

Experimentelle Übungen II

Versuchsprotokoll

Optische Fouriertransformation

Nils Kulawiak, Anthony Pietz, Oliver Brune

Gruppe D-01

`n_kula01@uni-muenster.de`

`a_piet09@uni-muenster.de`

`o_brun02@uni-muenster.de`

15. April 2019

betreut von Florian Schepers

Inhaltsverzeichnis

1. LC-Modulator als DOE	1
1.1. Berechnung der Pixelgröße	1
1.1.1. Theorie	1
1.1.2. Aufbau	1
1.1.3. Auswertung	1
1.1.4. Unsicherheiten	2
1.1.5. Diskussion	2
1.2. Intensitätsverteilung in den Beugungsordnungen des unadressierten Displays	2
1.2.1. Theorie	2
1.2.2. Aufbau	3
1.2.3. Auswertung	3
2. Unsicherheiten	4
3. Diskussion	5
3.1. Aufnahme von verschiedenen Beugungsbildern mittels der Kamera	5
3.1.1. Theorie	5
3.1.2. Aufbau	5
3.1.3. Auswertung	6
3.1.4. Unsicherheiten	6
3.1.5. Diskussion	6
4. Computergenerierte Hologramme (CGH)	6
4.1. Brennweite der diffraktiven Linse	7
4.2. Berechnung beliebiger diffraktiver optischer Elemente als CGH	7
4.3. Darstellung zweier DOEs auf einem Bildschirm	9
A. Anhang	11

1. LC-Modulator als DOE

1.1. Berechnung der Pixelgröße

1.1.1. Theorie

Zur Bestimmung der Breite eines Pixels innerhalb des LC-Modulators wird mit der Formel eines Gitters gerechnet, da ein LC-Modulator dasselbe Beugungsbild aufweist.

$$g \sin \alpha = m\lambda \quad (1.1)$$

Dabei stellt g die Gitterkonstante, α den Winkel zwischen der nullten und m -ten Beugungsordnungen, m die entsprechende Beugungsordnung und λ die Wellenlänge des Lasers ($\lambda = 650nm$) dar. Die Bestimmung von α kann aus der Optik durch

$$\alpha \approx \frac{d}{2f} \quad (1.2)$$

berechnet werden. Dabei ist d der Abstand zweier gleicher höherer Ordnungen.

1.1.2. Aufbau

Der Aufbau zur Berechnung der Pixelgröße ist in Abb. 1 dargestellt. Zuerst wird der Laser auf einen LC-Modulator gerichtet, welcher in dem Abstand der Brennweite der Linse ($f = 16cm$) von der Linse entfernt steht. Zwischen der Linse und dem LC-Modulator ist ein Analysator. Hinter der Linse ist im Abstand ihrer Brennweite ein Schirm aufgestellt, um die Beugungsordnungen messen zu können.

1.1.3. Auswertung

Um (1.1) möglichst genau zu berechnen wurde bei der Berechnung von (1.2) der Abstand der siebten Ordnungen benutzt, um d zu messen. Dieser Abstand wurde mittels eines Lineals gemessen. Aus diesen Berechnungen kann die Gitterkonstante bestimmt werden $g = (29 \pm 3)\mu m$.

