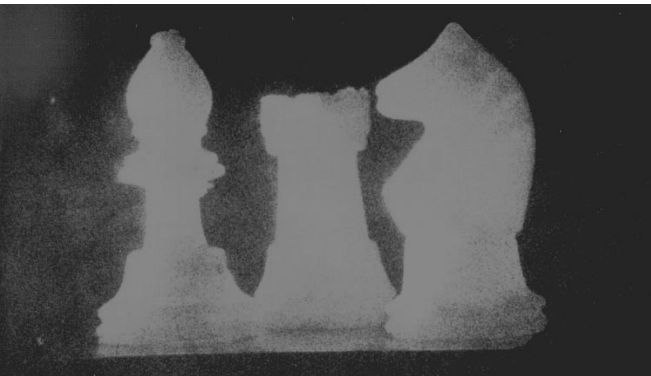
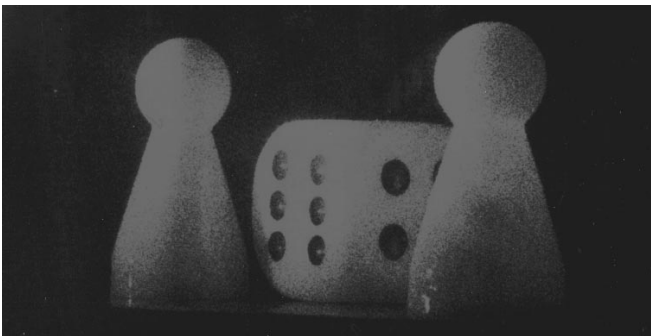


Herstellung von Transmissionshologrammen auf der Laseroptik-Grundplatte

Versuchsziele

- Herstellung von Transmissionshologrammen
- Unterscheidung zwischen Amplituden- und Phasenhologrammen und deren fotochemische Verarbeitung
- Rekonstruktion der Transmissionshologramme

Fig. 1: Fotos von Hologrammen



Grundlagen

In der Fotografie wird das Bild des zu fotografierenden Gegenstandes auf dem Film fixiert. Im Gegensatz dazu werden in der Holografie die an der Oberfläche des Gegenstandes reflektierten Lichtwellen selbst aufgenommen. Der Film zeichnet nicht nur die Amplitude der Wellenstrahlung, sondern auch deren Phase auf, womit das Hologramm die Lage eines jeden einzelnen Objektpunktes im Raum festhält.

Zur *Hologrammherstellung* wird ein Laserstrahl in einen sog. Objektstrahl und einen Referenzstrahl aufgeteilt und anschließend aufgeweitet. Der Objektstrahl beleuchtet einen Gegenstand. Das von dort reflektierte Licht wird mit dem dazu kohärenten, aus einem anderen Winkel einfallenden Referenzstrahl auf einem Film zur Deckung gebracht. Dort entsteht durch Interferenz das Hologramm, ein unregelmäßiges Muster aus dunklen Flecken, Wirbeln und Ringen, das äußerlich keinerlei Ähnlichkeit mit dem aufgenommenen Objekt hat.

Bei der *Hologrammrekonstruktion* wird ein dem Referenzstrahl entsprechender Lichtstrahl an diesem mikroskopisch kleinen Interferenzbild so gebeugt, daß die gebeugten Wellen praktisch mit den ursprünglichen Objektwellen identisch sind. Daher kann der Betrachter ein dreidimensionales Bild beobachten.

Je nach fotochemischer Behandlung des belichteten Films wird zwischen zwei Hologrammarten unterschieden:

Ein *Amplitudenhologramm* besteht aus durchsichtigen und undurchsichtigen Teilen, die durch die nach dem Entwickeln entstandenen Silberkörner hervorgerufen werden.

