Zonenplatte

Golubkov Andrej
Meierhofer Georg

Betreuer: Dr. Bodil Holst

12. Mai 2004

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen

1.1 Huygens-Fresnel'sches Prinzip

Es wird angenommen, dass sich das Licht als kugelförmige Welle ausbreitet. Zu jedem Zeitpunkt entstehen an der ursprünglichen Wellenfront weitere sekundäre spherische Wellen. An ihren Wellenfronten etstehen wiederum weitere Wellen usw. Die Amplitude des Lichtes an einem Punkt P setzt sich aus der Summe der Wellen einer Generation zusammen, wobei deren Amplitude und Phasenverschiebung zu beachten ist. Es dürfen dabei auch nur Wellen zusammengezählt werden, deren Ursprung von P aus gesehen nicht abgeschirmt ist. Die Frequenzen aller dieser Wellen sind gleich. Dieser Wellencharakter des Lichts wird deutlich, wenn es an Objekten in der Größenordnung seiner Wellenlänge λ gestreut wird. Es entstehen dann Beugungsbilder die nicht durch die geometrische Optik erklärt werden können.

1.2 Fraunhofersche Beugung

Gilt, wenn der Abstand zwieschen der Beobachtungsebene und dem relativ kleinen beugendem Element (z.B. einer Lochblende) sehr gross ist. Die Abbildung findet dabei praktisch in der Optischen Achse statt. Der Winkel θ ist sehr klein.

1.2.1 Fraunhofersche Beugung an einer kreisförmigen Öffnung

Wenn ebene Wellen auf eine Kreisförmige Öffnung fallen wird ein Beugungsbild an einem weit enfernten Schirm beobachtet: eine kreisförmige Scheibe hoher Intensität (die Airy-Scheibe) die von einem dunklen Ring umgeben ist. Für den Radius q_1 der Airy-Scheibe gilt:

$$q_1 = 1.22\frac{R\lambda}{2a} \tag{1}$$

q_1	... Radius der Airy-Scheibe
R	... Abstand Lochblende - Abbildungsschirm
λ	... Gegenstandsweite
a	... Radius des Loches

Für $R = 2\,m$, $a = 0.72\,mm$ und $\lambda = 632\,nm$ ergibt sich
$q_1 = 1.07\,mm$

Für die durchgeführten Versuche war sie nicht weiter von Bedeutung. Für kleine R geht die Fraunhofersche Beugung in Fresnelbeugung über.

1.3 Fresnelbeugung

Gilt für das Nahfeld, also dem Bereich, der bis zum beugenden Element hinreicht. Im gegensatz zur Fraunhoferschen Beugung muss hier die 'Gerichtetheit' der Sekundärwellen berücksichtigt werden. Es wird der Schrägheits- oder Neigungsfaktor eingeführt:

$$K(\theta) = \frac{1}{2}(1 + cos(\theta)) \tag{2}$$

Diese Funktion hat ein Maximum für $\theta = 0$ und ein Minimum für $\theta = \pi$. Das bedeutet, dass die rückwärtslaufenden Wellen unterdrückt werden.

