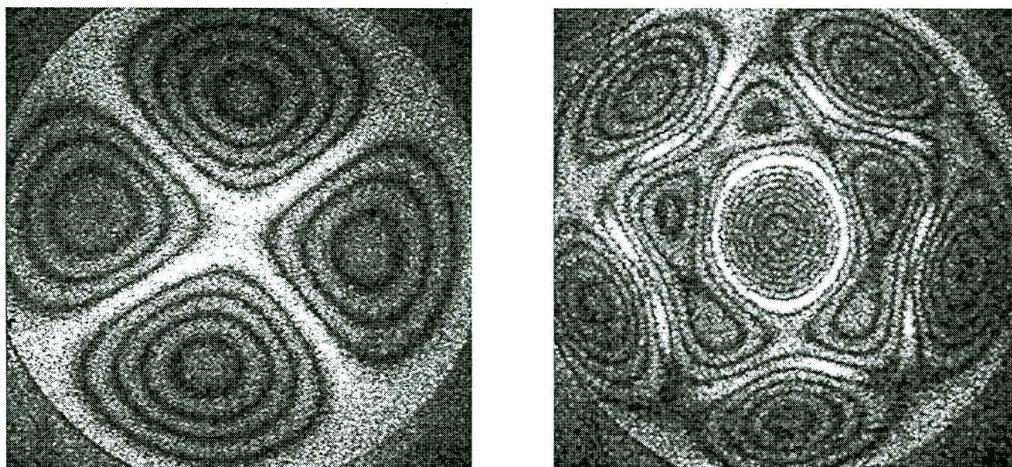


Abbildung 1: Die Eigenschwingungen einer am Rand fest eingespannten Aluminiumplatte werden mittels holographischer Interferometrie sichtbar gemacht. Links: 2-0-Mode, d.h. zwei Knotenlinien in der Winkelkoordinate. Rechts: Überlagerung mehrerer Eigenmoden, Beteiligung der 0-2-Mode (zwei radiale Knotenlinien) erkennbar.

Der Aufbau zur Fourierinterferometrie zeigt an einem einfachen Beispiel, wie die Holographie zur Mustererkennung eingesetzt werden kann. Dabei dient das Hologramm des gesuchten Objektmusters/Gegenstandes als Filter. Dieser Filter wird mit dem Bild eines beliebigen Vergleichsmusters beleuchtet. Dabei befindet sich bei der Aufnahme und dem späteren Mustervergleich zwischen Objekt und Fotoplatte eine Linse, die auf optischem Wege eine Fouriertransformation bewerkstellt. Das bedeutet, dass auf der Hologrammebene die Fouriertransformierten von Objektmuster und Vergleichsmuster miteinander wechselwirken, mathematisch: multipliziert werden. Man kann mit dem Faltungssatz der Fouriertransformation zeigen, dass diese Multiplikation (Plus Rücktransformation) gerade die Kreuzkorrelation der beiden beteiligten Muster liefert. Die Kreuzkorrelation wiederum ist ein Maß für das Übereinstimmen der beiden Muster. Dieser allgemein gültige Zusammenhang wird im Versuch mit einem schmalen Spalt als einfaches 'Muster' untersucht und kann bei geeigneter Beobachtung direkt mit dem Auge gesehen werden (Abb. 2):