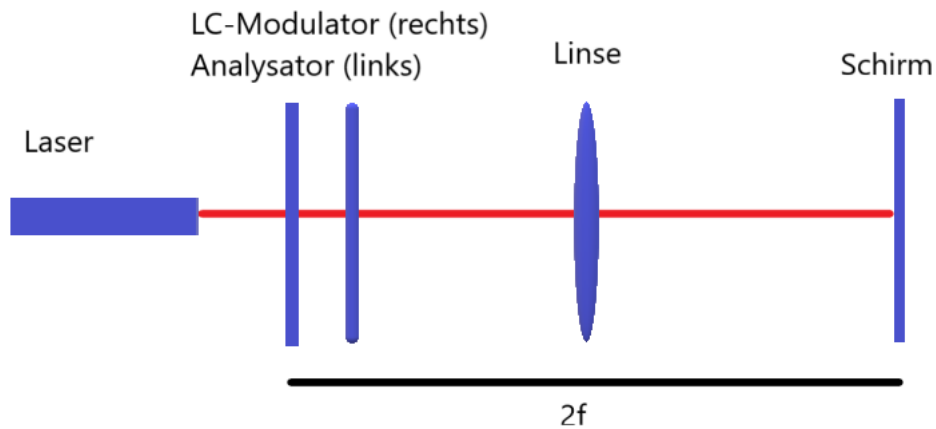


Abbildung 1: Aufbau zur Bestimmung der Pixelgröße

1.1.4. Unsicherheiten

Die Unsicherheit von d wurde mit einer Genauigkeit von $\pm 0,2\text{cm}$ angenommen. Daraus resultiert für die Unsicherheit der Gitterkonstanten mittels Fehlerfortpflanzung ein Wert von $g = (29 \pm 3)\mu\text{m}$.

1.1.5. Diskussion

Somit liegt das Ergebnis der Pixelgröße innerhalb der angegebenen Pixelgröße von $g = 32\mu\text{m}$. Die Diskussion mit dem Aufgabenteil 1 muss auch noch geschrieben werden.

1.2. Intensitätsverteilung in den Beugungsordnungen des unadressierten Displays

1.2.1. Theorie

Eine LCD-Zelle besitzt eine Untermodulation. Dies ist deshalb der Fall, da in einem einfachen Pixel es einen transparenten Anteil gibt, sowie einen Lichtundurchlässigen Anteil. Die Modulation wird durch das Gitter beschrieben, welches im vorherigen Aufgabenteil behandelt wurde. Die Untermodulation wird durch die Substruktur im Pixel erzeugt. An dieser Stelle wird der duty cycle definiert. Dieser beschreibt das Verhältnis zwischen transparentem und lichtundurchlässigem Teil. Dieser wird berechnet, indem sinc-Funktionen

an die Untermodulation angepasst werden. Die Breiten der sinc-Funktionen entsprechen dann dem durchlässigen Anteil in der jeweiligen Richtung. Der duty cycle ergibt sich dann durch

$$duty cycle = \frac{xy}{g^2 - xy} \quad (1.3)$$

Ebenfalls kann auf den Füllfaktor geschlossen werden für den transparenten Teil des Pixels. Dieser entspricht gerade dem Anteil des durchlässigen Pixels zur Gesamtpixelgröße.

$$FF = \frac{xy}{g^2} \quad (1.4)$$

1.2.2. Aufbau

Der Aufbau zur Berechnung des Füllfaktors der LCD-Zelle ist in Abb. 2 dargestellt. Zuerst wird der Laser, welcher eine zusätzlich integrierte Aufweitungsoptik besitzt auf das LCD-Display gerichtet. Danach wird ein Analysator in den Strahlengang geführt. Statt einem Schirm wird die Auswertung mit einem Intensitätsmessgerät durchgeführt.

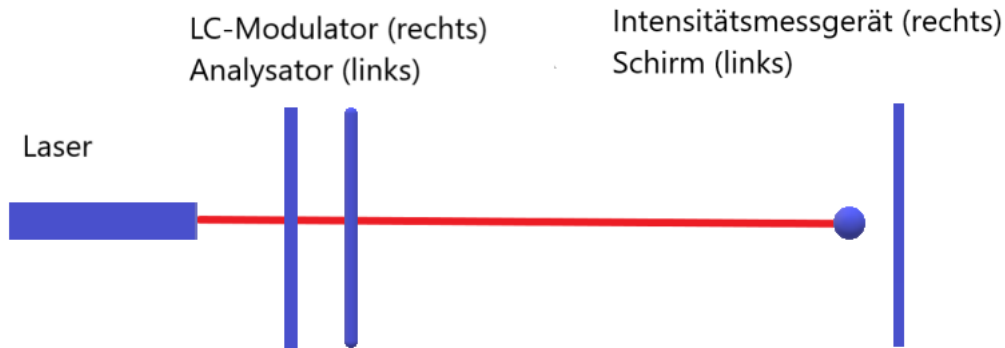


Abbildung 2: Aufbau zur Bestimmung des Füllfaktors der LCD-Zellen

1.2.3. Auswertung

Im weiteren wurden die ersten zehn Beugungsordnungen in horizontaler und vertikaler Ebene gemessen. Die Messwerte sind in Abb. 3 zu sehen. Aus den Messwerten kann auf