Bei einem *Phasenhologramm* verliert die entwickelte Schicht durch ein Bleichverfahren ihre Schwärzung. Die Information bleibt dabei je nach Bleichverfahren durch Veränderung der Brechzahl, Dicke oder reliefartige Wellungen der Hologrammoberfläche erhalten. Bei der Hologrammrekonstruktion müssen die Lichtwellen dann unterschiedliche geometrische und optische Wege zurücklegen, wodurch Gangunterschiede zwischen den einzelnen Wellen entstehen. Man sagt, das Hologramm ist phasenmoduliert.

Geräte

1 Laseroptik-Grundplatte	473 40
1 He-Ne-Laser, linear polarisiert	471 840
1 Laserträger	473 41
5 Optik-Füße	473 42
1 Variabler Strahlteiler	473 435
1 Halter für Strahlteiler	473 43
1 Filmhalter	473 44
1 Objekthalter	473 45
2 Kugellinsen, $f = 2,7 \text{ mm}$	473 47
1 Holzmaßstab	311 03
1 Schukosteckdosen-Leiste	663 615
1 Handstopuhr II	597 41
1 Satz 6 Geräteschalen, $1 \times 1 \text{ RE}$	649 11
3 Polyethylenflaschen, 1000 ml	661 234
1 Schere, 200 mm, spitz	667 016
1 Holografie-Film ¹⁾	473 442
1 Dunkelkammerzubehör	473 446
1 Fotochemikalien ²⁾	473 444
zur Phasenhologrammherstellung:	
Eisen(III)-nitrat-9-hydrat, 250 g	671 891
Kaliumbromid (KBr), 50 g	672 491

zusätzlich:

- 1 Tropfen Geschirrspülmittel, z.B. Pril
- 1 saugfähige Unterlage, z.B. Küchentuch

geeignet:

- 1) Agfa-Gevaert 2NFXQ HOLOFI 8E75 T3 HD NAH
- 2) SW-Papierentwickler Agfa Neutol, Fixierer Tetenal Superfix

Weil Phasenhologramme nichts von der zur Rekonstruktion eingestrahlten Lichtenergie absorbieren, sind sie deutlich lichtstärker als die geschwärzten Amplitudenhologramme. Aus diesem Grund werden heute Phasenhologramme in der technischen Anwendung bevorzugt.

Vorbemerkungen

Zur Herstellung guter Hologramme ist einige Sorgfalt nötig. Umgebungseinflüsse und falsche Handhabung können die Entstehung eines Hologramms sehr leicht verhindern oder zumindest zu einer Qualitätseinbuße führen.

Umgebungseinflüsse:

Zu den bedeutendsten Störungen gehören unkontrollierbare Bewegungen zwischen Interferenzfeld und Aufnahmemedium. Schon eine Veränderung der optischen Weglänge zwischen Objekt und Aufnahmemedium in der Größenordnung von $\lambda/4$ während der Aufnahme zerstört das Hologramm völlig.

Verursacht werden solche Störungen beispielsweise durch Erschütterungen des Aufbaus oder durch Luftschlieren. Im vorliegenden Versuch sind diese Einflüsse erheblich abgeschwächt, weil der Aufbau auf der schwingungsgedämpften Laseroptik-Grundplatte durchgeführt wird. Die Grundplatte ruht auf einem schwingungsisolierenden Luftpolster und besitzt eine Abdeckhaube zur Verminderung von Konvektion.

Trotz der sehr guten Schwingungsisolierung ist es möglich, daß mechanische Schwingungen aus der Umgebung auf den Versuchsaufbau übertragen werden, die so stark sind, daß sie das Interferenzfeld während der Aufnahme beeinflussen. Sie können z.B. durch Türeenschlagen, festes Auftreten auf dem Boden oder das Laufen einer Maschine entstehen. Die Ursachen müssen beseitigt werden.