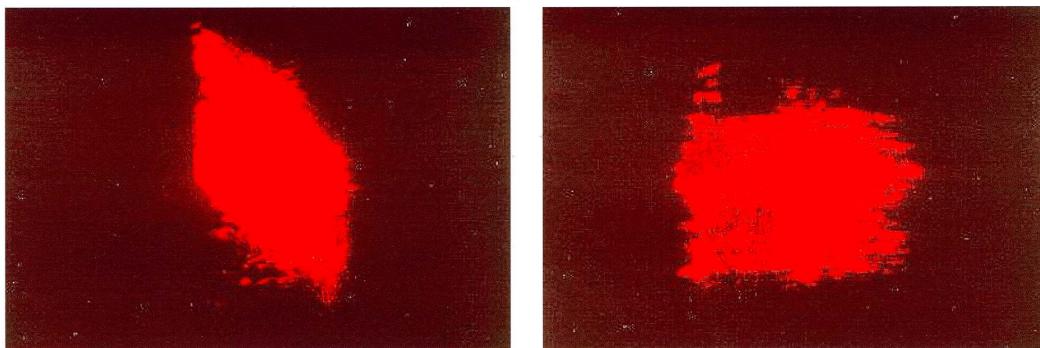


Abbildung 2: Kreuzkorrelation zweier Spalte. Links: Verdrehung der Spalte um 50° , rechts: Verdrehung um 90°

4 Erforderliche Kenntnisse

- Grundlagen der Wellenoptik
- Interferenz ebener Wellen/Kugelwellen
- Michelson Interferometer
- Huygensches Prinzip, Fresnel-/Fraunhofer Näherung der Beugungstheorie
- Beugung am Amplituden- und Phasengitter
- Aufnahme und Betrachten eines Hologrammes
- Holographische Interferometrie:
Doppelbelichtungs-, Echtzeit-, Zeitmittelungstechnik
- Fouriertransformation mittels Linsen
- Funktionsweise eines Raumfilters
- Kreuzkorrelation und Faltungsintegral
- Funktionsprinzip eines Lasers
- Kohärenzlänge
- Biegung eines Balkens, Elastizitätsmodul
- Eigenschwingungen einer runden, eingespannten Platte

5 Aufgabenstellung

- Prüfen Sie mit Hilfe des Michelson-Interferometers die Empfindlichkeit der optischen Bank auf äußere Einflüsse. Dazu wird der Laserstrahl mit dem Strahlteilerwürfel in zwei Teilstrahlen zerlegt, die über zwei Spiegel etwa die gleiche optische Weglänge zurücklegen. Die beiden Teilstrahlen werden wiederum über den Würfel vereinigt und über eine Linse das entstehende Interferenzmuster auf einen Schirm projiziert. Verschiebt man den auf einen Schlitten montierten Spiegel, so kann man ein Wandern des Interferenzmusters beobachten. Beobachten Sie den Einfluss äußerer Störungen, wie beispielsweise Sprechen, Herumlaufen, angezündetes Streichholz unter einem Teilstrahl etc.

Untersuchen Sie die Kohärenzeigenschaften des Lasers. Dazu wird der optische Weg des Laserlichtes für einen der Teilstrahlen gegenüber dem anderen deutlich verlängert, solange bis das Interferenzmuster verschwimmt.

- Vermessen Sie die Durchbiegung der drei einseitig eingespannten Metallbalken (Aluminium, Messing, Stahl) bei Belastung mit einer sehr geringen Kraft. Dazu ist ein Doppelbelichtungshologramm der drei Balken anzufertigen: In der ersten Hälfte der Belichtungszeit werden die Balken über eine Umlenkrolle durch angehängte Gewichte von 30 g belastet. Dann werden die Gewichte vorsichtig mit einer Schere von den Balken getrennt und mit den unbelasteten Balken die zweite Hälfte der Belichtung vorgenommen. Für diese Aufnahme werden die dünnen Fotofolien, eingespannt zwischen zwei Glasscheiben, verwendet, die Entwicklung erfolgt unter dem Abzug im Wasserbad (Zum genauen Ablauf des Entwicklungsvorganges siehe Staatsexamensarbeit S. UNMÜSSIG). Zur Betrachtung wird die Folie an den Ort der Aufnahme zurückgebracht.