1.3.1 Fresnelzonen

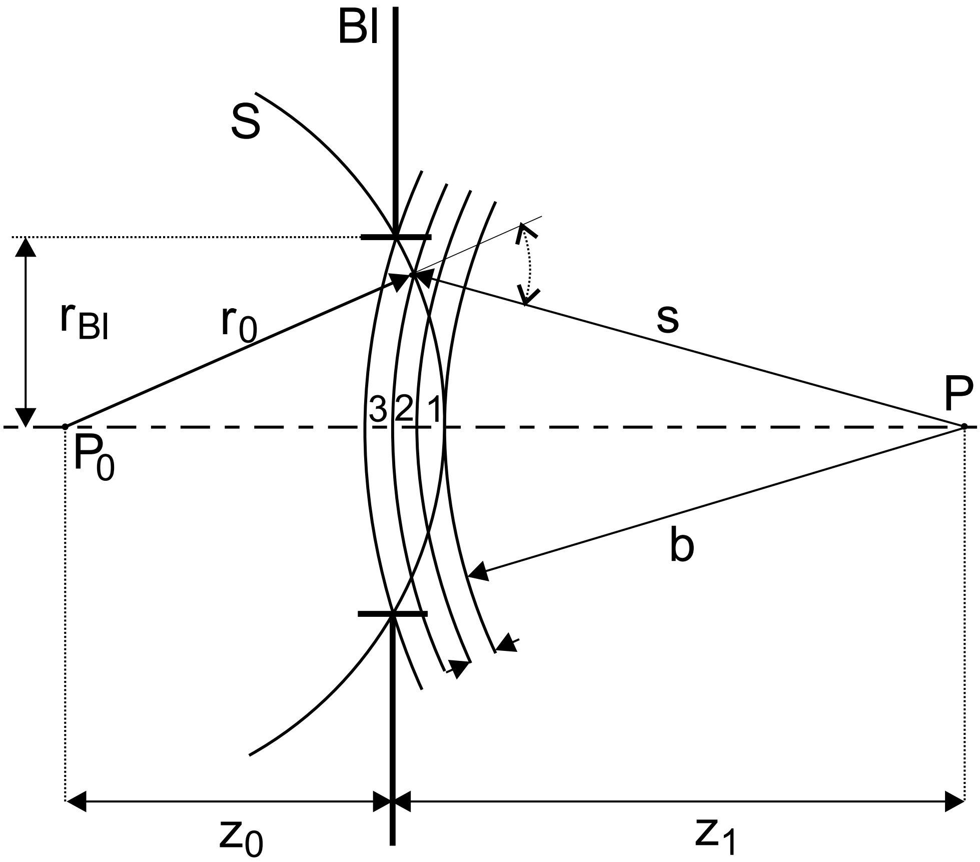

Abbildung 1: Konstruktion der Fresnelzonen.

Hier wird die Wellenfront S in eine Reihe Ringförmiger Zonen eingeteilt. Die Grenzen dieser Zonen sind die Schnitte vo S mit einer weiteren Spärischen Wellen s. Der Radius dieser Wellen s ist dabei:

$$s = b + n\frac{\lambda}{2} \tag{3}$$

Das emmitierte Licht zweier benachbarten Zonen ist jeweils um 180° phasenverschoben. Das Licht zweier benachbartet Zonen sollte negativ interferieren und sich auslöschen. Die Lichbeiträge im Punkt P einer Zone sind von der Zonenzahl n unabhängig [1].

[1]Eugen Hecht, OPTIK, Seite 461

Für die Gesamtfeldstärke im Punkt P gilt:

$$E = |E_1| - |E_2| + |E_3| - ... \pm |E_m| \tag{4}$$

Näherungsweise:

$$E \approx \begin{cases} \frac{E_1}{2} & \text{m ungerade} \\ 0 & \text{m gerade} \end{cases} \tag{5}$$

1.4 Zonenplatte

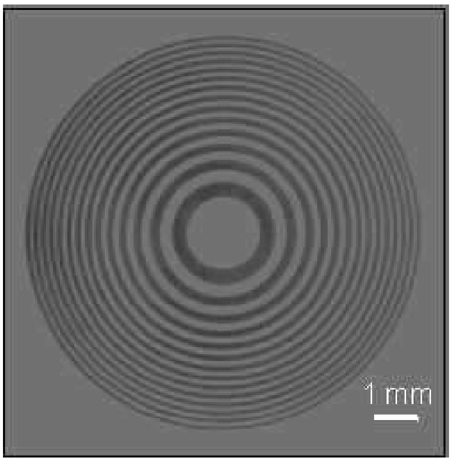

Abbildung 2: Foto einer Zonenplatte.

Bei einer Fresnelschen Zonenplatte wird jede zweite Zonenplatte ausgeblendet. Dadurch wird die Lichtamplitude im Punkt P um ein vielfaches verstärkt.

$$E = |E_1| + |E_4| + |E_5| - ... \pm |E_m| \tag{6}$$

1.4.1 Geometrie der Zonenplatte

Wie betrachten zwei Lichtwege. Einen direkten S - A_0 - P und einen an der Zone m gebrochenen S - A_m - P. Die Differenz dieser Lichtwege ist $m\lambda/2$.

$$(r_m + \rho_m) - (r_0 + \rho_0) = m\frac{\lambda}{2} \tag{7}$$

$$r_m = \sqrt{R_m^2 + r_0^2} \tag{8}$$

$$\rho_m = \sqrt{R_m^2 + \rho_0^2} \tag{9}$$

Für kleine R_m gilt näherungsweise

$$\rho_m = \rho_0 + \frac{R_m^2}{2\rho_0} \tag{10}$$

$$r_m = r_0 + \frac{R_m^2}{2r_0} \tag{11}$$

In (7) eingesetzt ergibt:

$$\left(\frac{1}{\rho_0} + \frac{1}{r_0}\right) = \frac{m\lambda}{R_m^2} \tag{12}$$

Es gibt eine auffällige ähnlichkeit zur Linsenmachergleichung:

$$\left(\frac{1}{g} + \frac{1}{b}\right) = \frac{1}{f} \tag{13}$$

Die Zonenplatte funktioniert wie eine Linse, ebene Lichtwellen werden am Punkt P fokusiert. Es gibt auch einen virtuellen Brennpunkt mit divergierendem Bild. Die Primäre Brennweite ist so definiert:

$$f_1 = \frac{R_m^2}{m\lambda} \tag{14}$$

Im gegensatz zu einer Linse hat die Zonenplatte mehrere Brennpunkte: $f_1, f_1/3, f_1/7$ usw. Das Intensitätsmaximum liegt bei $f_1/3$

1.4.2 Zonenplatte mit Phasenumkehr

Anstatt jede zweite Fresnel- Zone auszulöschen, wird hier eine Phasenverschiebung um $\lambda/2$ erzeugt, indem die Dicke variiert wird