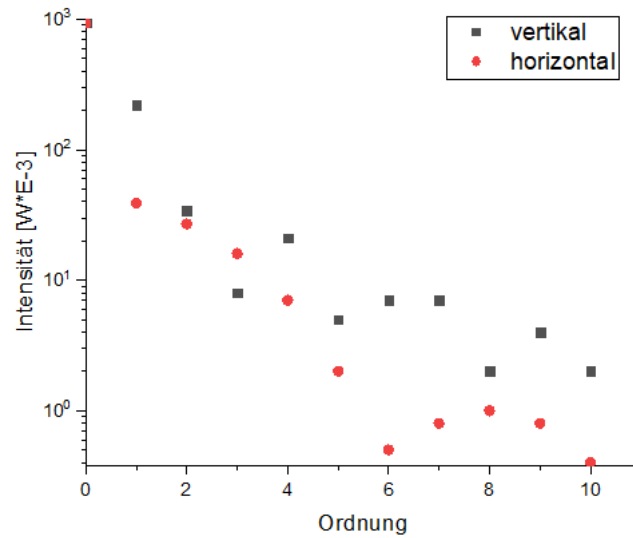


Abbildung 3: Intensitätsverteilung der horizontalen und vertikalen Beugungsordnungen

den duty cycle geschlossen werden, sowie auf den Füllfaktor des transparenten Teils der LCD-Zelle in Bezug auf das gesamte Pixel. Um den duty cycle zu berechnen wird (1.3) benutzt. Hierfür werden die Breiten der sinc-Funktionen nicht durch den Fit bestimmt, welcher aufgrund der wenigen Messdaten nicht funktioniert hat, sondern es wird visuell das Minimum der sinc-Funktionen gesucht und damit der Stauch- bzw. Streckfaktor innerhalb der sinc-Funktion berechnet. Über einen Vergleich des Stauchfaktors kann die Breite des Peaks entnommen werden. Daraus ergibt sich ein duty cycle und ein Füllfaktor von

$$\text{duty cycle} = (5 \pm 0,4)\% \quad (1.5)$$

$$\text{Füllfaktor} = (4,7 \pm 0,3)\% \quad (1.6)$$

2. Unsicherheiten

Die Unsicherheiten wurden durch die oben genannten Unsicherheitsannahmen mittels Fehlerfortpflanzung berechnet.

3. Diskussion

Der Füllfaktor, welcher durch die obige Auswertung berechnet wurde, ist nicht gleich mit der Angabe des Herstellers, welcher in [1] aufgelistet wurde. In den Angaben des Herstellers ist der geringste Füllfaktor bei einem Wert von 58%. Der oben ausgerechnete Wert unterscheidet sich in einer Zehnerpotenz von dem Soll Wert. Hingegen ist die Pixelbreite von $g = (29 \pm 3)\mu\text{m}$ den Angaben entsprechend. Hieraus resultiert auch die abweichende Zehnerpotenz, sodass der Fehler innerhalb des zweiten Teils der Auswertung liegen muss.

3.1. Aufnahme von verschiedenen Beugungsbildern mittels der Kamera

3.1.1. Theorie

3.1.2. Aufbau

Der Aufbau in Abb. 4 ist identisch mit dem Aufbau in Abb. 1 mit dem Unterschied, dass statt des Schirms eine Kamera integriert wurde.