Bei der Betrachtung des entstandenen Hologrammes interferieren die beiden auf dem Film festgehaltenen Zustände der Balken miteinander, die virtuellen Bilder der Balken sind von Interferenzstreifen durchzogen. Aus den Abständen der Interferenzminima kann die Verbiegung der Balken ermittelt werden. Die sich ergebenden Durchbiegungskurven haben idealerweise die Form

$$y = P_1 \left(\frac{5x^2 - x^3}{6} \right) + P_2 x + P_3 \quad (1)$$

mit:

x : Abstand von der Einspannstelle

y : Auslenkung aus der Ruhelage

P_i : Parameter, die u. a. Materialkonstanten enthalten und die Gegebenheiten des Aufbaus berücksichtigen

Mit einem geeigneten Fit können aus den Kurven die Elastizitätsmodule der Balken bestimmt werden, und daraus das jeweilige Balkenmaterial identifiziert werden.

- Untersuchen Sie mittels Echtzeitholographie die Eigenschwingung der eingespannten Aluminiumplatte. Dazu wird zunächst ein Hologramm der Aluminiumplatte erstellt. Die Aufnahme wird auf dem glasplattengetragenen Film gemacht und in der Flutungsanlage *in situ* entwickelt, da schon minimalste Verschiebungen am Aufbau oder an der Position der Fotoplatte die Interferenz zerstören und eine Beobachtung unmöglich machen. Mit einem Lautsprecher, der schon vor der Hologammaufnahme hinter der Aluminiumplatte postiert wurde, kann die Platte nun zu Schwingungen angeregt werden. Bei den Eigenfrequenzen der Platte ist ihre Auslenkung so stark, dass die Überlagerung der echten, schwingenden Platte und der virtuellen, ruhenden Platte Interferenzmuster erzeugen, die wie ein Höhenlinienplot der zugehörigen Eigenschwingung aussehen. Deutlich sichtbar wird dieses Interferenzmuster dann, wenn man mit Hilfe der vor den Laser geschalteten Pockelszelle den Laser stroboskopisch betreibt, das heißt immer nur dann beleuchtet, wenn die Auslenkung der realen, schwingenden Platte gerade maximal ist. Finden Sie so möglichst viele Eigenfrequenzen der Aluminiumplatte und tragen Sie die gemessenen Frequenzen in einem Schaubild gegen die theoretisch erwarteten Frequenzen auf. Nehmen Sie mit einer Digitalkamera die entsprechenden Schwingungsmuster auf und identifizieren Sie damit die Eigenmoden der Platte.

4. Beobachten Sie mit Hilfe der Fourierspektroskopie die Kreuzkorrelationsfunktion zweier gegeneinander verdrehter Spalte, Länge 2 cm und Breite 30 cm. Zunächst ist das Hologramm des einzelnen Spaltes anzufertigen. Dazu wird der Spalt von hinten mit einem aufgeweiteten und parallelisierten Laserlichtbündel ausgeleuchtet (Details zum Aufbau siehe Skript A. BAMBERGER). Das entstehende Beugungsmuster wird mit einer Linse auf die Hologrammebene (hier = Fourierebene) abgebildet und interferiert dort mit dem nun ebenfalls parallelisierten Referenzstrahl. Zur Beobachtung wird hier der Referenzstrahl abgeblockt und nur der reale Spalt von hinten ausgeleuchtet. Das Beugungsmuster des realen Spaltes wird wiederum auf die Hologrammebene abgebildet und dort durch das holographisch gespeicherte Bild des Spaltes modifiziert. Betrachtet man nun das Hologramm entgegen der ursprünglichen Richtung des Referenzstrahles, so erkennt man einen deutlichen Glanzwinkel, unter dem die Kreuzkorrelation der beiden Spalte direkt zu sehen ist. Verdrehen Sie den Spalt aus seiner ursprünglichen Richtung und beobachten Sie die Veränderung des Signales. Halten Sie die gemachten Beobachtungen fest (Stift und Papier, Aufnahmen sind nicht trivial).

6 Versuchsdurchführung

1. Anordnung der Komponenten:

Es ist sehr wichtig, bei der Justierung des Aufbaus mit Ruhe und Sorgfalt vorzugehen, man erhält dann schneller schöne Aufnahmen und spart im Endeffekt viel Zeit und Nerven.

