

Präzise verzögert

Wie sich für jedes optische System die am besten geeignete Verzögerungsplatte finden lässt.

Wolfgang Schneider

In vielen optischen Systemen ist es erforderlich, den Polarisationszustand des Lichts zu kontrollieren bzw. einzustellen. So müssen für die interferometrische Längenmesstechnik etwa die zirkular polarisierten Moden von frequenzstabilisierten Helium-Neon-Lasern in linear polarisierte umgewandelt werden. Dafür kommen meist Verzögerungsplatten zum Einsatz, die je nach Anwendung spezielle Anforderungen erfüllen müssen.

Generell gibt es drei funktionale Grundtypen von Verzögerungsplatten: Platten höherer Ordnung erzeugen eine sehr große Phasendifferenz, d. h. ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge plus einen Bruchteil derselben. Jedoch ist nur dieser Bruchteil optisch wirksam. Verzögerungsplatten quasi nullter Ordnung bestehen aus einem Plattenpaar höherer Ordnung mit orthogonal orientierten Kristallachsen, sodass nur die Differenz der Verzögerungen optisch wirksam ist. Verzögerungsplatten nullter Ordnung (auch: echt nullter Ordnung) erzeugen eine Phasendifferenz, die tatsächlich nur ein Bruchteil einer Wellenlänge ist.

Die Entscheidung für einen bestimmten Typ hängt in erster Linie vom verwendeten Lichtbündel ab: Wenn dieses eine feste Ausbreitungsrichtung hat, gut kollimiert und spektral schmalbandig ist, sich in einer temperaturstabilen Umgebung ausbreitet und eine niedrige Intensität hat, spielt der Funktionstyp keine große Rolle. Entscheidend ist er aber, wenn eine der Bedingungen nicht erfüllt ist.

Betrachtet man den Einfluss der Ausbreitungsrichtung, sprich des Einfallswinkels des Lichts, auf die Phasenverzögerung, geht es insbesondere um die Strahldivergenz: Verschiedene Strahlrichtungen



Je nach Anwendung stehen verschiedene Verzögerungsplatten zur Verfügung.

führen zu unterschiedlichen Einfallswinkeln und Phasenverzögerungen, sodass ein anfangs perfekt polarisiertes divergentes Lichtbündel durch eine Verzögerungsplatte partiell depolarisiert wird. Dies stört speziell in abbildenden Anwendungen extrem, da Streifen im Bild auftauchen. Die Phasenverzögerung sinkt für Strahlen mit einem Einfallswinkel $\neq 90^\circ$ in Bezug auf die Kristallachse, während sie für Strahlen steigt, die in der orthogonalen Ebene geneigt sind. So hängt die Verzögerung bei Platten, die nicht echt nullter Ordnung sind, extrem empfindlich vom Einfallswinkel ab. Für Verzögerungsplatten quasi nullter Ordnung ist die Abweichung sogar doppelt so groß wie für Platten höherer Ordnung. Bei Verzögerungsplatten echt nullter Ordnung ist die Abhängigkeit dagegen für praktisch alle Anwendungen vernachlässigbar, und die Depolarisation verschwindet fast vollständig (Abb. 1).

Für die Verzögerungsveränderung in Relation zur Wellenlänge ist zum einen die Plattendicke relevant, die zwar in Millimetern konstant bleibt, sich aber in Einheiten der Wellenlänge ändert, und

zum anderen die Differenz der Hauptbrechungsindizes des Plattenmaterials n_o und n_e , die von der Wellenlänge abhängt. Daher ändert sich die Verzögerung, selbst wenn die mechanische Dicke mit der Wellenlänge skaliert. Meist ist letzteres gegenüber dem ersten Effekt vernachlässigbar. Die tatsächliche Verzögerung von Platten höherer Ordnung variiert drastisch mit der Wellenlänge: Die Abweichung erreicht innerhalb weniger Nanometer 100 Prozent und mehr, aus einer $\lambda/4$ -Platte wird eine $\lambda/2$ -Platte. Im Gegensatz dazu hängen Platten nullter Ordnung nur sehr gering von der Wellenlänge ab (Abb. 2). Sie sind die beste Wahl, da aus der Wellenlängenabhängigkeit auch eine Depolarisation nicht-monochromatischer Strahlen resultiert.

Zudem hängt die Verzögerung jeder Platte von der Temperatur ab, da sie die Plattendicke sowie die Brechungsindizes – und damit die Doppelbrechung – beeinflusst. Diese Effekte sind materialspezifisch, für alle Materialien ist aber die Temperaturabhängigkeit von Platten nullter Ordnung erheblich geringer als die von Platten höherer Ordnung aus demselben Material.

Für $\lambda/4$ -Platten aus Quarz beträgt der Faktor etwa 80.

Dies kommt etwa bei der Frequenzstabilisierung von Helium-Neon-Lasern in der Interferometrie zum Tragen. Mittels des Zeeman-Effekts wird dabei die Emissionsmode in zwei zirkular polarisierte Moden aufgespalten, die für die Verwendung im Interferometer jedoch in linear polarisierte Strahlen umzuwandeln sind. Die Anforderungen sind extrem hoch: Oftmals sind Verzögerungsplatten mit einer Genauigkeit und einer Homogenität von $\lambda/300$ nötig. Vor allem muss aufgrund der instabilen Innentemperatur in einem HeNe-Laser – in der Warmlaufphase ändert sich diese um mehrere $10\text{ }^\circ\text{C}$ – die Verzögerungsgenauigkeit über einen größeren Temperaturbereich konstant sein. Daher kommen nur Verzögerungsplatten echt nullter Ordnung infrage.