Auch Temperatur- und Druckänderungen des umliegenden Milieus beeinflussen das Interferenzfeld durch Brechzahländerung der Luft erheblich. Ungünstig sind Lüftungen, Durchzug oder in der Nähe befindliche Heizungen. Ihre Auswirkungen sind noch verheerender, wenn sie gerade erst in Betrieb genommen wurden. Für die Entstehung von Luftschlieren kann der Experimentator selbst verantwortlich sein. Er sollte sich während der Aufnahme nicht zu nah an der Apparatur befinden und nicht in den Aufbau hineinatmen. Dasselbe gilt natürlich auch für andere Personen, die sich im Versuchsraum befinden. Durch Verwendung der Abdeckhaube verlieren diese störenden Einflüsse erheblich an Wirkung.

Der Einfluß mechanischer Erschütterungen oder von Luftschlieren läßt sich mit Hilfe des Michelson-Interferometers, das ebenfalls auf der Laseroptik-Grundplatte aufgebaut werden kann (siehe „Aufbau eines Michelson-Interferometers auf der Laseroptik-Grundplatte“), leicht erkennen. Das Michelson-Interferometer reagiert empfindlicher als der hier verwendete Holografie-Aufbau mit einer Bewegung des Streifenmusters auf die erwähnten Störungen. Dadurch ist es dem Experimentator zur Beurteilung der Umgebungseinflüsse sehr von Nutzen.

Sicherheitshinweise

Der He-Ne-Laser genügt den „Sicherheitstechnischen Anforderungen für Lehr-, Lern- und Ausbildungsmittel – Laser; DIN 58126, Teil 6“ für Laser der Klasse 2. Bei Beachtung der entsprechenden Hinweise in der Gebrauchsanweisung ist das Experimentieren mit dem He-Ne-Laser ungefährlich:

- Nicht in den direkten oder reflektierten Laserstrahl blicken
- Überschreiten der Blendungsgrenze vermeiden (d.h. kein Beobachter darf sich geblendet fühlen).

Die Fotochemikalien sind zum Teil giftig und aggressiv.

- Sicherheitshinweise auf den Verpackungen der Chemikalien unbedingt beachten.
- Schutzbrille, Schutzhandschuhen sowie Chemiekittel tragen.

Gebrauchte Fotochemikalien belasten die Umwelt. Sie gehören nicht ins Abwasser.

- Fotochemikalien als Sondermüll entsorgen.

Wahl des Objekts:

Das zu holografierende Objekt muß eine genügende Steifigkeit besitzen. Geeignet sind z.B. Materialien wie Metalle, harte Kunststoffe, Holz, Stein usw., ungeeignet hingegen weiche Materialien wie Textilien, Papier oder auch Pflanzen, weil sie sich während der Aufnahme leicht bewegen können.

Wackelig stehende Objekte sollten mit dem Haltearm des Objekthalters festgeklemmt werden, damit sie etwas stabiler auf der Trägerplatte stehen. Spielzeugautos sind oft federnd gelagert; aus diesem Grund besitzt die massive Trägerplatte des Objekthalters an einer Seite einen schmalen Steg, auf den die Autos so gestellt werden können, daß ihre Räder in der Luft schweben.

Dunkle Objekte sollte man mit hellen Farbsprays aufbereiten, um die Laserleistung besser auszunutzen.

Behandlung der optischen Komponenten:

Auch durch Staubteilchen, Kratzer oder Fingerabdrücke, die sich durch unsachgemäße Behandlung auf den Kugellinsen und dem variablen Strahlteiler befinden können, entstehen durchaus kontrastreiche Interferenzerscheinungen. Das Licht wird an den Verunreinigungen gebeugt, mit der Folge, daß die den Beugungsmaxima entsprechenden Hologrammbereiche überbelichtet und die den Beugungsminima entsprechenden Bereiche unterbelichtet sind. Die Qualität der Hologrammkonstruktion nimmt dadurch ab. Die optischen Komponenten müssen daher sehr sorgfältig behandelt und staubfrei aufbewahrt werden. Beschädigungen der Oberflächen und Anfassen mit bloßen Händen sind zu vermeiden. Verschmutzte Kugellinsen können dem Halter entnommen und mit einem fusselfreien Tuch oder Linsenreinigungspapier gesäubert werden. Gebrauchsanweisung hierzu unbedingt beachten!

