

# Ein Vorschlag zur objektiven Schlieren-Messtechnik in optischem Glas: erste Ergebnisse

S. Reichel\*, \*\*, C. Lempa\*\*\*, P. Hartmann\*\*\*\*, U. Petzold\*\*\*\*, F. Rupp\*\*\*\*, R. Jedamzik\*\*\*\*

\*Hochschule Pforzheim, Tiefenbronner Str. 65, D-75175 Pforzheim, Germany; \*\*Hochschule Darmstadt, Schöfferstr. 3, D-64295 Darmstadt, Germany; \*\*\* Eckelmann AG, D-65205 Wiesbaden, Germany; \*\*\*\* SCHOTT AG, Advanced Optics, Hattenbergstr. 10, D-55122 Mainz, Germany

<mailto:steffen.reichel@hs-pforzheim.de>

Schlieren sind kurzreichweitige (0.1 mm ... 1.0 mm) Brechzahländerungen im optischen Glas. Schon während der Produktion wird das Glas mittels der Schattenwurf-Methode auf Schlieren geprüft. Hier wird ein neues Messverfahren vorgeschlagen, das mittels Bildverarbeitung die Schlieren Mensch-unabhängig, quantitativ und objektiv misst. Erste Ergebnisse sind erfolgsversprechend.

## 1 Einführung

Optik und Photonik sind Schlüsseltechnologien, die z.B. bei der Entwicklung von Teleskopen, Mikroskopen oder Kameras Anwendung finden. Um immer leistungsfähigeren Optiken zu ermöglichen sind optische Gläser mit hoher innerer Qualität notwendig. So muss das optische Glas eine gute Homogenität und/oder wenig Schlieren haben, da diese die Abbildungsqualitäten der Optiken verschlechtern.

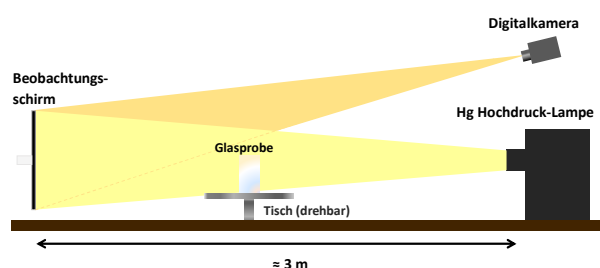
## 2 Schlieren und deren Messung

Eine Schliere ist eine lokale Brechzahländerung ( $\Delta n \leq 0,001$ ) im optischen Glas aufgrund lokaler Änderung der chemischen Zusammensetzung. Typische Strukturbreiten von Schlieren liegen zwischen 0,1 mm und 1,0 mm. Schlieren werden schon seit langem zuverlässig mit der Schattenwurf-Methode bei SCHOTT gemessen [1], siehe Fig. 1. Anhand des Schattens auf dem Beobachtungsschirm, bewertet ein Prüfer den Ausprägungsgrad der Schliere. Hierbei wird traditionell zwischen Schlierenklasse A, B, C und D unterschieden – siehe [2]. In Tab. 1 sind die Schlierenklassen und der zugehörigen optische Wellenfrontdeformationen (OPD – optical path difference) aufgelistet [2], [3]. Die Norm klassifiziert nur die Wellenfrontdeformation.

Schlieren Klassifikation (MIL 174 G)	ISO DIN 12123 (2017)	Optische Wellenfrontdeformation
A	SW10	0 nm ... 10 nm
B	SW15	10 nm ... 15 nm
C	SW30	15 nm ... 30 nm
D	SW60	30 nm ... 60 nm

**Tab. 1** Schlieren Klassifikation und zugehörige optische Wellenfrontdeformation.

Die Bestimmung der Schlierenklasse gemäß Tab. 1 erfolgt gegenwärtig nach Fig. 1, anhand des mit dem Auge wahrgenommenen Schattenbildes (ohne Digitalkamera).



**Fig. 1** Schattenwurf-Methode zur Messung von Schlieren. Die momentan verwendete Methode arbeitet ohne Digitalkamera. Das neue vorgeschlagene Messverfahren benutzt die Digitalkamera.

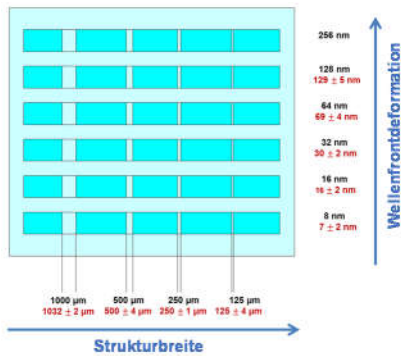
## 3 Vorgeschlagenes Messverfahren

Fig. 1 zeigt auch das neue vorgeschlagene Messverfahren, dass Mensch-unabhängig die Wellenfrontdeformation durch eine Schliere bestimmt. Die Methode benutzt den Aufbau nach Fig. 1 verwendet aber eine Digitalkamera und nutzt Methoden der Bildverarbeitung.