Es ist nicht nötig, die Strahlengänge von Referenz- und Objektstrahl auf ein Rechteck zu zwingen, auch wenn dies durch die schematischen Versuchsskizzen nahegelegt wird. Man sollte allerdings darauf achten, dass die optischen Wege von Referenz- und Objektwelle ab dem Strahlteiler bis zur Fotoplatte ungefähr gleich sind (Kohärenzlänge des Lasers 30 cm). Entscheidend sind hohe Intensität für Objekt- und Referenzwelle. Vor der Aufnahme überprüfen, ob Reflexe der Fotoplattenhalterung das Objekt treffen, gegebenenfalls umstellen, da Reflexe die Bildqualität mindern. Ausrichtung der Referenzwelle zur Fotoplatte unter dem Brewsterwinkel ist nach meiner Erfahrung nicht nötig. Es ist günstig, die Fotoplatte und die Ebene der Balken/Aluplatte für die Aufnahme parallel anzurichten, da sonst die Hologramme unvollständig bleiben.

2. Position der Raumfilter:

Zu Beginn den Weg des unaufgeweiteten Laserstrahles bis zum Objekt/zur Fotoplatte verfolgen.

Vorsicht: auf keinen Fall das Auge dem unaufgeweiteten Strahl aussetzen!

- Strahlteiler auf maximale Intensität in zu justierenden Teilstrahl einstellen.
- Die Zielscheibe ca. 15 cm hinter der Stelle, an der der Raumfilter stehen soll, so positionieren, dass der Strahl exakt die Mitte trifft, und magnetisch fixieren.
- Das Pinhole mit den Lineartischen vom Raumfilter entfernen
- Das Objektiv des Raumfilters so positionieren, dass das Zentrum des Lichtfleckes auf dem Schirm wieder genau dessen Mitte trifft. Zusätzlich ist zu prüfen, ob der Strahl mittig durch das Objektiv tritt: hält man ein gelochtes Stück Papier so vor den Raumfilter, dass der Strahl vom Spiegel her gerade durch das Loch fällt, so sieht man auf dem Papier einen 'Halo' aus konzentrischen Kreisen, die von Reflexionen des Objektives herrühren. Der Primärstrahl sollte exakt in der Mitte dieses Halos liegen (Eine leichte Verkipfung der Raumfilter ist nicht zu beseitigen). Raumfilter fixieren.
- Nun wird das Pinhole eingesetzt. zunächst wird das Pinhole mit dem entsprechenden Lineartisch bis zum Anschlag 'vom Objektiv weg' bewegt. Dann wird das Pinhole auf den Raumfilter gesetzt und bis auf 1 mm bis 2 mm an das Objektiv heranbewegt (Vorsicht: bei einer Kollision kann das Pinhole zerstört werden! Wird nicht das Pinhole, sondern die Metallfolie selbst in den Brennpunkt des Objektives gebracht, kann sie Schaden nehmen. Deswegen beim Einsetzen des Pinholes nicht näher als 1 mm an das Objektiv heranfahren). Nun wird die Halterung des Pinhole fixiert und das Pinhole durch Drehen Sie an den entsprechenden Lineartischen so lange hin und her, bis man auf dem Schirm einen Lichtfleck sieht. Dieser ist in der Regel so schwach, dass man ihn nur bei ausgeschaltetem Deckenlicht erkennt.
- Dieser Fleck wird nun mit den entsprechenden Lineartischen auf die Mitte des Schirmes ausgerichtet. Dann wird das Pinhole mit dem dritten Lineartisch an das Objektiv herangefahren. Daran, wie weit man dabei noch mit den anderen beiden Lineartischen nachkorrigieren muss, erkennt man, wie gerade der Strahl in das Objektiv fällt. Je näher man das Pinhole an den Fokus des Objektives annähert, desto mehr Interferenzringe tauchen auf dem Schirm auf. Ist der Brennpunkt des Objektives erreicht, ziehen sich diese Ringe zu einem einzigen hellen Lichtfleck zusammen. Dieser Fleck sollte wieder mittig auf dem Schirm liegen. Der Schirm wird dann entfernt.
- Muss nun der Strahlteiler verstellt werden, so belässt man den Schirm im Strahlengang. Abwechselnd wird nun der Strahlteiler verstellt und mit den Lineartischen die Position des Pinholes so nachgeregelt, dass der Lichtfleck auf dem Schirm mittig und interferenzfrei bleibt. Ist dies nicht der Fall, sollte der Raumfilter bei der gewünschten Strahlteilerposition neu justiert werden (mit etwas Übung kann man den Raumfilter auch bei sehr geringer Lichtintensität im Strahl justieren).