Anforderungen an den Versuchsraum:

Der Versuchsraum muß abdunkelbar und erschütterungsarm sein sowie ausreichende thermische Stabilität bieten. Desweiteren wird eine Stromversorgung für Laser und Dunkelkammerleuchte, fließendes Wasser zur Schlußwässerung in der Nähe und ein stabiler, nicht zu hoher Tisch benötigt.

Vorbereitung**Schneiden des Filmmaterials:**

Da der Film bei einer Wellenlänge um 505 nm sehr unempfindlich ist, kann man mit einer schwachen dunkelgrünen (bzw. blaugrünen) Dunkelkammerleuchte als Orientierungshilfe arbeiten.

Den Film besser nicht direkt anstrahlen.

Beschichtete Seite beachten! Der Film ist durch eine Kerbe am Rand gekennzeichnet. Befindet sie sich rechts unten oder links oben, so zeigt die beschichtete Seite vom Betrachter weg. Den Film vorsichtig behandeln, um die Beschichtung nicht zu zerstören.

Beim Filmmaterial handelt es sich um beschichtete Kunststoffplatten (Planfilm) der Größe 10,2 cm × 12,7 cm, die auf geeignetes Format zurechtgeschnitten werden müssen.

- bei völliger Dunkelheit Platten in gewünschter Anzahl entnehmen und restlichen Film wieder lichtdicht verpacken (gekühlte Lagerung gewährleistet längere Haltbarkeit des Films).

- Schnittstellen z.B. mit dünnem Farbstift markieren und anschließend mit Schere auf 42 mm × 51 mm große Stücke (Toleranz 1 mm) zurechtschneiden (siehe Gebrauchsanweisung zum Gerätesatz Laseroptik).
- zurechtgeschnittene Stücke in absolut lichtdichtem Behälter aufbewahren (beschichtete Seite merken!) und innerhalb der nächsten Wochen aufbrauchen.

Bereitstellung der Fotochemikalien:

- die Aufbewahrungsgefäße (Polyethylenflaschen) gründlich reinigen.
- Entwickler gemäß Gebrauchsanweisung in einem Aufbewahrungsgefäß ansetzen und einen Teil davon in die entsprechende Geräteschale geben.

zur Phasenhologrammherstellung:

- Bleichbad, bestehend aus 100 g Eisen(III)-nitrat-9-hydrat, 30 g Kaliumbromid (KBr) in 1 l Wasser (evtl. destilliert), im nächsten Aufbewahrungsgefäß ansetzen und einen Teil davon in die entsprechende Schale geben.

und/ oder zur Amplitudenhologrammherstellung:

- Fixierer gemäß Herstellervorschrift im nächsten Aufbewahrungsgefäß ansetzen und einen Teil davon in die entsprechende Schale geben.
- eine Schale mit Wasser füllen. (Stoppbad)
- eine Schale mit Wasser und Geschirrspülmittel (nur ein Tropfen) füllen.
- eine Schale zum Schlußwässern in der Nähe des fließenden Wassers bereitstellen.
- Schalen nach ihrem Inhalt beschriften.