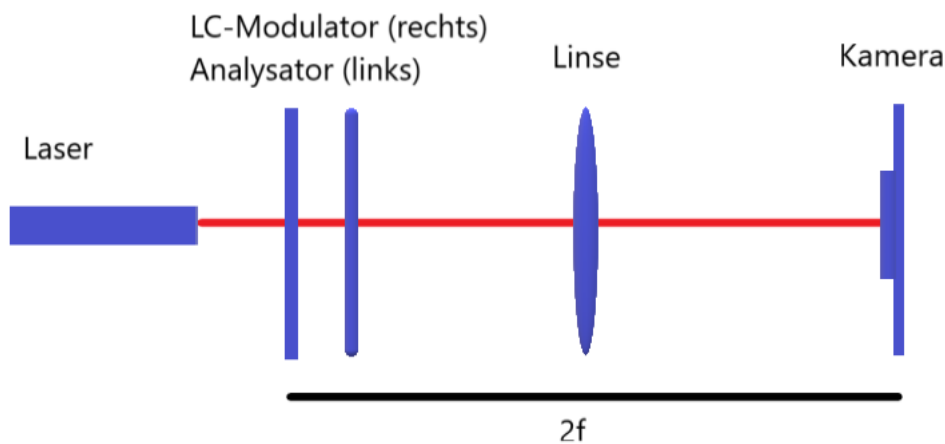


Abbildung 4: Aufbau zur Aufnahme von Beugungsbildern, die von dem LC-Modulator erzeugt werden mit Hilfe einer Kamera.

3.1.3. Auswertung

In diesem Teil werden Beugungsbilder verschiedener DOE's aufgenommen. Darunter befinden sich der Einzelspalt, der Doppelspalt und das Gitter. Bei dem Einzelspalt werden zwei verschiedene Strukturgrößen benutzt.

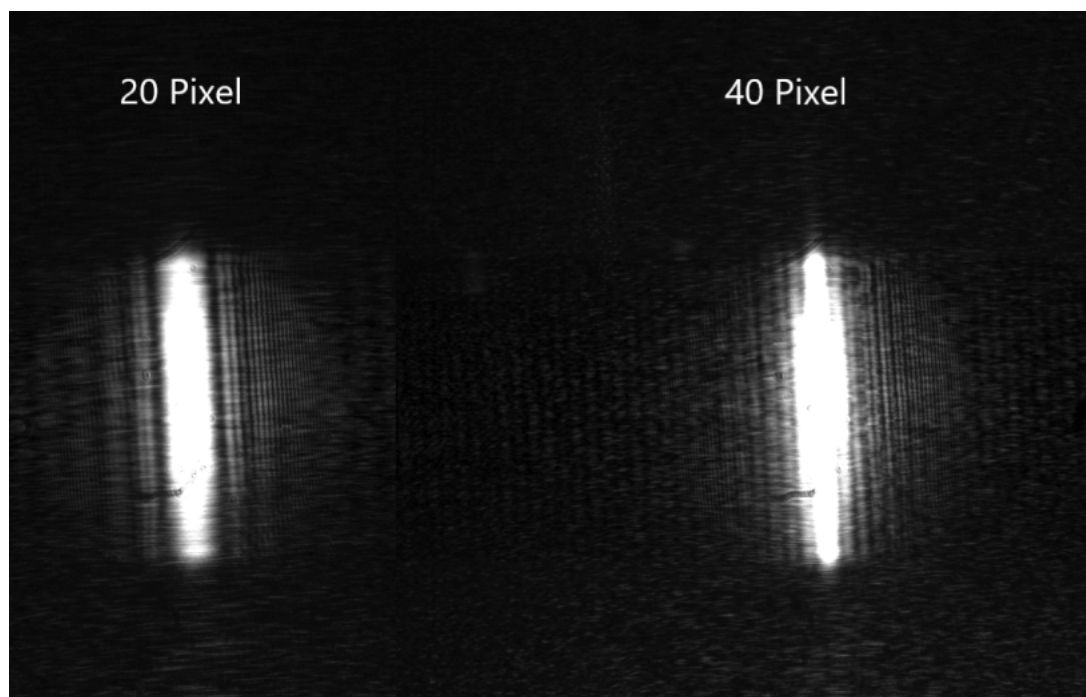


Abbildung 5

3.1.4. Unsicherheiten

3.1.5. Diskussion

4. Computergenerierte Hologramme (CGH)

Zuletzt wird der Aufbau, welcher in Abb. 6 zu sehen ist realisiert. Das heißt LC-Modulator und Analysator in optimaler Konfiguration, eine 200mm Linse und eine Kamera zur Aufnahme der Bilder. Dieser wird für den kommenden, letzten Versuchsteil nicht mehr verändert.