Um die Wellenfrontdeformation bestimmen zu können, wird erst ein Referenzbild einer „künstlichen Schlierenplatte“ (Referenzplatte) bestimmt. Diese hat definierte rechteckige Schlierenbreiten mit unterschiedliche Wellenfrontdeformationen, siehe Fig. 2. Das Schattenbild der Referenz wird aufgenommen der maximale (*Max*) und minimale (*Min*) Wert von 256 Grauwerten bestimmt (daher Faktor 255) und der Kontrast berechnet:

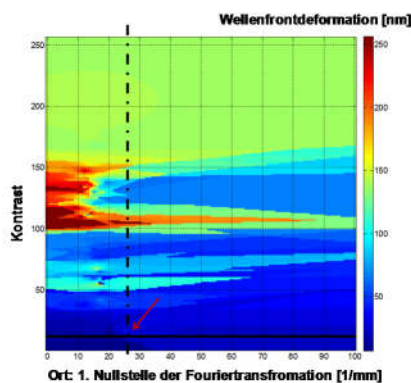
$$\text{Kontrast} = \frac{\text{Max} - \text{Min}}{\text{Max} + \text{Min}} \cdot 255 \quad (1)$$

Der Kontrast aus dem Grauwert benötigt zur eindeutigen Bestimmung einen zweiten Wert, die Strukturbreite, vergleiche mit Fig. 3. Diese wird aus der 1. Nullstelle der Fouriertransformierten der Grauwerte ermittelt, da sich das Schattenbild auf dem Schirm im Fernfeld der Messprobe (Fraunhofer-Beugung) befindet [5].

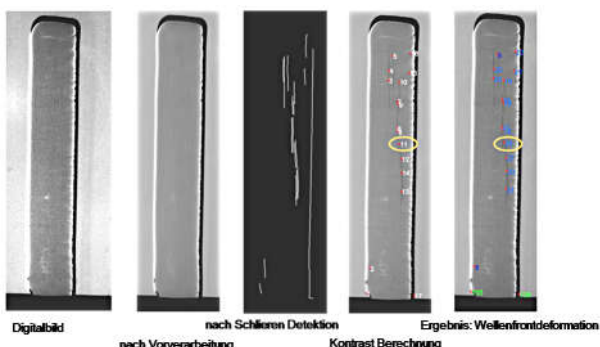


**Fig. 2** „Künstliche Schlierenplatte“ mit unterschiedlicher Strukturbreite und Wellenfrontdeformation (schwarz: Nominalwerte, rot: gemessene Werte) [4].

Aus der Referenzplatte Fig. 2 wird pro Zeile aus dem Grauwert der Kontrast bestimmt sowie nach Fouriertransformation die Ortsinformation über die erste Nullstelle. Die so erhaltenen Wertepaare von Wellenfrontdeformation und Strukturbreite zeigt Fig. 3 und wird als „look-up-table“ abgespeichert, um damit im Folgenden die Messwerte zu kalibriert.



**Fig. 3** Wellenfrontdeformation in Abhängigkeit des Kontrastes und der Strukturbreite („Ort“). Ein aus den Graustufen errechneter Kontrast (durchgezogene Linie) hat vieldeutige Wellenfrontdeformationen, die mit der Ortsinformation (gestrichelte Linie) eindeutig wird (roter Pfeil).



**Fig. 4** Veranschaulichung der 4 Bildverarbeitungsschritte für eine C-Schliere (23 nm Wellenfrontdeformation)

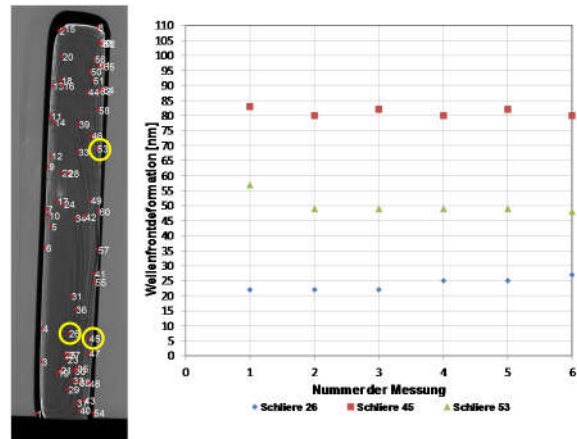
Das neue Messverfahren verwendet ein Digitalbild der Schlieren auf dem Beobachtungsschirm, das mittels der Matlab Image Processing Toolbox verarbeitet wird:

1. Bildvorbearbeitung („Abziehen Hintergrundbild“, Schatten-Korrektur, Zuschneiden, Kanten-Verstärkung, Rauschunterdrückung)
2. Schlieren Detektion (Segmentierung, Kennzeichnung, Kantenerkennung)
3. Berechnung Kontrast und Ortsinformation (Strukturbreite) aus Grauwerten
4. Analyse: Vergleich der Werte aus 3. mit look-up-table und Zuweisung der Wellenfrontdeformation

Das Ergebnis des Prozesses zeigt beispielhaft Fig. 4 für eine C-Schliere.

#### 4 Erste Ergebnisse des neuen Messverfahrens

Eine erste Messung verschiedener Schlieren zeigt Fig. 5. Alle 3 Schlieren sind richtig klassifiziert worden.



**Fig. 5** Wellenfrontdeformation für 3 verschiedene Schlieren (Kreise links) und 6 Wiederholungsmessungen

#### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Erste Ergebnisse des neuen objektiveren Messverfahrens zeigen eine maximale Abweichung der Wellenfrontdeformation von < 8 nm (peak-to-valley). Das Verfahren ist somit vielversprechend, das noch weiter getestet und erforscht wird.

#### Literatur

- [1] P. Hartmann, *OPTICAL GLASS*, (SPIE PRESS, Bellingham 2014)
- [2] INTERNATIONAL STANDARD ISO 12123, „*Optics and photonics — Specification of raw optical glass*“ (Geneva 2010)
- [3] S. Reichel et al: „Effects of striae in optical glass on optical systems – first results“, in: *DGaO-Proceedings 2017* – ISSN: 1614-8436 – urn:nbn:de:0287-2017-B023-6
- [4] C. Lempa, „*Charakterisierung und Messung von Schlieren in optischem Glas mittels Bildverarbeitung*“, Master Arbeit, (Hochschule Darmstadt, 2014)
- [5] H. Gross et al: „Measurement and Simulation of Striae in Optical Glass“ in: *Proc. SPIE 7389*, (2009)