

# Anwendungen für kleine Lochblenden in der Polarisations- und Quantenoptik

W.Dultz, B.Hils, E.Frins\*, H.Schmitzer\*\*  
 Physikalisches Institut der Universität, 60054 Frankfurt(Main)  
 \*Universität Montevideo,  
 \*\*Xavier-University Cincinnati

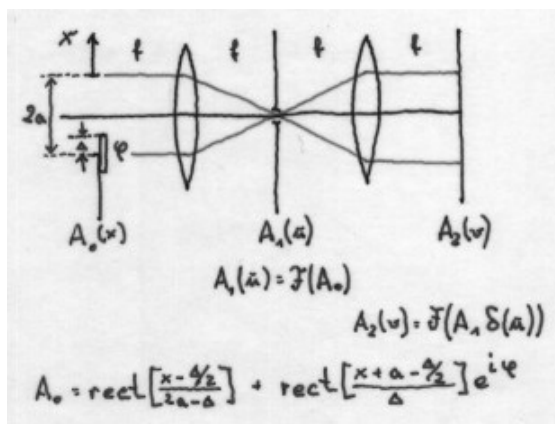
Kleine Aperturen erzwingen die räumliche Kohärenz komplexer Wellenfelder. Wir zeigen, daß sich auf der Grundlage dieses Effektes ein einfacher Polarisationskompensator ohne keilförmige Teile konstruieren läßt und diskutieren Anwendungen in Informationsnetzwerken und in der Quantenoptik.

## 1 Einführung

Ferne Sternhaufen erzeugen bei uns auf der Erde ein fluktuierendes Speckelfeld dessen kleinste Zelle den Durchmesser  $D = \lambda/\gamma$  hat, wobei  $\gamma$  der scheinbare Winkel ist, unter dem wir den Sternhaufen sehen. Beobachten wir den Haufen mit einem Fernrohr der Öffnung  $A < D/2$ , so erscheint er uns als einzelner Lichtpunkt, da dann das Fernrohr von nur einem Speckel ausgeleuchtet wird und damit eine ebene Welle ohne Struktur in unser Fernrohr eintritt. Jede Lochblende  $A$ , die diese Bedingung erfüllt, macht daher ein komplexes Wellenfeld räumlich kohärent.

## 2 Lochblenden als Raumfilter

Schauen wir uns diese Verhältnisse etwas quantitativer an. Wir nehmen an, daß von links eine ebene Welle in einen optischen Prozessor Abb.1 einfällt, wobei der Eingangsstrahl der



**Abb.1** Optischer Prozessor mit Lochblende als Raumfilter

Breite  $2a$  durch eine eingeschobene Phasenplatte mit der Phasenverzögerung  $\varphi$  geteilt und damit räumlich inkohärent ist. In der Fourierebene befindet sich ein kleines Loch als Raumfilter (beschrieben durch eine  $\delta$ -

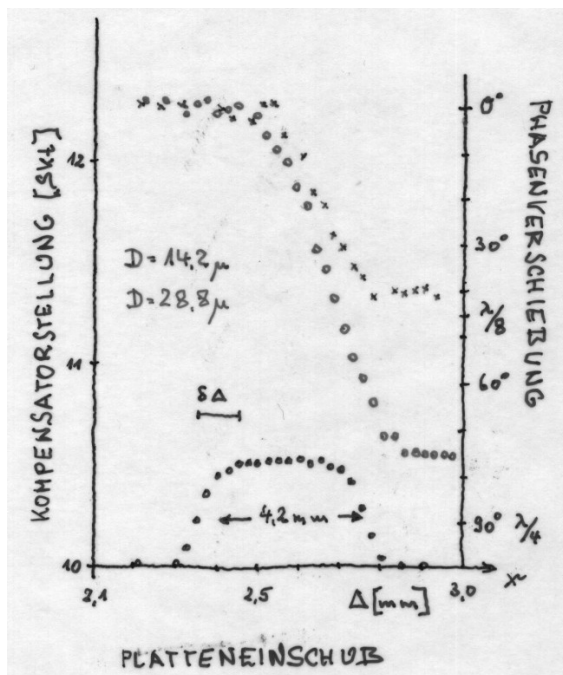
Funktion). Dann erhalten wir in der Bildebene im Ausgang des Prozessors die Feldverteilung  $A_2(v) = (2a - \Delta) + \Delta \exp(i\varphi)$ . Das ist eine ebene Welle, deren Phase in weiten Bereichen linear von der Einschubtiefe  $\Delta$  der Phasenplatte in der vorderen Fokalebene des Prozessors abhängt und für nicht zu große  $\varphi$  auch linear in  $\varphi$  ist. Durch Einschieben der Phasenplatte um die Strecke  $\Delta$  läßt sich daher die Ausgangsphase im Prozessor um einen etwa proportionalen Betrag ändern. Das Verschieben der Phasenplatte ändert die Phase also kontinuierlich im Ausgang des Prozessors. Auch die Amplitude der Welle im Ausgang hängt von  $\Delta$  und  $\varphi$  ab. Das versteht man leicht, wenn man bedenkt, daß sich z.B. für  $\Delta = a$  und  $\varphi = \pi$  die beiden gleichhellen Strahlenbündel in der Fourierebene gegenseitig auslöschen und daher ein schwarzer Interferenzstreifen auf dem Loch liegt.

