

Radialpolarisatoren als Instrument für die optische Polarisationsmessung

E. Frins*, B. Hils, H. Schmitzer**, W. Dultz

Universidad de la República Montevideo*, Xavier Univ. Cincinnati**, Univ. Frankfurt(Main)

requalivahanus(affenschaukel)t-online.de

Wir konstruieren verschiedene Radialpolarisatoren und diskutieren eine ihrer Anwendungen für die Polarisationsmessung

Lichtfelder mit ortsabhängiger Polarisation finden sich überall in unserer Umgebung, wenn wir das auch nicht so ohne weiteres merken. Den Honigbienen, aber auch gewissen Ameisen und Grillen, dient die Polarisationscharakteristik des blauen bis ultravioletten Himmelsstreulichtes als Kompaß zur Orientierung im Gelände [1]. In unseren Städten ist die polarisationsabhängige Reflexion glatter dielektrischer und metallischer Flächen wie der von Glasscheiben und Dächern aber viel kleinteiliger und kontrastreicher, was man mit einem Blick durch einen Analysator leicht bestätigen kann.

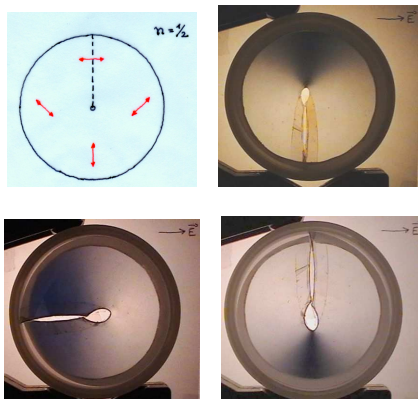


Abb.1 Polarisationsfolienkegel vor einem Linearpolarisator in verschiedenen Stellungen

Azimal polarisierte Lichtstrahlen haben eine Polarisationscharakteristik, die in Polarkoordinaten nur vom Azimutwinkel φ nicht aber vom Radius r abhängt. In vielen praktisch bedeutsamen Fällen sind sie linear polarisiert, d.h. ihr elektrischer Feldvektor bildet mit dem Radiusvektor \mathbf{r} einen festen Winkel α , der dann auch meist 0° (auch radial polarisiert) oder 90° (azimal polarisiert) beträgt.

$$\vec{E} = E_0 (\cos(n\varphi + \alpha), \sin(n\varphi + \alpha), 0) e^{i(kz - \omega t)}$$

$$n = 0, \pm 1/2, \pm 1, \pm 3/2, \pm 2, \dots$$

$\theta = n\varphi + \alpha$ ist der Orientierungswinkel der Polarisation relativ zur x-Achse. Für ganzzahlige n ist die Periode des Radialpolarisators gerade, für halbzahlige ungerade. $n = 0$ entspricht einem Linearpolarisator. Hat

man einen derart radial polarisierten Strahl \vec{E} , so läßt sich der Winkel α beim Durchgang durch ein optisch aktives Medium, z.B. einer Quarzplatte $\perp c$ -Achse mit dem Drehwinkel α , gleichmäßig über den Strahlquerschnitt hinweg beliebig verändern.

Bei der Präparation eines radial polarisierten Strahls kommt es ganz wesentlich auf die Polarisationscharakteristik der Quelle an [2]. In dieser Arbeit betrachten wir nur klassische Quellen, z.B. eine Halogenlampe. Das unpolarisierte Licht der Lampe wird gegebenenfalls mit einem Bandfilter monochromatisiert und durchstrahlt einen azimal variablen Linearpolarisator (auch Radialpolarisator genannt), mit der Durchlaßrichtung $\theta(\varphi)$ relativ zur x-Achse.

Den Polarisator mit $n = 1/2$ haben wir hergestellt, indem wir einen Halbkreis aus einer Polarisationsfolie zu einem 60° Kegel gedreht haben, der dann axial durchstrahlt wurde. Die Idee kam uns, als wir entdeckten, daß der Azimalpolarisator mit $n = 1$ durch einen entsprechenden Foliencylinder realisiert werden kann [3]. Zusammen mit einem drehbaren Linearpolarisator hat der Kegel ein einziges umlaufendes Transmissionsgebiet Abb.1.

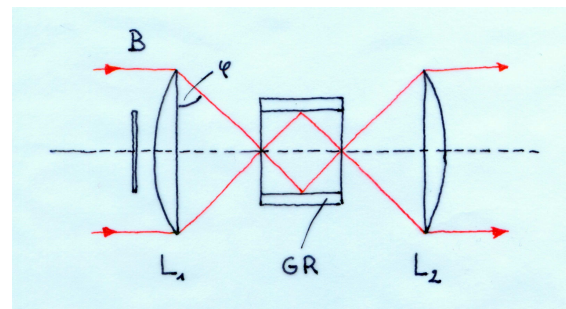


Abb.2 Azimutpolarisator auf Grundlage der Brewster Reflexion mit Blende B

Ein „Ableger“ des Polarisationsfolienkegels ist der Verzögerungsplattenkegel: gäbe es eine doppelbrechende Folie, die unter einem beliebig orientierten Einfallswinkel von 60° eine Verzögerung von $\lambda/2$ hätte, so brauchte man

sie nur zu einem 60° Kegel zu drehen und hätte ein nützliches Verzögerungselement mit kontinuierlich variabler Achsrichtung.