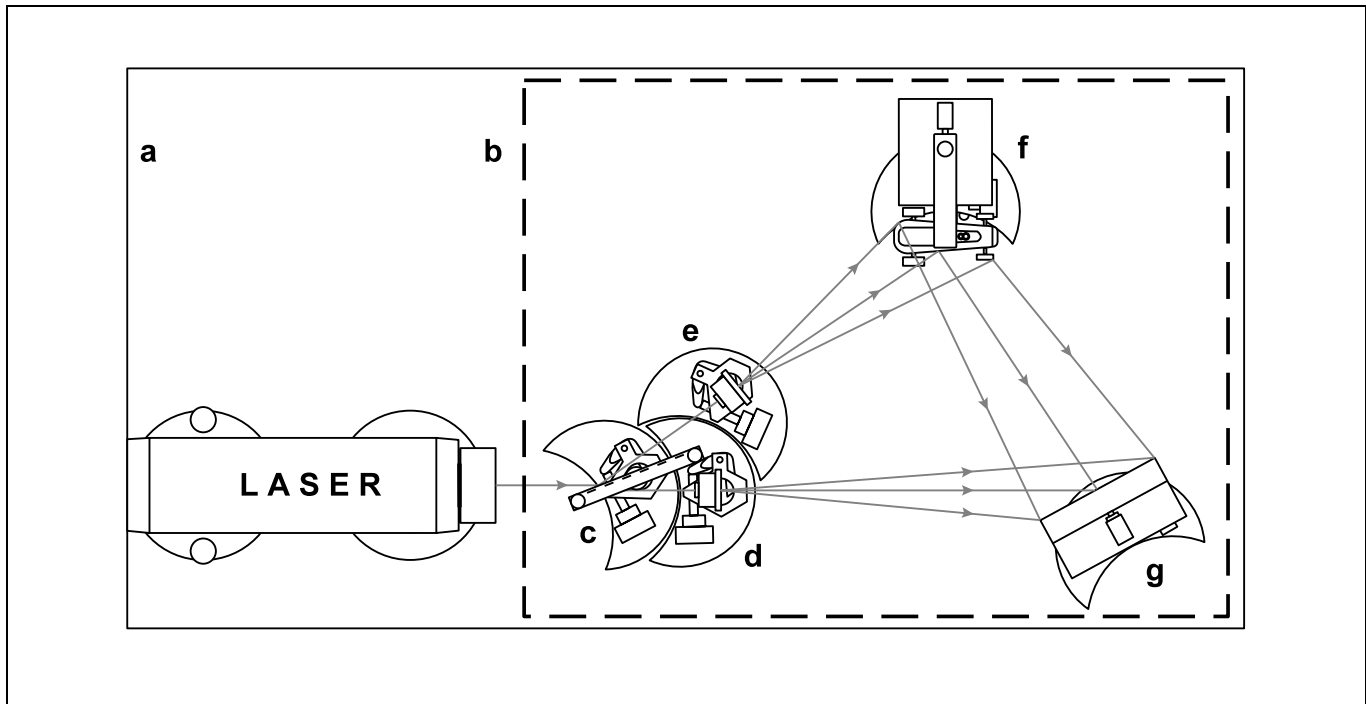


Fig. 2: Versuchsaufbau zur Herstellung von Transmissionshologrammen auf der Laseroptik-Grundplatte

- a Laseroptik-Grundplatte
- b Schutzhaube
- c Variabler Strahlteiler
- d, e Kugellinsen
- f Objekthalter
- g Filmhalter

Aufbau

Die Anordnung der optischen Komponenten auf der Laseroptik-Grundplatte ist in Fig. 2 dargestellt. Zum Aufbau sind folgende Schritte notwendig (Bauteile alle gut in den Haltern festziehen!):

Laseroptik-Grundplatte und Laser:

- Luftpolster aufpumpen.
- Abdeckhaube (b) an der Laseroptik-Grundplatte (a) befestigen
- Laseroptik-Grundplatte mit Luftpolster waagrecht auf stabilem Experimentiertisch aufstellen.
- Laser auf dem Laserträger montieren.
- Laser so nahe am linken Rand der Grundplatte plazieren, daß sich die Abdeckhaube ungestört schließen läßt.
- Laser an der Schukosteckdosen-Leiste anschließen und einschalten.
- Kontermuttern der drei Justierschrauben des Laserträgers lösen
- Höhe und Neigung des Lasers mit Hilfe der Justierschrauben so ausrichten, daß sein Strahl waagrecht etwa 75 mm über der Grundplatte verläuft (für Feinjustierung bleibt dann genügend Spielraum); mit Maßstab nachmessen.
- Kontermuttern wieder anziehen.

