

HG - Holographie

Praktikum Wintersemester 2005/06

Jörg Bayer, Philipp Buchegger, Johannes Märkle
Assistentin Karin Marianowski

Tübingen, den 3. Februar 2006

Auswertung

Raumfilter

Der Raumfilter in der abgebildeten Apparatur besteht aus zwei Linsen, zwischen denen sich eine Lochblende befindet. Die erste Linse sorgt aufgrund der chromatischen Aberration dafür, dass nur Licht einer bestimmten Wellenlänge scharf auf die Lochblende abgebildet wird und von dort mit hoher Intensität auf die zweite Linse fällt. Von dort verlassen die Strahlen den Raumfilter wieder als paralleles Lichtbündel.

Es gelangen also folglich nur Lichtstrahlen mit einer ganz bestimmten Wellenlänge optimal (mit maximal möglicher Intensität) durch den Filter, was dazu führt dass Licht mit einer anderen Wellenlänge „herausgefiltert“ wird. Somit sichert der Raumfilter die Kohärenz unserer Lichtwellen.

Unterschiedliche Intensitäten der Gegenstands- und Referenzwelle

Im idealen Fall besitzen Gegenstand- und Referenzwelle die gleiche Intensität, denn nur dann erhält man am Schirm vollständig konstruktive sowie destruktive Interferenz. Bei leichten Abweichungen der Intensitäten lässt sich das Bild zwar noch erkennen, jedoch wird man es als etwas über- bzw. unterbelichtet und weniger scharf wahrnehmen. In unserem Fall spielen die Intensitäten keine Rolle, da wir lediglich das Phänomen der Interferenz zwischen Gegenstands- und Referenzwelle betrachten und kein genaues Abbild eines Gegenstandes erstellen wollen.

Verschieben der Spiegel

Um ein verwertbares Interferenzmuster auf dem Schirm zu bekommen, müssen die Laserpunkte aufeinander liegen. Ein verschieben der Spiegel hat zur Folge, dass sich die Punkte auf dem Schirm verschieben. Das Interferenzmuster bleibt erhalten, solange sich die Punkte weiterhin am Mikroskop überlagern. Der Fall das ein Maximum der einen Welle genau auf ein Minimum der anderen Welle fällt (wodurch die Interferenz zerstört werden würde), ist aufgrund der Größenverhältnisse nicht wahrscheinlich und lässt sich ausschließen.

Erschütterung des Versuchsaufbaus

Durch das aufstützen auf der Grundplatte wird der gesamte Versuchsaufbau leicht erschüttert. Diese Schwingungen reichen trotz der schwere der Grundplatte aus, um das Interferenzmuster zu zerstören. Sie sorgen dafür, dass sich die Gangunterschiede der beiden Wellen aufgrund von Distanzänderungen des Schirmes zu den Spiegeln o.ä. dauernd ändern, was dazu führt, dass die Kohärenz der beiden Lichtbündel zerstört wird.

Rekonstruktion und Beobachtung von Hologrammen

Um ein Hologramm zu erstellen wird der darzustellende Körper mit kohärentem Licht vollständig ausgeleuchtet, so dass es am Körper gestreut wird und auf eine Photoplatte fällt. Genauer gesagt dient jeder Punkt des Körpers nach Huygens als Ausgangspunkt für eine Kugelwelle, die letztendlich auf die Photoplatte trifft. Diese auf den Schirm fallenden Kugelwellen werden als Gegenstandswellen bezeichnet. Zudem wird der Schirm mit einer ebenen zu den Gegenstandswellen kohärenten Lichtwelle beleuchtet, der Referenzwelle. Dadurch wird prinzipiell die Phaseninformation der Gegenstandswellen auf der Photoplatte festgehalten, denn je nach Phasendifferenz der Gegenstand- und der Referenzwelle wird man auf dem Schirm destruktive bzw. konstruktive Interferenz beobachten können, was zur Folge hat dass die Photoplatte an Stellen konstruktiver Interferenz geschwärzt wird und an Stellen destruktiver Interferenz durchsichtig bleibt.

Bestrahlt man nun die invers entwickelte Photoplatte erneut mit der Referenzwelle, so wirkt das sich auf der Photoplatte befindende Interferenzbild als Gitter für die Referenzwelle. Beobachtet man nun die Photoplatte von der anderen Seite, so wird man den Eindruck gewinnen ein 3-dimensionales Bild des Körpers vor sich (und zwar am ursprünglichen Punkt des Gegenstandes) zu haben.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Hologramme zwar im Gegensatz zu Photos (bei denen die „Phaseninformation“ der vom Körper ausgehenden Kugelwellen verloren geht) die Möglichkeit bieten ein 3 dimensionales Abbild eines Körpers festzuhalten, jedoch wird, sowohl um es zu erzeugen als auch um es zu rekonstruieren, kohärentes Licht einer bestimmten Wellenlänge benötigt.