3. Aufnahme und Entwicklung:

Die Belichtungszeit errechnet sich aus der benötigten empfohlenen Belichtung, bei den Folienstücken für die Aufnahme der Balken liegt sie bei $25 \mu\text{J}/\text{cm}^2$, bei den glasplattengetragenen Fotoplatten Wert auf der Verpackung kontrollieren, verschiedene Hersteller liefern unterschiedliche Produkte. Die summierte Lichtleistung von Objekt- und Referenzwelle ist am Ort des Hologrammes mit Hilfe der Photodiode zu messen. Das Verhältnis der Intensitäten von Objekt- und Referenzwelle kann in einem weiten Bereich von 1/10 bis 1/30 variiert werden, es ergeben sich jeweils durchaus brauchbare Hologramme.

Sobald der Aufbau bereit für die Aufnahme ist, wird der Laser abgeblockt und sämtliche Lichtquellen im Raum gelöscht. Der Belichtungsvorgang selbst findet bei absoluter Dunkelheit statt. Vor dem Herausholen einer Fotoplatte muss also schon alles bis zum Ende der Entwicklung vorbereitet sein.

Das Hologramm der Metallstäbe wird auf einen Planfilm aufgenommen, der zwischen zwei Glaspalten geklemmt wird. Die Entwicklung erfolgt unter dem Abzug in den bereitstehenden Wannen. Genaue Prozedur siehe Staatsarbeit, die Chemikalien können mehrmals verwendet werden, sollten aber nach drei Tagen spätestens ausgewechselt werden. Nach dem Bad in der Entwicklerlösung kann die Grünlichtlampe eingeschaltet werden. Dabei kann sofort kontrolliert werden, ob eine Schwärzung des Filmes stattgefunden hat, bei mangelnder Schwärzung ist die Belichtungszeit zu erhöhen. Nach dem Bleichen wird die Folie mit dem Föhn getrocknet und trocken wieder in die Halterung eingesetzt.

Die Aufnahmen der Aluplatte und zur Fourierinterferometrie erfolgen auf Fotoplatten in der Flutungsanlage. Es ist möglich, die Aufnahmen nass, das heißt mit Wasser gefüllter Flutungsanlage zu machen. Dies erspart einem das umständliche nachträgliche Föhnen. Trockene Aufnahme liefern Vorgängerberichten zufolge schönere Bilder. Man muss dann aber darauf achten, dass die Erwärmung nicht zu stark wird. Ausprobieren!