Justierung des variablen Strahlteilers:

Hinweise:

Je größer der Einfallswinkel des Laserstrahls auf den variablen Strahlteiler ist, um so näher kann später das Objekt am Film aufgestellt werden (bessere Ausnutzung der Laserleistung). Dabei muß der transmittierte Hauptstrahl den Teiler an der gegenüberliegenden Seite (nicht an der Stirnseite!) verlassen.

Neben dem transmittierten Hauptstrahl treten trotz der Breitbandentspiegelung des Strahlteilers durch Vielfachreflexionen noch weitere sog. parasitäre Teilstrahlen auf, die jedoch durch den Linsenhalter ausgeblendet werden.

Der variable Strahlteiler besitzt ein über seine Breite variierbares Teilungsverhältnis. Durch senkrecht Verschieben des Strahlteilers zum ursprünglichen Laserstrahl kann das Intensitätsverhältnis der beiden Teilstrahlen verändert werden. Der reflektierte Teilstrahl ist der Objektstrahl, der das Objekt beleuchtet. Weil am Objekt durch diffuse und schwache Reflexion sehr viel Lichtenergie verloren gehen kann, sollte das Teilungsverhältnis von vorne herein zu Gunsten des Objektstrahls gewählt werden.

- kontrollieren, ob der Strahlteiler (c) das Laserlicht waagrecht reflektiert; dazu den Strahlteiler mit Halter und Optik-Fuß am anderen Ende der Laseroptik-Grundplatte in den Strahlengang stellen und den Lichtstrahl neben die Austrittsöffnung des Lasers reflektieren.
- ggf. Neigungswinkel des Strahlteilers und somit den Strahlverlauf mit Hilfe der zwei Schrauben am Stiel korrigieren.
- Strahlteiler mit Optik-Fuß gemäß Fig. 1 so in den Strahlengang bringen, daß seine teildurchlässige Schicht zum Laser zeigt und die Abdeckhaube sich noch schließen läßt.

Objekthalter und Filmhalter:

- Objekthalter (f) im reflektierten Strahlengang plazieren.
- Objekt auf Objekthalter nach Möglichkeit mit Haltearm fixieren und Objekthalter so aufstellen, daß das Objekt zentral getroffen wird.

- Filmhalter (**g**) so in den transmittierten Strahlengang stellen, daß er zum Objekt zeigt und daß sich die Abdeckhaube noch schließen läßt.
- zurechtgeschnittenes, weißes Stück Papier in den Filmhalter einspannen und Filmhalter so ausrichten, daß das Papier (bzw. später der Film) mittig getroffen wird.

Kugellinse des Referenzstrahls:

Hinweis: Die Sauberkeit des Referenzstrahls ist besonders wichtig für die Qualität des Hologramms. Der Referenzstrahl sollte daher so frei wie möglich von Beugungsfiguren sein, die durch schlechtes Justieren oder durch Verunreinigungen bzw. Beschädigungen der Linsen- oder Strahlteileroberfläche entstehen können.

- Kugellinse (**d**) (mit kleinerer Strahleintrittsöffnung des Linsenhalters zum Strahlteiler zeigend) möglichst nah an den Strahlteiler in den transmittierten Teilstrahl stellen; hierzu die Ausbuchtung der Optik-Füße ausnutzen.
- Kugellinse durch vorsichtiges senkrechtes Verschieben des Optik-Fußes zum Strahlengang, durch Drehen des Fußes um seine eigene Achse und Verändern der Stielhöhe des Linsenhalters so justieren, daß der Laserstrahl die Linse möglichst axial durchläuft und das Papier im Filmhalter gut ausgeleuchtet wird; dabei den Strahlteiler nicht verschieben.

