



A13 Holographie am 25. Juni 2007

1 Ziele des Versuchs

Der Versuch zeigt die Möglichkeiten der Holographie 3-dimensionale Informationen auf Film zu speichern. Hierbei wird zudem die Empfindlichkeit der Methode durch Störeinflüsse erforscht, wobei die Aufnahmen in völliger Dunkelheit und Ruhe stattfinden müssen, da die Mess- bzw. Aufnahmeapparatur stark auf diese Einflüsse reagiert. Auch werden die Techniken der Holographie untersucht, wobei wir speziell die Technik der Weißlichtholographie (Reflexionsholographie) ausnutzen.

2 Physikalische Grundlagen des Versuchs

2.1 Prinzip der Holographie

Bei der Photographie werden nur Amplituden und deren Lagen auf Film festgehalten, dies führt zu einem zwei-dimensionalen Abbild. Möchte man ein drei-dimensionales Abbild erzeugen, muss man mehr Information speichern, dies ist über die Phase möglich und wird in der Holographie durch die Verwendung von zwei Wellen erreicht. Der Objektstrahl trifft auf das Objekt und wird von diesem reflektiert, während der zweite Strahl, der Referenzstrahl, direkt auf die Fotoplatte trifft und die Phaseninformation liefert. Die Strahlen müssen kohärent sein, daher wird Laserlicht verwendet, welches eine sehr große Kohärenzlänge besitzt.

2.1.1 Beugung

Für die Beugung gilt die Bragg-Bedingung:

$$2d \sin \alpha = n\lambda$$

mit der Wellenlänge λ und der Gitterkonstanten d .

2.1.2 Interferenz

Interferenz ist die Überlagerung von Wellen, wobei man konstruktive und destruktive Interferenz unterscheidet. Bei der destruktiven Interferenz löschen sich die Wellen gegenseitig aus, während die konstruktive Interferenz zu einer Erhöhung der Amplitude der resultierenden Welle führt.

2.1.3 Kohärenz

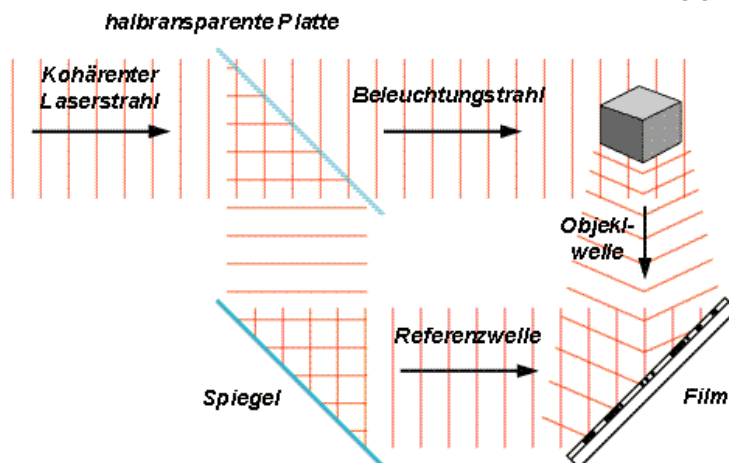
Zwei Wellen sind kohärent, wenn sie eine feste Phasenbeziehung zueinander besitzen. Kohärenz kann z.B. dadurch erreicht werden das die interferierenden Wellen aus der gleichen Quelle stammen.

2.2 Transmissionsholographie

Bei der Transmissionsholographie treffen der Objekt- und der Referenzstrahl von der gleichen Seite auf die Fotoplatte. Die Struktur des Objektes ergibt sich dann als Interferenzmuster, wobei nach dem Huygen'schen Prinzip die Lichtstrahlen, die das Objekt treffen jeweils wieder Ausgangspunkt einer Elementarwelle sind, diese interferieren dann mit den Referenzwellen und erzeugen das Hologramm als Interferenzmuster.