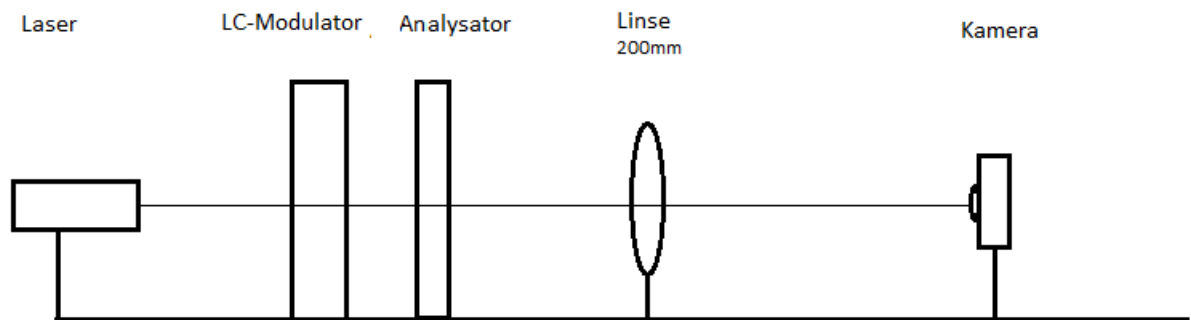


Abbildung 6: Aufbau des Versuchsteils zu computergenerierten Hologrammen

4.1. Brennweite der diffraktiven Linse

Mithilfe der Software wird ein DOE in Form eines Blank Screens erzeugt. Anschließend wird eine Linsenphasenfunktion hinzuaddiert. Dies verändert den Fokus des Aufbaus, der nun neu bestimmt werden muss. Dies wird für vier verschiedene Linsenphasen (100,75,50,25) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Wie in Abb. 7 erkennbar ist, verhält sich die Brennweite zur Linsenphase wie ein Wurzelfunktion.

Tabelle 1: Die Brennweite für vier verschiedene Linsenphasen.

Linsenphase	Brennweite[cm]
25	$89 \pm 0,3$
50	$95 \pm 0,3$
75	$99 \pm 0,3$
100	$100,5 \pm 0,3$

4.2. Berechnung beliebiger diffraktiver optischer Elemente als CGH

Mit Hilfe der OptiXplorer Software können ebenfalls Hologramme erzeugt werden. Dazu wird zunächst ein Bild aus den vorgegebenen Beispielen ausgesucht. Durch die gegebene Funktion „generate CGH“ kann der sogenannte Iterative Fourier-Transformations-Algorithmus ausgeführt werden. Das Bild wird an den LC-Modulator übergeben, mit dem Laser durchleuchtet und anschließend mit einer Kamera aufgenommen und gespeichert. Danach wird der selbe Vorgang mit einem weiteren Beispielen wiederholt. In Abb. 8

