

Homogenität optischer Gläser

Ralf Jedamzik, Peter Hartmann

Schott Glas, Mainz

<mailto:ralf.jedamzik@schott.com>

Brechzahlswankungen in optischen Gläsern können lokal in Form von bandförmigen Schlieren oder als globale Inhomogenität im Glas vorkommen. Die Brechzahl-Homogenität von optischem Glas ist generell besser als $\pm 20 \cdot 10^{-6}$. Die Schlierenqualität der Klassen 1-4 der ISO 10110 Teil 4 wird generell erfüllt. Meist werden aber weit höhere Qualitäten erreicht.

1 Einführung

Brechzahlswankungen in optischen Gläsern können lokal in Form von bandförmigen Schlieren oder als globale Inhomogenität im Glas vorkommen. Schlieren sind kurzreichweitige Brechzahlswankungen über einen Bereich von 0,1 mm bis 2 mm. Als globale Inhomogenitäten bezeichnet man die langreichweitigen Brechzahlswankungen, die sich über das gesamte Produktionsformat erstrecken. Solche Schwankungen entstehen durch eine nicht perfekte Homogenisierung der Schmelze und durch zeitliche Änderung der Brechzahl bei kontinuierlicher Wannenfertigung, die beim Guss in eine räumliche Änderung umgesetzt wird. Zur Homogenisierung der Glasschmelze trägt die Konvektion der Schmelze in der Schmelzwanne und Läuterkammer bei. Zusätzlich wird die Schmelze mechanisch durchmischt. Schlieren werden bereits in diesen ersten Prozessschritten minimiert. Die anschließende Feinkühlung ist nötig, um die in der Schmelze erzielte hohe optische Homogenität zu bewahren. Eine zu schnelle Abkühlung würde die Homogenität durch Dichteänderungen und Spannungsdoppelbrechung wesentlich verschlechtern. Schlieren können in diesem Prozess nicht mehr beeinflusst werden.

2 Globale Brechzahlhomogenität

Die Brechzahlhomogenität wird bei SCHOTT mit einem DIRECT 100 Fizeau Interferometer (Zeiss) gemessen [1]. Mit Hilfe der Ölplattenmethode wird eine Messgenauigkeit von ca. ± 10 nm Wellenfrontabweichung (PV) erreicht. Die gemessene Wellenfrontabweichung wird in eine Brechzahlswankung umgerechnet.

Als Ergebnis der Homogenitätsprüfung erhält der Kunde ein farbcodiertes Höhenprofil der Brechzahlswankungen. Angegeben wird die maximale Brechzahlswankung gemäß der ISO 10110

Teil 4 [2]. Die Schott Spezifikation [3] verwendet auch diese Einteilung (Tabelle 1).

ISO Einteilung	Maximale Brechzahlswankung	Schott Einteilung	Anwendbar für
0	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$	S0	Streutoleranz von Glas zu Glas
1	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	H1 (S1)	geschnittenes Glas (und Streutoleranz Glas zu Glas)
2	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$	H2	
3	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$	H3	geschnittenes Glas, nicht für alle Größen
4	$\pm 1 \cdot 10^{-6}$	H4	geschnittenes Glas, nicht für alle Größen und Glastypen
5	$\pm 0,5 \cdot 10^{-6}$	H5	

Tab. 1 Homogenitäts Einteilung

Die Homogenitätsverteilung in optischen Glas ist hauptsächlich durch das Gießformat vorgegeben. Generell nimmt die Homogenität innerhalb eines Glases vom Rand mit sinkendem Durchmesser zu (Abbildung 1). Der größte Abfall ist meistens am Rand des Rohteils.

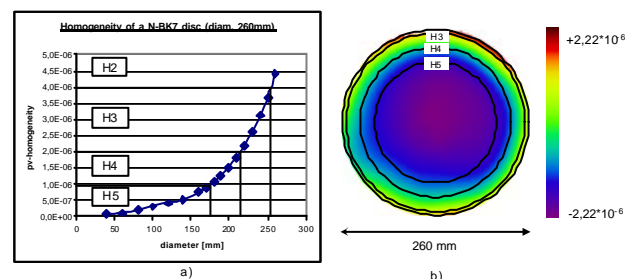


Abb. 1: Die Homogenität in Abhängigkeit des Prüfdurchmessers [1].

Bei kreisförmiger Apertur kann die Wellenfrontabweichung als eine Zernike Polynomentwicklung dargestellt werden. Somit können einzelne Aberrationen ausgewertet und von der Wellenfront abgezogen werden. In vielen Anwendungen kann z.B.

ein großer Fokusanteil in der Justage kompensiert werden.

Die Homogenität ist in der Regel wesentlich besser als $\pm 20 \times 10^{-6}$ (H1), wenn die optischen Elemente in einem Mindestabstand zu den Oberflächen aus den Rohglasteilen herausgearbeitet werden. Die erreichbare Homogenität ist abhängig vom Glastype und der Größe. Das bekannteste Glas, welches in hohen Homogenitäten und großen Abmessungen gefertigt werden kann ist NBK7 (Beispiel: H4 auf ca. 500mm Durchmesser) [1].