Streifenbreite durch CCD-Bild

Die in Bild 2 bzw. 3 beobachteten Interferenzstreifen haben eine Breite von $1.28\mu\text{m}$ (39 Streifen auf 6cm, bei einem Umrechnungsfaktor von $1\text{cm} = 8.3\mu\text{m}$, das entspricht $783 \frac{\text{Streifen}}{\text{mm}}$). Die Interferenzstreifen aus Bild 1 haben eine Breite von $1.99\mu\text{m}$, das entspricht $502 \frac{\text{Streifen}}{\text{mm}}$ (ausgehend von 25 Streifen auf 6cm).

Streifenbreite durch Dreiecksvermessung

Es wurde das sich durch den Schirm und die Spiegel aufspannende Dreieck vermessen. Mithilfe des Kosinussatzes kann man den für uns relevanten Winkel γ bestimmen durch:

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ab}$$

Mit dem jetzt bekannten Winkel lässt sich die Streifenbreite bestimmen:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \gamma}$$

$$d = \frac{\lambda}{\sin \arccos \gamma}$$

$$d = \frac{\lambda}{\sin \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 \cdot ab}}$$

$$d_1 = 1.356\mu\text{m}$$

$$d_2 = 1.375\mu\text{m}$$

Dieses Ergebnis entspricht fast den oberen $1.28\mu\text{m}$. Der Fehler hier liegt wohl an dem durch den Versuchsaufbau bedingten recht großen Messfehler. Eine Streifenbreite von $1.356\mu\text{m}$ entspricht $737 \frac{\text{Striche}}{\text{mm}}$. Eine Streifenbreite von $1.375\mu\text{m}$ entspricht $727 \frac{\text{Striche}}{\text{mm}}$. Vergleicht man diese Auflösung mit den in der Gebrauchsphotografie verwendeten Filmen, die eine Auflösung von 30-100 Linien pro Millimeter haben, sieht man, dass es mit einem normalen Film keinesfalls möglich wäre, Hologramme zu erstellen, da deren Auflösung viel zu gering ist.

Auflösungsvermögen (Beispiel)

In einem Abstand $a = 18\text{cm}$ senkrecht über dem Mittelpunkt einer kreisförmigen Photoplatte (angenommener Radius $r = 5\text{cm}$) befindet sich ein punktförmiger Gegenstand. Wie groß muss das Auflösungsvermögen der Platte sein, um bei senkrecht einfallender ebener Referenzwelle, auf der ganzen Fläche das Hologramm aufzeichnen zu können (es

wird ein Laser mit $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ angenommen)? Es muss also das Maximum 1. Ordnung noch von der Platte erfasst werden. Es gilt somit für den Beugungswinkel

$$\tan \alpha = \frac{r}{a}$$

Zusammen mit der Formel für den Streifenabstand ergibt sich

$$d = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctan\frac{r}{a}\right)} = \frac{632.8 \text{ nm}}{\sin\left(\arctan\frac{5 \text{ cm}}{18 \text{ cm}}\right)} = 2.36 \mu\text{m}$$

Somit ergibt sich ein Auflösungsvermögen von

$$A = \frac{1}{d} = \frac{1}{2.36 \mu\text{m}} = 0.423 \text{ Streifen}/\mu\text{m} = 423 \text{ Streifen}/\text{mm}$$

He-Ne Laser

Aufbau: Im wesentlichen besteht ein HeNe-Laser aus einer Glasröhre, in der sich das Gasgemisch (Helium und Neon) befindet. Im inneren befinden sich zwei Elektroden an denen die Betriebsspannung anliegt (kann bis mehrere kV sein).

An den beiden Enden der Röhre befinden sich zwei Spiegel die parallel zueinander stehen, wobei der eine Spiegel leicht durchlässig ist, so dass ein Teil der emittierten Strahlung entweichen kann. Dabei müssen die beiden Spiegel einen Abstand von $k \cdot \frac{\lambda}{2}$ haben, um einen Resonanzkörper zu bilden.

Funktion: Durch das Elektrische Feld zwischen den beiden Spulen werden die He-Atome angeregt und geben ihre Energie durch Stöße an die Ne-Atome ab. Fällt nun ein Ne-Atom wieder in einen tieferen Zustand zurück, emittiert es ein Photon. Dieses Zurückfallen geschieht entweder spontan nach einer bestimmten Zeit oder induziert durch ein anderes Photon.

Das Besondere an der induzierten Emission ist, dass das emittierte Photon exakt die gleiche Phase wie das auslösende Photon hat. Durch den durch die beiden Spiegel gebildeten Resonanzraum bildet sich mit der Zeit eine stehende Welle aus, wobei Wellenzüge die nicht auf der Resonanzebene liegen von den seitlichen Wänden durchgelassen werden.

Auf diese Weise bildet sich ein kohärenter Lichtstrahl, der durch den leicht Durchlässigen Spiegel entweichen kann - der eigentliche Laser-Strahl.