4. Echtzeitholographie der schwingenden Aluplatte:

Hat man ein Hologramm der Aluplatte hergestellt, so sieht man in der Regel schon ohne den Lautsprecher einzuschalten ein paar Interferenzstreifen. Diese sind darauf zurückzuführen, dass Film oder Platte sich während des Entwickelns leicht verschoben haben. Schaltet man nun den Lautsprecher ein und fährt langsam die Frequenzen durch, so kann man auch ohne Strahlpulsung die Lage der Resonanzen erkennen, da hier das statische Interferenzbild mehr oder weniger stark verschwimmt. Dabei sollte vor allem im Bereich der ersten Resonanzen der Lautsprecher kaum hörbar sein. Zur Feineinstellung und um die Form der resonanten Schwingungen deutlicher zu erkennen wird jetzt die Strahlpulsung eingeschaltet. Dabei empfiehlt es sich, sowohl den Ausgang des Frequenzgenerators als auch den des Pulsgenerators auf dem Oszilloskop zu beobachten. So lässt sich am besten vermeiden, dass Delay oder Pulsdauer am Pulsgenerator zu lang eingestellt werden und die Steuerpulse ineinander laufen. Lautstärke, Frequenz, Pulsdauer und Delay werden nun so abgestimmt, dass ein möglichst scharfes Interferenzbild zu sehen ist.

5. Fourierinterferometrie:

Hier wird wiederum eine glasplattengetragene Fotoplatte verwendet, der Aufbau ist aber nicht so empfindlich auf nachträgliche Veränderungen am Aufbau (Nachjustieren der Linsen, Bewegen des Spaltes). Die koaxiale Anordnung der Linsen in den jeweiligen Teilstrahlen ist etwas heikel, als Hilfsmittel kann man die Punkte an der Laborwand markieren, wo die Laserstrahlen auftreffen und mit der Grösse des Lichtfleckes beim aufgeweiteten Strahl auch die Parallelität überprüfen.

Um den gesuchten Effekt deutlich sehen zu können ist es empfehlenswert, die Fotoplatte gegenüber den Herstellerangaben stark überzubelichten. Die Intensitätsmessung ist heikel, interessanter ist die Beobachtung der Kreuzkorrelation mit dem Auge (nahe an die Flutungsanlage herangehen, oder Lupe verwenden) oder auf einem Schirm.

Während der Aufnahmen befanden sich keine weiteren optischen Komponenten zwischen der Hologrammebene und dem Teleobjektiv der Kamera.

Die gezeigten Bilder konnte man direkt mit dem bloßen Auge sehen, wenn man das Auge sehr nahe (ca. 1 cm) an die Glasscheibe der Flutungsanlage heranführte. Alternativ war das Beobachten

durch eine Lupe ($f \approx 4\text{ cm}$) möglich. Die Beobachtung mit dem Auge durch eine Linse grösserer Brennweite ($f \approx 15\text{ cm}$) führte zu dem unten abgebildeten Beugungsbild (in horizontaler Richtung sind mit etwas Mühe Maxima und Minima zu erkennen). Ein solches Beugungsbild war im Allgemeinen immer dann zu sehen, wenn die Abstände Fotoplatte - Linse - Auge bei der Betrachtung nicht passend gewählt wurden.