2.2.1 Erzeugung eines Hologramms

Die Erzeugung des Hologramms ist auf folgender Skizze [1] zu sehen:



Treffen die Referenzwelle R und die Objektwelle S auf die Photoplatte, so überlagert man für die theoretische Beschreibung deren Amplituden. Es ergibt sich die elektrische Feldstärke für den Punkt (x, y) auf dem Hologramm (Photoplatte):

$$E(x, y, t) = S(x, y, t) + R(x, y, t)$$

unter Verwendung von monofrequenten Licht (He-Ne-Laser mit $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ (zwei infrarot Linien werden vernachlässigt)) als Referenzwelle ($R(x, y, t) = R(x, y) e^{-i\omega t}$) und ein sich nicht veränderndes Objekt ($S(x, y, t) = S(x, y) e^{-i\omega t}$), so folgt für die Intensität:

$$\begin{aligned}
I(x, y) &= |R(x, y) + S(x, y)|^2 \\
&= (R + S)(R + S)^* \\
&= RR^* + SS^* + R^*S + RS^*
\end{aligned}$$

Auf Grund der eintreffenden Energie/Fläche ändert sich nach dem Entwicklungsprozess der Brechungsindex und es kommt zu einer Schwärzung.

Die Belichtung B [Energie/Fläche], welche von der Belichtungszeit t_B abhängt, ist gegeben durch

$$B(x, y) = \int_0^{t_B} I(x, y, t) dt$$

Wir müssen also versuchen $I = const.$ zu halten, indem die Weglänge möglichst nicht variiert wird, dann erhalten wir:

$$B(x, y) = I(x, y) \cdot t_B$$

Die Belichtung führt zu einer komplexen Amplitudentransmission, dessen Transmissionsgrad τ definiert ist durch:

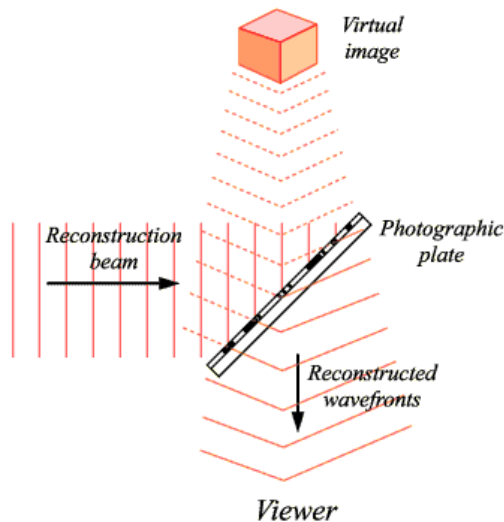
$$\tau = \frac{E_a}{E_e} = T e^{i\varphi} = |\tau| e^{i\varphi}$$

mit E_a der auslaufenden Welle und E_e der einfallenden Lichtwelle.

Ein Amplitudenhologramm erhält man, wenn man das Interferenzmuster als Intensitätsverteilung aufnimmt. Ein Phasenhologramm ist ein gebleichtes Amplitudenhologramm.

2.2.2 Bildrekonstruktion

Die Bildrekonstruktion ist auf folgender Skizze [1] zu sehen:



Die Wiedergabe des Bildes erfolgt durch Beleuchtung des Hologramms mit dem Referenzstrahl. Hierbei wird ausgenutzt, dass das Hologramm jetzt die Referenzwelle mit dem Transmissionsgrad τ moduliert.

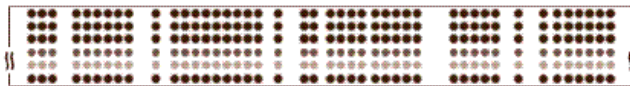
2.3 Reflexionsholographie

Die Reflexionsholographie ermöglicht die Herstellung von Hologrammen, die mit Weißlicht "ausgelesen" werden können. Hierbei wird der Referenz- und der Objektstrahl von verschiedenen Seiten auf die Photoplatte gerichtet. Diese erzeugen eine Kristallgitterstruktur im Photomaterial. Der Vergleich zwischen Transmissions- und Reflexionsdiagrammen:

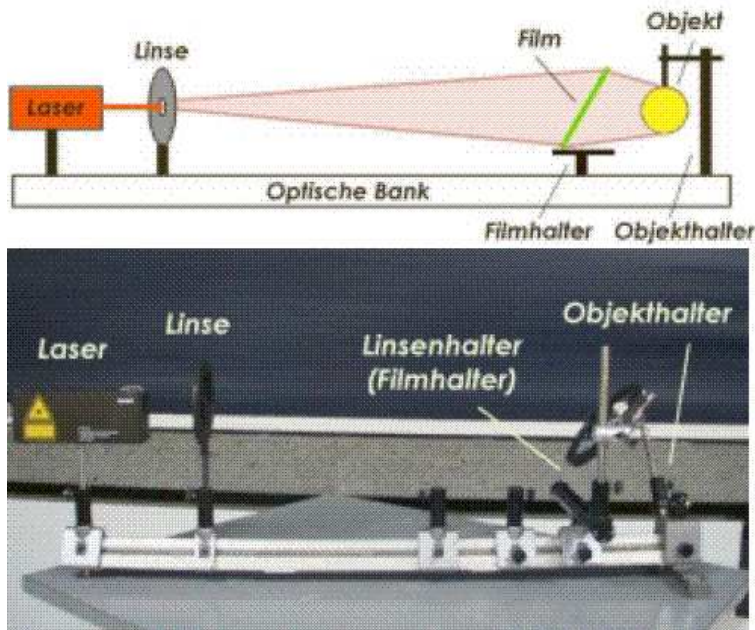
Transmissionshologramm:



Reflexionshologramm:



Hier eine Skizze für die Methode zur Reflexionsholographie nach Denisyuk:

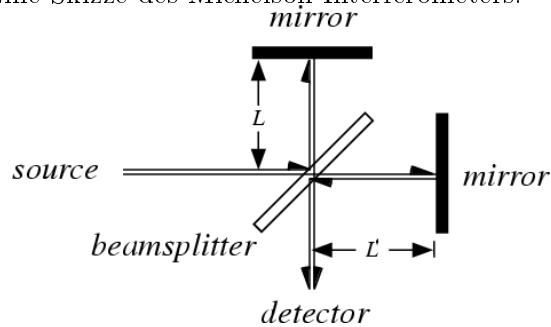


2.4 Fourier-Transformation

Die Fourier-Transformation kann zur Beschreibung des Vorganges der Bilderzeugung und -rekonstruktion benutzt werden, wobei diese fouriertransformiert zueinander sind.

2.5 Michelson-Interferometer

Eine Skizze des Michelson-Interferometers:



Licht kommt aus der Quelle (in diesem Fall ein Laser) und wird am Strahlteiler in zwei Strahlen geteilt, welche jeweils zu einem Spiegel laufen, dort reflektiert werden und sich dann am Strahlteiler wiedervereinigen, um dann gemeinsam am Detektor anzukommen. Sind die beiden Strahlengänge nicht exakt gleich lang, d.h. $L \neq L'$ kommt es zu Interferenzerscheinungen, die aus dem Phasenunterschied der Wellen resultieren. Zudem ist es möglich die Kohärenzlänge der Strahlung zu überprüfen, indem man den Unterschied der Länge der Strahlengänge so lange vergrößert, bis die Interferenzerscheinungen verschwinden. Die Stabilität kann überprüft werden, da sich das Interferenzmuster in Abhängigkeit der Weglänge stark ändert, dies wird durch eine Photodiode auch quantitativ messbar.

3 Versuchsaufbau und Messprinzip

3.1 Quellen

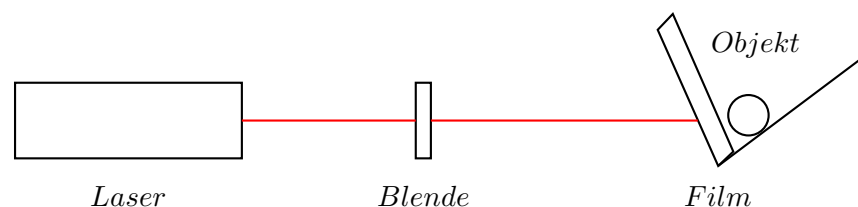
Ein Helium-Neon-Laser mit $P = 5 \text{ Watt}$ mit der Wellenlänge $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ wird als Quelle der kohärenten Strahlung verwendet.