Bisher verwendet man für diese Zwecke segmentierte Platten [4]. Leider sind die handelsüblichen Folien, die wir zur Verfügung hatten (Polaroidverzögerungsfolien, Kopierfolien), entweder zu steif oder zweiachsig doppelbrechend, jedenfalls konnten wir dieses interessante Element bisher nicht realisieren. Azimutalpolarisatoren mit $n=1$ können auf sehr verschiedene Weise hergestellt werden. Wir konstruierten eine Form (Abb.2), bei der die Brewster-Reflexion [5] an einem Glasrohr GR ausgenutzt wird. Für übliche Gläser braucht man Linsen mit sehr großer Apertur und es ist daher vorteilhaft den Brechungsindex des Glasrohrs so hoch wie möglich zu wählen.

Abb.3 zeigt diesen Azimutalpolarisator vor einem Analysator in verschiedenen Stellungen. Der Azimutalpolarisator mit $n=2$ hat damit zusammen mit einem drehbaren Polarisator zwei umlaufende Transmissionsgebiete, im Gegensatz zu dem mit $n=1/2$. Auch eine Außenreflexion an dem Rohr oder einem Glasstab führt zu ähnlichen Ergebnissen.



Abb.3 Azimutalpolarisator nach Abb.2 im linearpolarisierten Licht verschiedener Orientierungen aber ohne Blende B

Eine interessante Anwendung für Radial- oder Azimutalpolarisatoren ist auch die einfache Bestimmung der Polarisationsrichtung des Lichtes [6]. Wir verwenden für diese Zwecke die Azimutalpolarisatoren („Soft Wheel“) von Frank Whooley in Reading (Polarized Animation Materials), die für Animationen in der Werbung hergestellt werden. Der hohe Kontrast zwischen den beiden Polarisationsrichtungen am singulären Punkt in der Mitte des „Soft Wheels“ erlaubt es, die Polarisationsrichtung von Lichtfeldern mit hoher Depolarisation, etwa vom Himmelsstreulicht, zu bestimmen. Man denke hier besonders auch an den Sonnensteinkompaß der Wikinger. Wir legten einen Azimutalpolarisator und eine $\lambda/4$ -Folie der Firma Polaroid aufeinander, um die elliptische Polarisation eines Lichtstrahles ohne komplizierte Mechanik zu bestimmen.

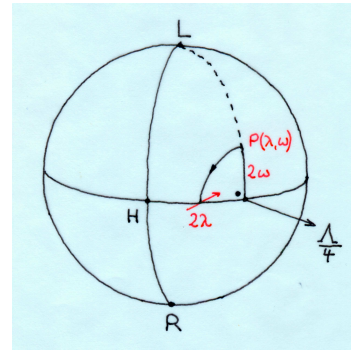


Abb.4 Gewöhnliche Bestimmung der Polarisation auf der Poincaré Kugel

Abb.4 zeigt die übliche Bestimmung der Polarisationsellipse mit $\lambda/4$ -Platte und Polarisator. Man dreht beide unabhängig voneinander, bis Auslöschung erreicht ist und liest die Drehwinkel ab. Unsere Anordnung wird als Ganzes gedreht, bis der dunkle Sektor erscheint.

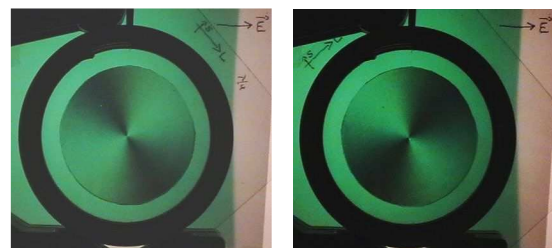


Abb.5 Rechts- und linkszirkularpolarisiertes Licht vor unserer Anordnung. Der Griff zeigt die schnelle Achse des $\lambda/4$ Plättchens an.

Die Ellipsenorientierung und die Elliptizität (auch ihr Vorzeichen) können direkt abgelesen werden [7]. Abb.5 zeigt ein Beispiel. Der dunkle Sektor liegt 45° vor bzw. hinter der s-Achse der $\lambda/4$ -Platte.

Danksagung: H. Schmitzer wurde durch ein Cottrell Science Award gefördert.

- [1] H.Krapp; Current Biology **17** R557
- [2] J.Ferrari, W.Dultz, H.Schmitzer, E.Frins; Phys.Rev. **A76** 053815 (2007)
- [3] A.Shoham, R.Vander, S.Lipson; Optics Letters **31** 3405 (2006)
- [4] R.Dorn, S.Quabis, G.Leuchs; Phys.Rev.Lett.**91** 233901 (2003)
- [5] J.Li, K.Ueda, M.Musha, A.Shirakawa; Optics Letters **31** 2969 (2006)
- [6] R.Castagna, D.Lucchetta, F.Vita, L.Criante, F. Simoni; Appl Phys Let **92** 041115 (2008)
- [7] I.Nishiyama, N.Yoshida, Y.Otani, N.Umeda; Meas.Sc.Technol.**18** 1673 (2007)