Kugellinse des Objektstrahls:

- Kugellinse (**e**) (mit kleinerer Strahleintrittsöffnung des Linsenhalters zum Strahlteiler zeigend) so nah wie möglich an den Strahlteiler in den transmittierten Strahl stellen; hierzu die Ausbuchtung der Optik-Füße ausnutzen.
- Kugellinse durch vorsichtiges senkrechtes Verschieben des Optik-Fußes zum Strahlengang, durch Drehen des Fußes um seine eigene Achse und Verändern der Stielhöhe des Linsenhalters so justieren, daß der Laserstrahl die Linse möglichst axial durchläuft und das Objekt aus der Sicht des Filmhalters gut ausgeleuchtet wird; dabei den Strahlteiler nicht verschieben.

Hinweis: Nur die beleuchteten Stellen sind später auf dem Hologramm kenntlich.

Feinjustierung:

- Laser auf 1 mW Leistung umschalten und aufgeweitete Teilstrahlen auf Sauberkeit und Verlauf prüfen; ggf. Linsen nachjustieren.
- im abgedunkelten Raum jeweils den Objektstrahl und den Referenzstrahl unterbrechen und deren Helligkeiten auf dem im Filmhalter eingespannten beleuchteten Papier miteinander vergleichen.

Das Intensitätsverhältnis ist am günstigsten, wenn der Referenzstrahl etwa 5 bis 10 mal intensiver als der vom Objekt auf den Filmhalter fallende Strahl ist. Das läßt sich mit dem Auge hinreichend genau abschätzen:

- ggf. Teilungsverhältnis am Strahlteiler nachjustieren; dazu die Kugellinsen mitsamt Optik-Fuß aus dem Strahlengang entnehmen und anschließend wieder neu justieren.

Falls der transmittierte Laserstrahl den Strahlteiler beim gewünschten Teilungsverhältnis wegen des steilen Einfallswinkels an der matten Stirnseite und nicht an der gegenüberliegenden Längsseite verläßt:

- Strahlteiler um 180° verdreht in den Halter einbauen (linke und rechte Seite vertauschen, spiegelnde Seite zeigt immer noch zum Laser!); dabei die Glasflächen nicht mit bloßen Fingern anfassen, sondern Baumwollschutzhandschuhe oder fusselfreies Tuch benutzen.

Bei sehr stark reflektierenden Objekten wird das Hologramm schöner, wenn die Hauptreflexionen nicht direkt auf den Film fallen:

- ggf. Objekt etwas verdrehen
- Papier aus dem Filmhalter entfernen.

Durchführung

Einbau des Films:

Es kann mit der schwachen dunkelgrünen (bzw. blaugrünen) Dunkelkammerleuchte als Orientierungshilfe gearbeitet werden.

Dennoch den Film nicht direkt und aus nächster Nähe anstrahlen.

- Laser ausschalten (Um den Versuchsaufbau beim Belichtungsvorgang nicht zu erschüttern, wird die Spannungsversorgung des Netzgerätes mit Hilfe des Netzschalters der Schukosteckdosen-Leiste unterbrochen und nicht der Schlüsselschalter am Laser selbst benutzt.)
- Optik-Fuß des Filmhalters (**g**) mit Finger fixieren und Filmhalter vorsichtig aus dem Aufbau entnehmen.
- Raum abdunkeln.
- ein Stück zurechtgeschnittene Film aus dem lichtdichten Behälter nehmen; dabei den Film nur am Rand berühren, um die Emulsionsschicht nicht zu zerstören.
- Spannbacken des Filmhalters durch Betätigen der Rändelschraube öffnen
- Filmmaterial so in den Halter einschieben, daß die beschichtete Seite nach der Rückführung in den Aufbau zum Objekt zeigt.
- Filmmaterial durch Schließen der Spannbacken sauber festspannen.
- Optik-Fuß des Filmhalters mit Finger fixieren und Filmhalter wieder in den Aufbau bringen.
- Abdeckhaube schließen.

Belichtung:

Die optimale Belichtungszeit ist von der Aufweitung des Laserstrahls, vom Objekt und von der Hologrammart abhängig. Sie muß empirisch ermittelt werden. Als Anhaltspunkt für Phasenhologramme bei 1 mW Laserleistung können etwa 5 bis 15 s dienen. Bei Amplitudenhologrammen ist die Belichtungszeit etwa 3 – 4 mal kürzer.