3.2 Detektor

Das Filmmaterial ist speziell für die Aufnahme von Hologrammen präpariert und ermöglicht die Aufnahme von Weißlichthologrammen.

3.3 Versuchsaufbau

Wir besitzen zwei Aufbauten. Das Michelson-Interferometer, welches unter 2.5 zu finden ist und den Aufbau zur Aufnahme der Hologramme (hier als grobe Skizze):



3.4 Versuchsdurchführung

Der Aufbau des Michelson-Interferometers wurde benutzt um sich mit den optischen Komponenten vertraut zu machen. Dieser gelang problemlos und ermöglichte ein Interferenzmuster abzubilden, welches genutzt werden konnte um die Empfindlichkeit der Apparatur zu überprüfen. Anschließend wurde der zweite Versuchsaufbau zur Aufnahme der Hologramme realisiert. Es wurden dann die Hologramme bei Dunkelheit (wobei leider eine Rückreflektion in den Raum durch den Laser, der an der Lochblende reflektiert wurde, leider nicht zu vermeiden war) aufgenommen. Im Fotolabor konnten anschließend die Hologramme entwickelt und nach einer Stunde Reinigung im Wasserbad und anschließender einstündiger Trocknung betrachtet werden.

4 Auswertung

4.1 Rekonstruktion vorhandener Hologramme

Die Rekonstruktion der vorhandenen Hologramme ist auf Grund der Aufnahmetechnik ohne Verwendung eines Lasers möglich. Wir verwenden eine Halogenlampe, wobei die virtuellen Bilder dann hinter dem Film dreidimensional erscheinen. Das reelle Bild müsste vor uns liegen, gegenüber vom virtuellen Bild.

4.2 Aufbau des Michelson-Interferometers und Einfluss der Stabilität auf die Aufnahme

Der Aufbau wird wie in der Skizze aus 2.5 beschrieben durchgeführt. Die mechanische Stabilität wird mit Hilfe der Interferenzringe überprüft, wobei diese auf eine Photodiode gerichtet sind, die an einem XY-Schreiber angeschlossen ist. Dieser zeichnet dann die Verschiebung der Interferenzringe auf, die in Abhängigkeit von äusseren Störungen des Systems eintreten. Es sind eine kurze (ca. 200 Sekunden) und drei lange (ca. 8 Minuten) Messungen aufgenommen worden und sind in Anhang [2] zu finden. Man erkennt sofort, dass kleine Störungen bereits einen großen Einfluss auf das Interferenzmuster haben, d.h. dass solche Störungen auch die Aufnahme des Hologramms beeinträchtigen, daher muss absolute Ruhe bei der Aufnahme herrschen, da selbst sprechen in der Nähe der Apparatur einen Ausschlag liefert. Die Langzeitmessung zeigt einen Anstieg, dieser resultiert aus der thermischen Ausdehnung der Apparaturmaterialien, die somit auf Grund der Verschiebung des Strahles das Interferenzmuster beeinflussen. Eine Aufnahme ohne einen dicken Puffer unter der Apparatur, der bei uns durch verschiedene Dämmungen und eine Marmorplatte gegeben ist, wäre auf Grund der Störungen von Personen die die Treppe benutzen, oder den Experimentatoren, die auf Grund von kleinen Bewegungen Schwingungen verursachen, nicht möglich. Es sind zusätzliche Anforderungen an die Entfernung des Objektes vom Holofilm zu stellen, da der Referenz- und der Objektstrahl eine feste Phasenbeziehung besitzen müssen. D.h. die Entfernung darf maximal die Hälfte der Kohärenzlänge sein, wobei hierbei vermutlich auf Grund der geringen Streuintensität kein erkennbares Hologramm erzeugt werden wird. Die Kohärenzlänge

konnte mit Hilfe des Michelson-Interferometers durch Verschieben eines Strahlenganges zu $\lambda_{koh} = (32 \pm 2) \text{ cm}$ abgeschätzt werden, wobei die Interferenz für höhere Strahlengangsunterschiede verschwindet.