3 Schlieren

Die Charakterisierung von Schlieren erfolgt nach ihrer Intensität (resultierende Wellenfrontabweichung) und Flächendichte. Die MIL-G-174 (nicht mehr gültig, aber oft zitiert) verwendet eine Intensitätseinteilung ohne genaue Quantifizierung. Die ISO 10110 unterscheidet zwischen Schlieren mit Intensitäten größer und kleiner 30 nm und teilt diese gemäß ihrer Flächendichte ein. In [4] wurde gezeigt, dass Schlieren mit einer Intensität < 30 nm im Allgemeinen nur wenig bis gar keinen Einfluss auf die Abbildungsqualität haben. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der Schott Schlierenspezifikation mit der ISO 10110 und der MIL-G-174B.

	MIL-G-174B	ISO 10110	SCHOTT alt	SCHOTT neu
gültig für	Rohglas	Fertigteile	Rohglas	
charakterisiert durch	Intensität ohne Dicke	Flächendichte	Intensität mit Probendicke 50 mm	
Schlieren Stufen	D	≥ 30 nm	D: ~60nm	
	C	1: $\leq 10\%$ 2: $\leq 5\%$ 3: $\leq 2\%$ 4: $\leq 1\%$	C: ~15 nm	< 30 nm: Normalqualität Rohglas
	B	5: extrem niedriger Schliereninhalt	B: ~15 nm	< 15 nm: bearbeitetes Glas
	A		A: < 10nm	
			VS: keine Schlieren sichtbar	VS1/VS2: keine Schlieren sichtbar in ein/zwei Richtungen

Tab. 2: Vergleich der Schlieren-Spezifikation [4]

Schlieren werden mit der Schattenmethode in eine oder zwei Anwendungsrichtungen geprüft. Das entstehende Schattenbild wird mit dem Bild von Referenzschlieren verglichen. Mit der Methode wird eine Auflösung von ca. 10 nm erreicht [4].

Die Beobachtungsrichtung beeinflusst die sichtbare Schlierenintensität. Abbildung 2 zeigt die Varia-

tion der Schlierenintensität einer Glasprobe in unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen.

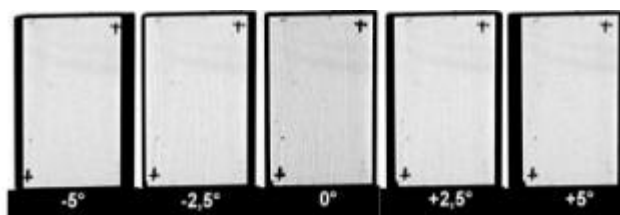


Abb. 2: Richtungsabhängiger Einfluss auf die Intensität der Schlieren [5]

Schlieren in optischen Glas sind im Allgemeinen bandförmig. Ihre Intensität hängt daher auch von der Glasdicke ab. Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Prüfdicke auf die Schlierenintensität. Durch Reduktion der Prüfdicke von 50 mm auf 10 mm wird die Schlierenintensität um eine Stufe gesenkt.

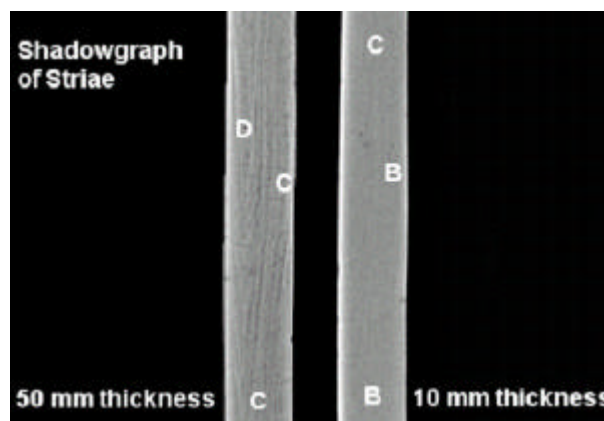


Abb. 3: Der Einfluss der Dicke auf die Schlierenintensität

Generell erfüllt das Rohglas von Schott die Anforderungen der MIL-174B Stufe C und die Stufen 1-4 der ISO 10110 Teil 4. Fertigteile mit einer gegenüber dem Rohglas verringerten Dicke erfüllen Stufe B. Standard Rohglas erfüllt in kleinen Teilvolumen auch höchste Anforderungen der MIL-G-174B.

Literatur

- [1] SCHOTT Technical Information No. 26: Homogeneity of optical glass (2004)
- [2] ISO/DIS 10110 - part 4; Preparation of drawings for optical elements and systems; Material imperfections – Inhomogeneity and striae, 1994
- [3] SCHOTT Optical Glass Pocket Catalogue
- [4] Hild, R.; Kessler, S.; Nitzsche, G., Influence of schlieren on imaging properties of an optical system: II. Modulation Transfer Function (MTF), Optik 85, page 177 (1990)
- [5] SCHOTT Technical Information No. 25: Striae in optical glass (2004)