## 3 Ein kontinuierlicher Polarisationskompensator ohne Keile

Verwenden wir linear polarisiertes Licht im Eingang des Prozessors und schieben eine doppelbrechende Phasenplatte mit  $45^\circ$  Achsorientierung in die vordere Fokalebene des Prozessors ein, so gelten diese Bedingungen für beide Polarisationskomponenten, sowohl für die in der schnellen als auch für die in der langsamen Achse, allerdings in unterschiedlichem Maße, da ja die Brechungsindizes  $n_s$  und  $n_l$  in der doppelbrechenden Platte verschieden sind. Im Ausgang des Prozessors erhalten wir daher zwei lineare aber orthogonal zueinander polarisierte Wellen mit einer Phasendifferenz, die wieder von der Einschubtiefe  $\Delta$  der Platte abhängt. Sie kombinieren im Ausgang des Prozessors zu einem, im allgemeinen elliptischen Polarisationszustand. Damit haben wir unser Ziel erreicht und aus der linearen Polarisation im Eingang des Prozessors eine

elliptische Polarisation im Ausgang gemacht, die durch die unterschiedlichen Einschubtiefen der doppelbrechenden Platte geändert werden kann. Der Prozessor mit einschiebbarer Kristallplatte entspricht damit einem Babinet-Soleil Kompensator, ohne daß er keilförmige Teile enthielte.

In Abb.2 zeigen wir Meßergebnisse für die Phasenverschiebung zwischen den orthogonalen Polarisationskomponenten im Ausgang des Prozessors. Im Unterteil der Abbildung ist der Intensitätsverlauf in der Eingangsapertur von 4,2 mm Durchmesser (in beliebigen Einheiten) zusammen mit der



**Abb.2** Phasenverschiebung zwischen den beiden Polarisationskomponenten in Abhängigkeit von der Einschubtiefe  $\Delta$  der Glimmerplatten.

Detektorauflösung  $\delta\Delta$  gezeigt. Die quasilineare Abhängigkeit von der Einschubtiefe  $\Delta$  der verwendeten Glimmerplatten ist offensichtlich.

Die Messungen erfolgten an zwei Glimmerplatten von 14,2  $\mu$  (grüne Kreuzchen) und 28,8  $\mu$  Dicke (rote Kreise) mit Hilfe eines Babinet-Soleil Kompensators der Firma Halle. Da auch die Amplituden der Polarisationskomponenten im Prozessorausgang etwas von  $\Delta$  abhängen, bewegt sich der kombinierte Polarisationszustand im Ausgang nicht exakt auf einem Meridian der Poincaré Kugel; die Abweichungen liegen aber unter 5 Grad im Bezug auf die Orientierung der Lichtellipse (10 Grad auf der Poincaré Kugel).

#### 4 Anwendungen in Netzwerken und im Quantenrechner

Anwendungen für diesen Kompensator sehen wir vor allem in optischen Faser-netzwerken, in denen das Polarisations-management preiswerte Polarisations-stellelemente erfordert und der Eingang der Einmodenfaser direkt als Lochblende verwendet werden kann.

Eine sehr interessante weitere Anwendung könnte die kleine Lochblende im Quanten-rechner als Mittelungselement beim Grover-algorithmus finden. Dabei befindet sich die Lochblende in einem Arm eines Mach-Zehnder Interferometers und mittelt über die Eingangs-strahlen, während im anderen Arm die räumliche Inkohärenz und damit die Charakterisierung des gesuchten Objektes erhalten bleibt. Quantensuchprozesse mit Photonen, die im Ortsraum mit dem Vakuum verschränkt sind, könnten eine Vorform dieses neuartigen Rechners sein und – zumindest vom Verständnis her – den Weg zu einer wichtigen Anwendung der Quantenoptik ebnen. Leider war die DFG nicht dieser Ansicht und da für die Untersuchungen ein gewisser Finanz-rahmen Voraussetzung ist, liegt dieses interessante Projekt bei uns zur Zeit auf Eis.

Unterstützt wurde diese Arbeit allerdings von der Xavier- University in Cincinnati und der Universität von Montevideo.