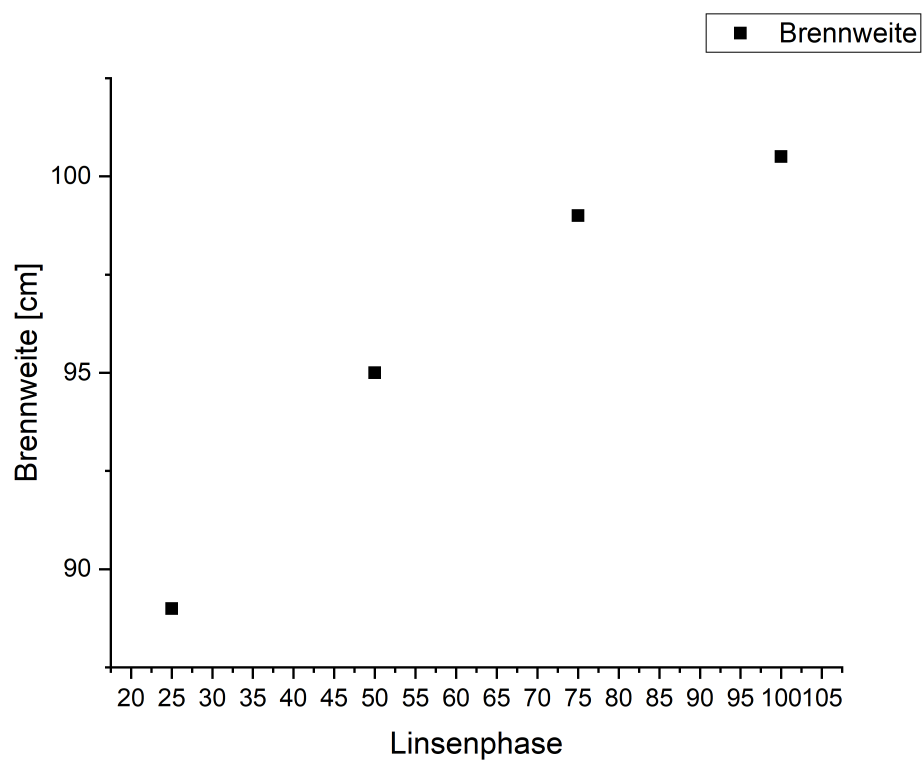


Abbildung 7: Die Brennweite in cm aufgetragen gegen die eingestellte Linsenphase. Die wurzelförmige Abhängigkeit ist deutlich erkennbar.

sind die beiden mit Hilfe der Kamera aufgenommenen Bilder zu sehen. Man erkennt, dass die Beispielbilder, die auf den LC-Modulator geschickt wurden, mit hoher Genauigkeit wiedergegeben wurden. Die Holografie funktioniert aufgrund der zugrundeliegenden Beugungstheorie, welche besagt, dass durch eine Fouriertransformation das Bild rekonstruiert werden kann.

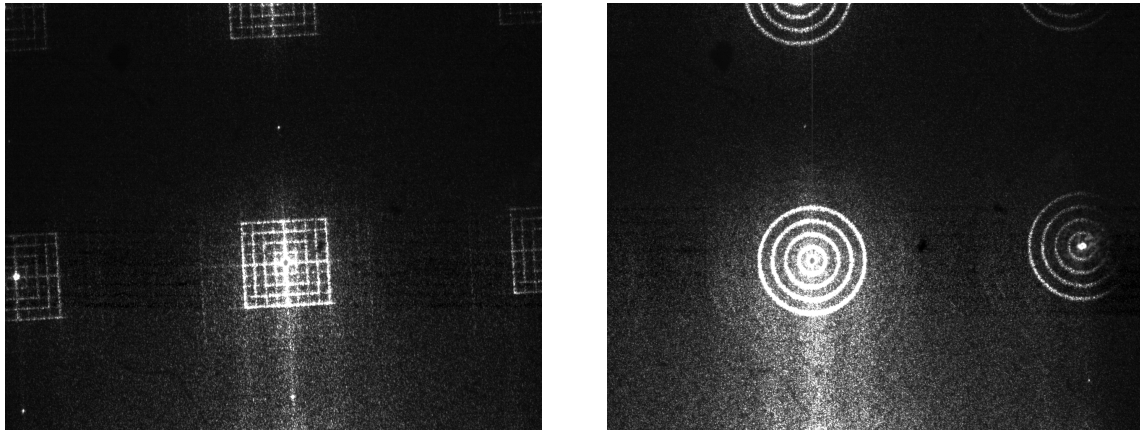


Abbildung 8: Zwei computergenerierte Hologramme, die mit „generate CHG“ der OptiXplorer Software erstellt wurden.

