

Holographie (HOL)

Manuel Staebel – 2236632 / Michael Wack 2234088

1 Beantwortung der Fragen

1.1 Was ist der prinzipielle Unterschied zwischen Fotografie und Holographie?

Bei einer holographischen Aufnahme wird die vollständige Information des Lichts aufgenommen. Es wird also nicht nur die Intensität, wie bei der normalen Fotografie registriert, sondern auch die Phase des Lichts. Dadurch ist es möglich das ursprüngliche Bild originalgetreu inklusive dem Tiefeneindruck zu rekonstruieren.

1.2 Was ist der Unterschied zwischen Lichtstrahl und Lichtwelle?

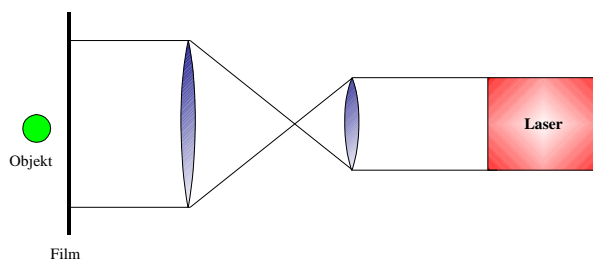
Lichtstrahlen sind Hilfskonstruktionen der geometrischen Optik um die Betrachtung von Problemstellungen zu vereinfachen. Sie bestehen aus sehr vielen einzelnen Photonen. Die Lichtwelle ist die korrekte und vollständige physikalische Beschreibung eines Lichtfeldes. Sie beinhaltet auch, die für die Holographie wichtige Phasenbeschreibung. Ihre Amplitude entspricht der Lichtintensität.

1.3 Was ist der Unterschied zwischen der Dicke d eines Materials und der optischen Dicke dieses Materials dessen optischer Brechungsindex n ist?

Der optische Weg ist als Produkt des tatsächlichen Weges und des Brechungsindex definiert. Er kann also je nach Brechungsindex länger oder kürzer als der reale Weg sein. Dadurch wird es möglich Phasen hologramme zu erstellen, da sich durch die unterschiedlichen Brechungsindizes im Filmmaterial verschiedene optische Weglängen bei gleicher Filmdicke und somit Phasenverschiebungen und letztendlich Interferenzerscheinungen ergeben.

1.4 Wie müsste der Versuchsaufbau in Abb.11 modifiziert werden um ein Denisyuk-Hologramm durch Interferenz zweier ebener Wellen herzustellen? Die Dicke der lichtempfindlichen Emulsion des verwendeten Filmmaterials beträgt etwa $6\ \mu\text{m}$. Nach Abschnitt 3.1 besteht dieses spezielle Hologramm aus parallelen Schichten. Wieviele Schichten bilden sich in der Emulsionsschicht aus, wenn das Hologramm mit einem He-Ne-Laser hergestellt wurde?

Man müsste eine weitere konvexe Linse in den Strahlengang vor den Film stellen, so dass ihr Brennpunkt mit dem der Aufweitungslinse zusammen trifft. Dadurch trifft das Licht parallel und somit als ebene Welle auf den Film.



Laut Abschnitt 3.1 bilden sich Schwärzungsschichten mit einem Abstand von $\lambda/2$. Da die Wellenlänge des He-Ne-Lasers $632,8\ \text{nm}$ beträgt ergeben sich 18,96 Schichten.

1.5 Was passiert beim Zerschneiden eines Hologramms (was sieht man auf den Teilhologrammen)?

Jedes Teilstück beinhaltet immer noch die komplette Geometrie des aufgenommenen Objekts. Allerdings wird sich sowohl der Blickwinkel als auch die Intensität verschlechtern, da nur noch eine kleinere Fläche und damit weniger Licht zur Verfügung steht.

1.6 Was ist zu erwarten, wenn man das Hologramm mit einer anderen Wellenlänge als bei der Aufnahme rekonstruiert?

Wird das Hologramm mit einer anderen Wellenlänge als bei der Aufnahme rekonstruiert, so vergrößert oder verkleinert sich das Bild je nach dem, wie die Wellenlänge bei der Betrachtung zu der, bei der Belichtung verwendeten, verschoben ist.

1.7 Gegenstands- und Referenzwelle, die sich entlang der Wellenvektoren \vec{k}_g bzw. \vec{k}_r ausbreiten, lauten in komplexer Schreibweise $E_G = E_g e^{i(\omega t - \vec{k}_g \cdot \vec{r})}$ bzw. $E_R = E_r e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})}$ (15) wobei $|\vec{k}_g| = |\vec{k}_r| = \lambda / (2\pi)$. Geben Sie dafür die der Gleichung (7) entsprechende Intensitätsverteilung im Hologramm an.

Sie ist $I = |E_G + E_R|^2 = (E_G + E_R)(E_G^* + E_R^*)$ (16). E^* ist die konjugiert komplexe Größe von E . Berechnen Sie das Wellenfeld das durch Beugung der Welle $E_B = E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})}$ (17) am Hologramm entsteht. Sie erhalten einen Ausdruck analog zu Gl. (14), der aus drei Termen besteht, die verschiedene Wellen darstellen. Diskutieren Sie diese drei Wellen (Amplitude, Phase). In welche Richtungen laufen Sie, wenn \vec{k}_g um $\pi/4$, \vec{k}_r um $-\pi/4$ gegen die x-Achse geneigt sind? Skizze anfertigen.

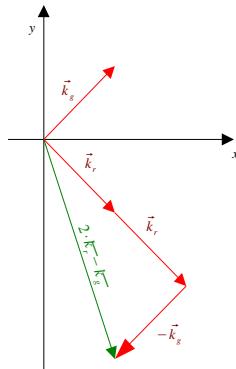
Berechnung der Intensitätsverteilung im Hologramm:

$$I = |E_G + E_R|^2 = (E_G + E_R)(E_G^* + E_R^*) = E_g^2 + E_r^2 + E_g E_r e^{i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} + E_g E_r e^{-i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} = E_g^2 + E_r^2 + 2 \cdot E_g E_r \cos(\vec{r}(\vec{k}_r - \vec{k}_g))$$

Berechnung des resultierenden Wellenfeldes:

$$E_D \propto I \cdot E_B = E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} \cdot (E_g^2 + E_r^2 + E_g E_r e^{i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} + E_g E_r e^{-i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})}) = E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} E_g^2 + E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} E_r^2 + E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} E_g E_r e^{i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} + E_b e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} E_g E_r e^{-i(\vec{k}_r \cdot \vec{r} - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} = (E_b E_g^2 + E_b E_r^2) \cdot e^{i(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})} + E_b E_g E_r e^{i(\omega t - \vec{k}_g \cdot \vec{r})} + E_b E_g E_r e^{i(\omega t - (2\vec{k}_r - \vec{k}_g) \cdot \vec{r})}$$

Der erste Summand stimmt bis auf die Amplitude mit der Rekonstruktionswelle überein. Der zweite Summand ist proportional zur Gegenstandswelle und erzeugt das virtuelle Bild. Dieses ist abgesehen von der veränderten Intensität vom Betrachter nicht mehr vom Original zu unterscheiden. Der dritte Term beschreibt das reelle Bild. Dieses befindet sich auf der vom Objekt abgewandten Seite des Films.



Die ersten beiden Summanden breiten sich in Richtung der ursprünglichen Referenz- bzw. Gegenstandswelle aus. Der dritte Summand entfernt sich unter einem Winkel von $\pi/4 + \arctan(1/2)$ von der x-Achse (vgl. nebenstehende Skizze).