Die Leistungsbegrenzung des Lasers auf 0,2 mW erfolgt durch einen Graufilter, der die Hologrammqualität durch zusätzliche Interferenzerscheinungen verschlechtert und die Belichtungszeiten auf den ca. fünffachen Wert ansteigen läßt.

- etwa fünf Minuten warten. In dieser Zeit können sich der Film und Spannungen im Aufbau setzen.
- während der Belichtung alles unterlassen, was das Interferenzfeld auf der Filmoberfläche stören könnte (siehe Vorbemerkungen).

- Film durch Ein- und Ausschalten des Lasers an der Schukosteckdosen-Leiste belichten, ohne den Aufbau zu erschüttern (z. B. durch Ziehen am Netzkabel).
- Abdeckhaube öffnen, Filmhalter aus dem Aufbau entfernen und Film durch Öffnen der Spannbacken entnehmen. Film dabei nur am Rand berühren.

Fotochemische Verarbeitung:

Bei richtig gewählter Belichtungszeit erscheinen Phasenhologramme nach der Entwicklung dunkelgrau und Amplitudenhologramme etwa zartgrau. Erfahrene Holografen können diese Zeit etwas variieren, um das Ergebnis zu optimieren. Bei Verwendung älteren oder gebrauchten Entwicklers entsprechend länger entwickeln, da dieser an Wirkung verliert.

- Film mit der Fotozange an einer Ecke festklemmen und 60 s im Entwickler bewegen.
- Entwicklung durch 2 Minuten langes Bewegen im Wasserbad (Stoppbad) unterbrechen. Die lichtempfindliche Phase ist nun vorüber und bei Bedarf kann die normale Beleuchtung wieder eingeschaltet werden.
- Zur Phasenhologrammherstellung den Film etwa 5 Minuten in das Bleichmittel eintauchen und gelegentlich bewegen, aber mindestens so lange, bis er keine Schwärzung mehr aufweist, nicht fixieren.
- Zur Amplitudenhologrammherstellung den Film nach Herstellervorschrift fixieren.
- 5 – 10 Minuten schlußwässern in fließendem Wasser.
- kurz in Wasser mit einem Tropfen Geschirrspülmittel eintauchen, um beim Trocknungsprozeß Fleckenbildung zu vermeiden.
- Hologramm zum Trocknen senkrecht angelehnt auf einer saugfähigen Unterlage aufstellen.
- Fotozange gründlich mit Wasser reinigen.

Auswertung

Nach dem Trocknen kann das fertige Hologramm rekonstruiert werden. Dazu muß es mit derselben Orientierung wie während der Aufnahme in den Filmhalter eingespannt werden. Dieser wird anschließend wieder in den Aufbau eingefügt und das Objekt aus dem Aufbau entfernt. Wird nun der Laser eingeschaltet, so kann man durch das Hologramm das dreidimensionale Bild des Objektes betrachten.

Erscheint das rekonstruierte Hologramm nicht lichtstark genug, so kann durch entsprechende Veränderung des Teilerverhältnisses des Strahlteilers oder sogar seine vollständige Entnahme aus dem Strahlengang noch einiges an Helligkeit gewonnen werden. Das ist besonders bei den lichtschwächeren Amplitudenhologrammen zu empfehlen. Dabei muß der eventuell auftretende Parallelversatz des Laserstrahls nachjustiert werden.

Zusatzinformation

Phasenhologramme sind lichtempfindlicher als die fixierten Amplitudenhologramme. Sie können leichter ausbleichen. Ihre Lichtstabilität kann durch ein Bad in einer Lösung, bestehend aus 2,5 g Kaliumjodid (KI) und 1 l Wasser, verbessert werden. Bei diesem Prozeß erhalten sie einen leichten gelben Stich.