4.3. Darstellung zweier DOEs auf einem Bildschirm

Im letzten Versuchsteil wird untersucht, was passiert, wenn beide vorher erstellten Hologramme gleichzeitig erzeugt werden. Hierfür werden beide jeweils auf die Hälfte des Bildschirms projiziert. In Abb. 9 ist das mit Hilfe der Kamera aufgenommene Bild der Überlagerung zweier DOE's zu sehen. Es sind beide Muster klar erkennbar, jedoch liegen die Bilder nicht nebeneinander, wie man zunächst vermuten könnte, sondern übereinander. Dies folgt aus der doppelten Fouriertransformation. Da diese das im Ortsraum befindliche Bild in den Frequenzraum transformiert und andersherum, werden dabei die Frequenzen überlagert und nicht wie im Ortsraum ursprünglich räumlich getrennt gesehen. Werden dann die überlagerten Frequenzen zurück in den Ortsraum transformiert, erhält man nicht mehr das räumlich getrennte Bild von Ringen und Quadraten, sondern eine Überlagerung der beiden Bilder.

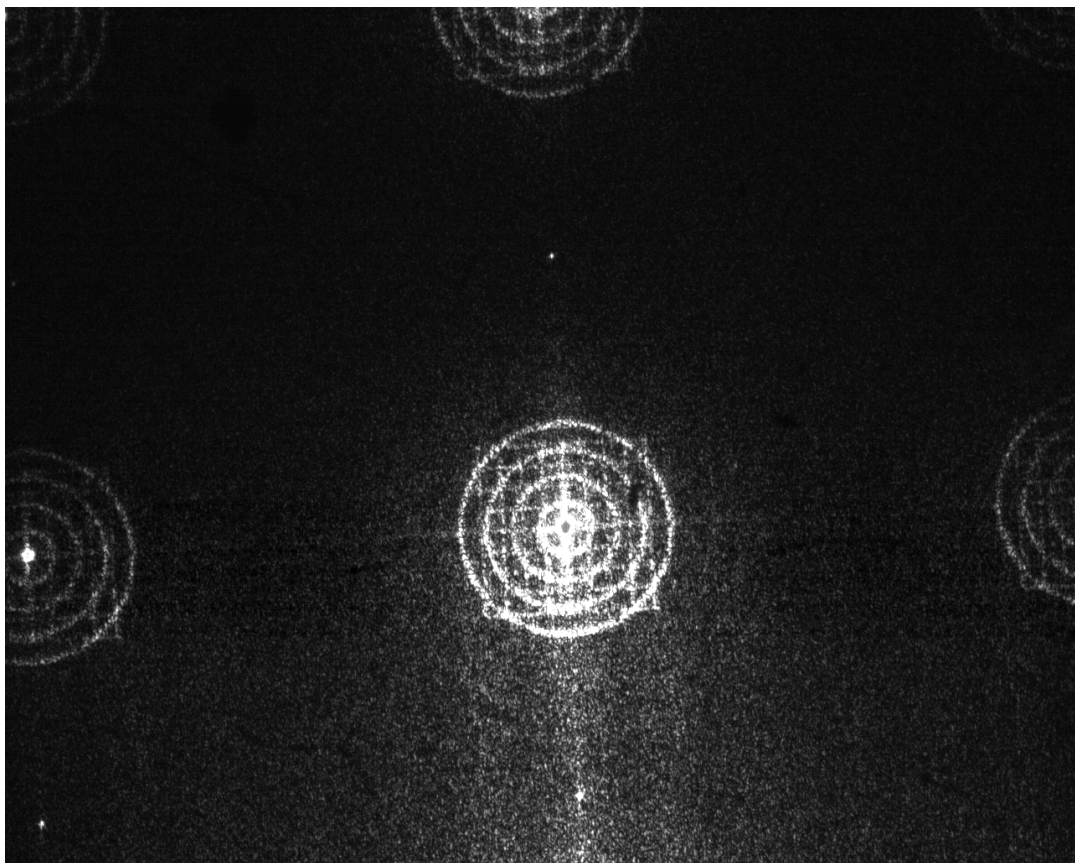


Abbildung 9: Das mit der Kamera aufgezeichnete Bild, wenn beide Hologramme gleichzeitig nebeneinander erzeugt werden.

A. Anhang