4.3 Aufnahme der Hologramme

Die Objekte zur Aufnahme sollten eine möglichst eckige Oberfläche besitzen, da hier mehr Reflexion in verschiedene Richtungen auftritt. Die Farbe der Objekte ist so zu wählen, dass das Objekt nicht die Wellenlänge des Laserstrahls absorbiert, das bedeutet, weiße und rote Objekte sind geeignet. Die verwendeten Objekte waren ein Weihnachtsmann auf einer Wäscheklammer und drei mit Tippex geweihte Plastiksoldaten. Die Aufnahmen wurden in Dunkelheit durchgeführt, wobei darauf geachtet wurde, dass der Aufbau sich in völliger Ruhe befand, wobei die thermischen Einflüsse vernachlässigbar sind, da sie nur über einen längeren Zeitraum überhaupt in der Messung bemerkbar waren und die Belichtungszeit zwischen 2 und 4 Sekunden lag. Die Hologramme wurden jeweils von den zwei oben angegebenen Objekten mit 2 und 4 Sekunden Belichtungszeit gemacht. Beim Aufbau ist zu erwähnen, dass die Objekte auf einem gekippten schwarzen Untergrund standen, wobei die Kippung dafür gesorgt hat, dass das Objekt unter einem Winkel aufgenommen werden konnte, hierdurch erhalten wir ein Hologramm, das das Objekt von schräg oben zeigt. Der Abstand bei der Aufnahme zwischen Film und Objekt muss auch beachtet werden, da bei zu großer Entfernung die Intensität der Strahlung zu gering ist, um den Film im genügenden Maße zu beleuchten, so dass ein Hologramm erkennbar wird. Der Abstand ist daher möglichst klein zu wählen.

4.4 Entwicklung der Hologramme

Die Entwicklung kann in einem Standardfotolabor durchgeführt werden, wobei die Hologrammfilm im Dunkeln zwei Minuten in der Entwicklungslösung verweilen und danach, nachdem diese abgespült wurden, in ein Chrom-Schwefelsäurebad gegeben werden. Nach einer Stunde Wasserbad können diese dann eine Stunde getrocknet werden und das Ergebnis begutachtet werden. Leider ist die Aufnahme des Weihnachtsmannes nicht gelungen, man erkennt zwar einen ovalförmigen Aufnahmebereich, jedoch ist leider kein Hologramm zu erkennen, dies resultiert aus dem zu großen Abstand der Weihnachtsmannfigur vom Hologramm, da die Wäscheklammer, auf der dieser befestigt war, ein näheres Anordnen nicht ermöglichte. Die Plastiksoldaten hingegen konnten sowohl mit 2 als auch mit 4 Sekunden Belichtungszeit aufgenommen werden, wobei die 4 sekündige Aufnahme etwas schlechter ausgefallen ist als die 2 sekündige, dies mag an Störungen bei den Aufnahmen gelegen haben.

5 Diskussion und Zusammenfassung

Der Versuch zeigt, dass Aufnahme von dreidimensionalen Informationen mit Hilfe der Holographie möglich ist. Inwieweit diese Technologie irgendwann weiterentwickelt werden kann, um z.B. drei dimensionale instantane Bildübertragung zu ermöglichen (z.B.

3d-Fernsehen, 3d-Medizin-Anwendungen, etc.), bleibt fraglich. Zur Speicherung von Information scheint diese Methode jedoch geeignet. Die drei dimensional Bilder können durch Änderung des Blickwinkels auch “umguckt” werden, bzw. man kann an ihnen vorbeischaun. Die Aufnahme ist auch für unerfahrene Experimentatoren möglich, wobei die Ergebnisse als befriedigend anzusehen sind, wobei die Hälfte der Hologramme nicht das gewünschte Bild erzeugt haben, während die andere Hälfte ein gutes Bild liefert.

6 Quellen

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/holographie>, Stand 24. Juni 2007
- [2] <http://www.holografie.com/Fouquier.pdf>, Stand 24. Juni 2007

7 Anhang

- [1] Messprotokoll
- [2] Messungen zur Empfindlichkeit des Aufbaus