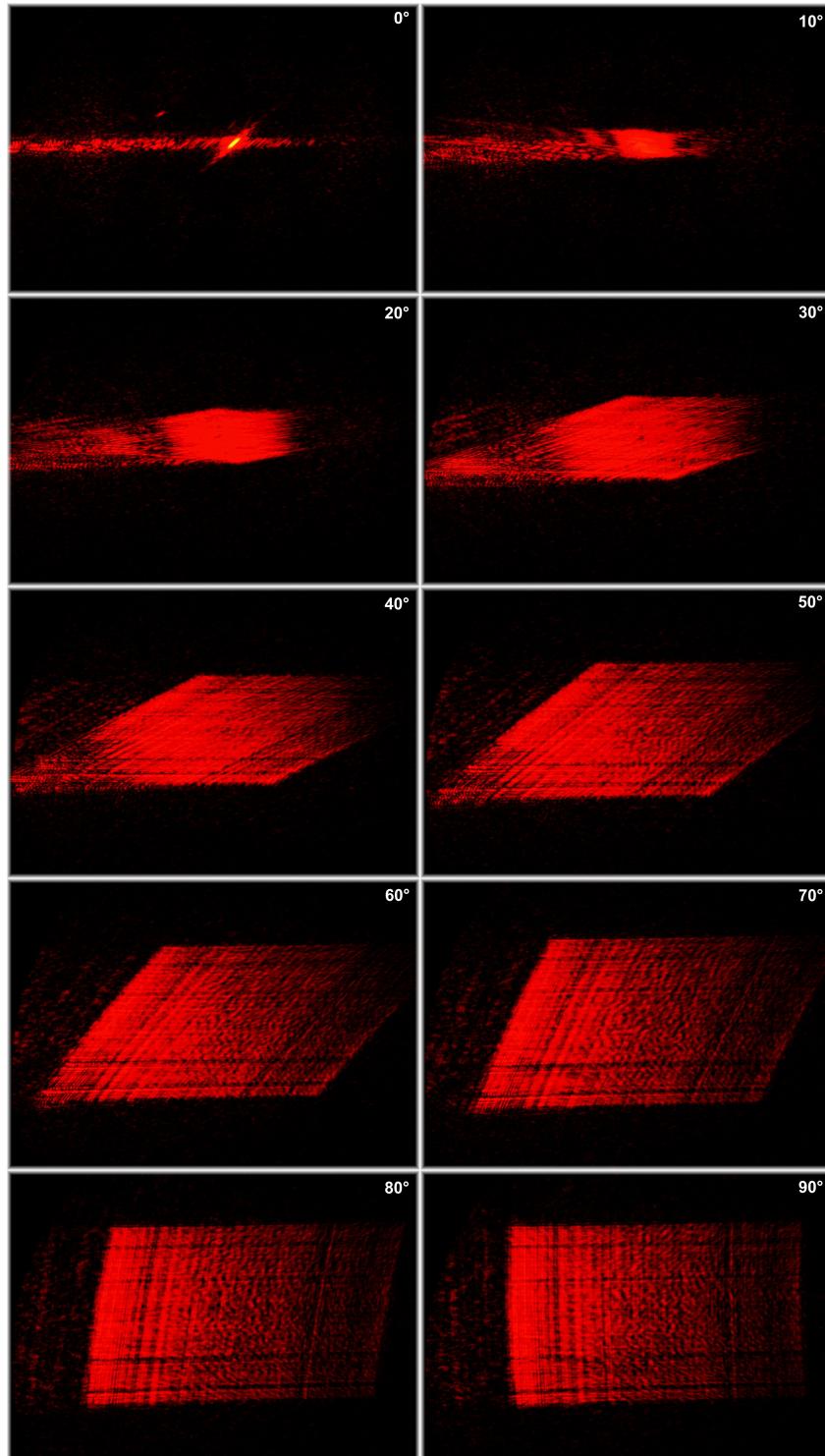


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung der Messung der Kreuzkorrelation bei verschiedenen Winkeln

6. Simulation der Kreuzkorrelation und Faltung bei verschiedenen Winkeln

Winkel	Original	Kreuzkorrelation	Faltung
0°			
10°			
20°			
30°			
40°			
50°			
60°			
70°			
80°			
90°			

Abbildung 4: Vergleich von Orginalbild, Kreuzkorrelation und der Faltung für unterschiedliche Winkel