Material der Wahl

Was die Entscheidung für ein Material betrifft, bietet Glimmer heute in vielen Anwendungen gleich gute oder bessere Eigenschaften als Quarz oder Polymer, so auch im Beispiel des HeNe-Lasers. Glimmer empfiehlt sich hier, da Polymerfilme allenfalls in verkitteter Form die nötige Temperaturstabilität aufweisen und dabei sehr teuer sind. Da die Platte gut geschützt montiert ist, lassen sich problemlos unverkittete, also direkt entspiegelte Glimmerplatten verwenden.

Allgemein sind die niedrige Absorption und die damit verbundene relativ hohe Zerstörungsschwelle für kontinuierliche Strahlung die einzigen Vorteile von Quarz gegenüber Glimmer und Polymer. Polymer zeichnet sich durch eine niedrigere Absorption aus, ist aber teurer. Für die meisten Anwendungen stellen Verzögerungsplatten echt nullter Ordnung aus Glimmer die beste Wahl dar, besonders unter Berücksichtigung von Preis und Verfügbarkeit. Hersteller wie S & R Optic haben meist einen großen Vorrat an gespaltenen Platten in Nanometerabstufung, sodass sich für fast jede Wellenlänge auf vorgefertigtes Material zurückgreifen lässt.

Zudem ermöglichen technische Fortschritte beim Spalten und Handling von Glimmer heute die Herstellung qualitativ hochwertiger Platten, die selbst bei Durchmessern von bis zu 100 mm eine hohe Homogenität der Verzögerung über die Apertur gewährleisten – ein Faktor, der z. B. bei der Polarisierung von Hochenergielasern wichtig ist. Da in solchen Lasersystemen die gesamte Strahlmanipulation an Bündeln mit relativ großem Durchmesser stattfindet, sind große Verzögerungsplatten nötig. In einem konkreten Fall galt es, einen linear polarisierten Kurzpuls-Hochenergie-Laserstrahl im NIR mit einem Durchmesser von 100 mm zirkular zu polarisieren, wofür eine Verzögerungsplatte mit einer freien Apertur von 120 mm erforderlich war.

Quarz schied dafür aus, da die Ordnung der Verzögerung inkom-

patibel würde mit der spektralen Breite der Strahlung. Verkittete Polymer-Filme eigneten sich aufgrund des empfindlichen Kaltkitts nicht, unverkittete kamen wegen ihrer schlechten mechanischen Eigenschaften nicht infrage. Stattdessen wurden unverkittete, beidseitig direkt entspiegelte $\lambda/4$ -Platten aus Glimmer verbaut, wobei die lineare Absorption durch spezielle Selektion im akzeptablen Bereich gehalten wurde. Um die Platten mit einem Durchmesser von 130 mm und einer Dicke von 0,1 mm sicher transportieren zu können, wurden spezielle Fassungsringe aus temperaturstabilem Invar verwendet.

Zusammenfassung

- Verzögerungsplatten echt nullter Ordnung sind die beste Wahl unter technischen Gesichtspunkten.
- Verzögerungsplatten quasi nullter Ordnung haben ein ebenso günstiges Verhalten bei Wellenlängen- und Temperaturänderungen, aber ein schlechteres Verhalten gegenüber Strahlrichtungsänderungen als Platten höherer Ordnung.
- Verzögerungsplatten höherer Ordnung sind nur anwendbar, wenn viele Parameter konstant sind.
- Verkittete Polymer-Verzögerungsplatten sind technisch gesehen eine gute Wahl, aber typischerweise sehr kostenintensiv.
- Verzögerungsplatten aus Glimmer sind meist die beste Wahl aus technischer Sicht, i. Allg. gut verfügbar und immer preisgünstig.

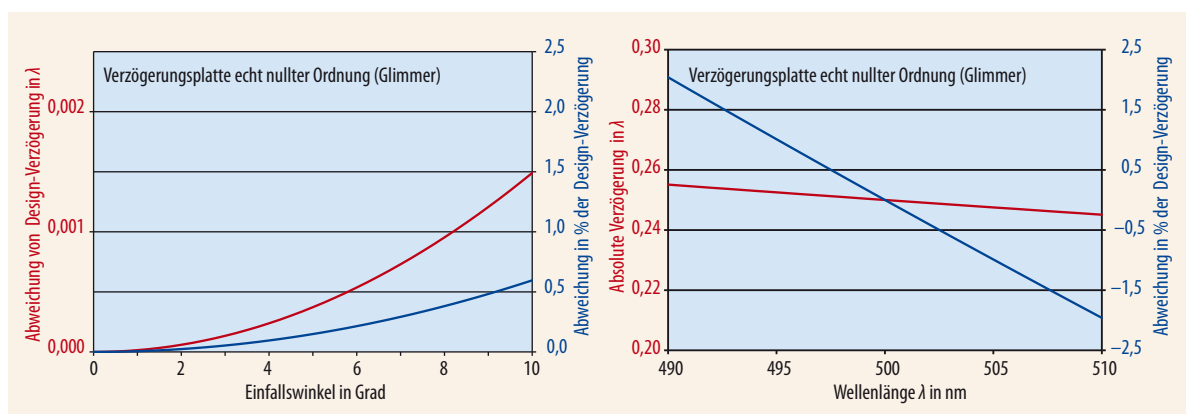


Abb. 1 Bei Platten echt nullter Ordnung ist die Verzögerungsabweichung in Relation zur Divergenz extrem gering.

Abb. 2 Die prozentuale Veränderung der Verzögerungsabweichung in Relation zur Wellenlänge wird bei Platten echt nullter Ordnung erst durch eine empfindliche Skalierung sichtbar.