7 Geräteliste

8 Versuchsaufbau

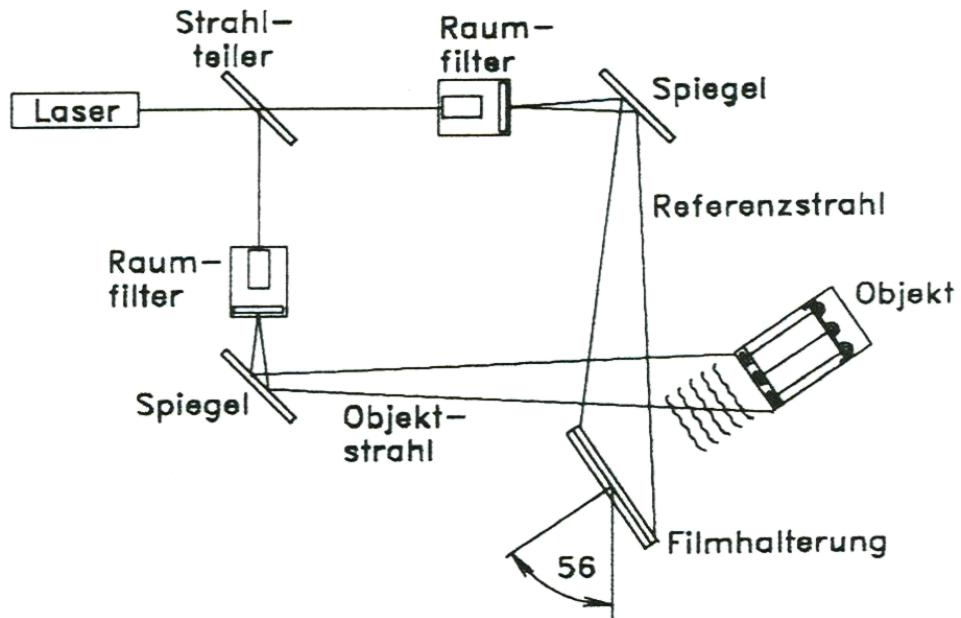


Abbildung 5: Blockbild des Versuchsaufbaus

9 Hinweise zum Entwickeln

Chemikalien:

Zum Bleichen: Für 1l werden benötigt

30 gr. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
 30 gr. Ferr. EDTA
 30 gr. Kaliumbromid
 30 gr. Natriumhydrogensulfat

Entwickler: TETENAL Dokumol SW-Entwickler

Eigene Entwicklermischung: Für 1l Entwickler werden benötigt

20 gr. Pyrocatechol
 10 gr. Ascorbinsäure
 10 gr. Natriumsulfit
 100 gr. Harnstoff
 100 gr. Natriumcarbonat

Prozeduren:

Vorgang		Platte	Film
Quellen	H_2O	10 s	—
Belichten		30 s	50 s
Entwickeln		90 s	45 s
Wässern	H_2O	2 min	2 min
Bleichen		45 s	2 min
Spülen	H_2O	30 s	10 s
Spülen	H_2O	30 s	—
Spülen	H_2O	30 s	—
Wässern	H_2O	1 min	10 min
Spülen	$\text{H}_2\text{O}+\text{Spüli}$	—	1 min
Trocknen			

10 Literatur

Wissenschaftliche Arbeiten

- UNMÜSSIG, S.: *Ein Versuch zur holographischen Interferometrie*, Zulassungsarbeit, Freiburg, 1995
- BAMBERGER, A.: *FPII-Aufgabe zur Holographie: Fourieroptik*, Freiburg, 1996

Weiterführende Literatur

- BERGMANN, L.; SCHÄFER, C.; NIEDRIG, H.: *Lehrbuch der Experimentalphysik; Bd. III Optik: Wellen- und Teilchenoptik*, 10. Aufl., de Gruyter, Berlin, 2004
- SALEH, B.E.A.; TEICH, M.C.: *Fundamentals of Photonics*, Wiley-Interscience, 2nd edition, 2007, (Abteilungsbibliothek Helm 020)
- LAUTERBORN, W. ET AL.: *Kohärente Optik*, Springer Verlag, Berlin, 1993
- COLLIER, R.G.; BURCKHARDT, C.B.; LIN, L.H.: *Optical Holography*, AP, New York, 1971, Kap.1,2,3
- FRANCON, M.: *Holographie*, Springer Verlag, Berlin, 1972

Arbeitsweise des Lasers

- HAKEN, H.; WOLF, H.C.: *Atom- und Quantenphysik*, 5. Aufl., Springer Verlag, Berlin, 2004
- DEMTRÖDER, W.: *Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken*, 5. Aufl., Springer Verlag, Berlin, 2007