

# Absolute Phasemessende Deflektometrie

Markus Knauer, Jürgen Kaminski, Gerd Häusler

Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg

<mailto:markus.knauer@optik.uni-erlangen.de>

Die „Phasemessende Deflektometrie“ (PMD) ist ein auf der Streifenprojektion basierendes Verfahren zur Vermessung spiegelnder Oberflächen. Die primäre Messgröße ist die lokale Neigung. Mit der absoluten PMD können spiegelnde Freiformflächen beliebig im Messfeld platziert und vermessen werden.

## 1 Einführung

In Deutschland werden mehrere zehntausend Gleitsicht-Brillengläser pro Tag hergestellt. Da diese Gläser kundenspezifisch und individuell gefertigt werden sollen, ist eine schnelle, vollflächige und genaue Prüfung unerlässlich. Bisher gab es allerdings kein Messgerät, das den Anforderungen der Brillenhersteller genügt.

Die „Phasemessende Deflektometrie“ (PMD) ist ein Verfahren, das diese Anforderungen erfüllt. Das Hauptinteresse bei der Vermessung von Brillengläsern liegt in der Bestimmung des Flächenbrecherts in jedem Punkt der Oberfläche. Der Flächenbrechwert hängt dabei von der lokalen Krümmung und der Brechzahl des Glases ab [1].

Der Flächenbrechwert soll auf einer Fläche von nur 3×3 mm<sup>2</sup> mit einer (absoluten) Genauigkeit von 0,01 dpt bestimmt werden. Das entspricht einer Höhendifferenz von lediglich 20 nm oder einer Neigungsdifferenz von 6 arcsec auf 3 mm.

## 2 Messprinzip

Ein sinusförmiges Streifenmuster wird auf eine Mattscheibe projiziert und über den Prüfling in die Kamera abgebildet. Aus den Verzerrungen der Streifen kann man dann mittels bekannter Phasen-shift-Verfahren die lokale Neigung der Oberfläche in jedem Punkt bestimmen (Abb. 1).

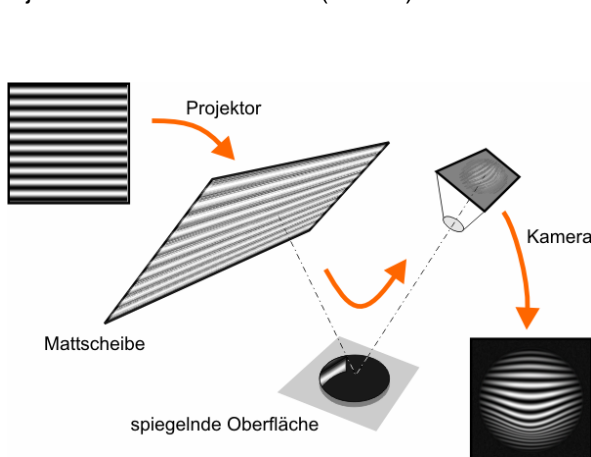


Abb. 1 Prinzip der Phasemessenden Deflektometrie

Es ist wichtig, Sinusstreifen zu verwenden, da man die Kamera nicht gleichzeitig auf das Objekt und die Streifen scharf stellen kann. Die Phase der unscharfen Sinusstreifen wird dabei nicht verändert, der Kontrast lässt jedoch nach. Basierend auf diesen Überlegungen lässt sich ein Unschärfeprodukt herleiten, das die Genauigkeit der Messung begrenzt [2]:

$$\tan \delta\alpha \cdot \delta x > \frac{\pi\lambda}{Q} \quad (1)$$

Hierbei ist  $\delta\alpha$  die Neigungsunsicherheit,  $\delta x$  die maximale Ortsauflösung und  $Q$  eine Qualitätskonstante, die hauptsächlich vom Signal-/Rauschverhältnis der Kamera bestimmt wird. Somit kann die lokale Neigung nicht für beliebig kleine Flächenelemente bestimmt werden.

## 3 Stereo-Deflektometrie

Durch geeignete Kalibrierverfahren können für jeden Pixel  $P$  der Kamera die Sichtrichtung sowie der beobachtete Punkt  $Q$  auf der Mattscheibe bestimmt werden. Der Schnittpunkt des Sichtstrahls mit der Objektfläche ist jedoch nicht bekannt (Abb. 2). Wäre der Schnittpunkt bekannt, könnte die Oberflächen-Normale berechnet werden. Diese Mehrdeutigkeit tritt bei allen deflektometrischen Verfahren auf.

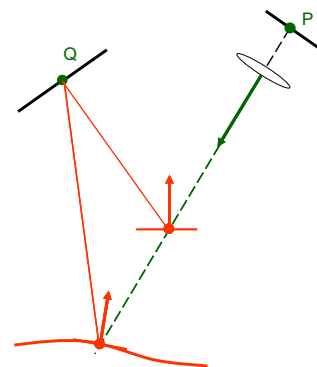


Abb. 2 Mehrdeutigkeit der Normalenberechnung

Das Prinzip der „Stereo-Deflektometrie“ löst diese Mehrdeutigkeit. Dazu benutzen wir eine zweite Ka-

mera. Im Gegensatz zu klassischen Stereoverfahrenen auf diffus streuenden Oberflächen ist es auf spiegelnden Oberflächen nicht trivial, korrespondierende Punkte in beiden Kameras zu finden: Wenn beide Kameras denselben Punkt auf der Objektoberfläche beobachten, so sehen sie unterschiedliche Phasen auf der Mattscheibe (Abb. 3). Die Normale  $\underline{n}$  ist jedoch in beiden Fällen gleich.

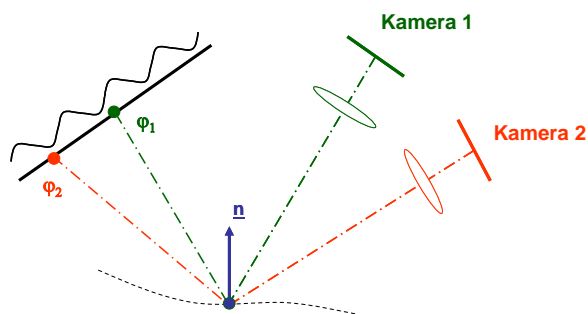


Abb. 3 Stereo-Deflektometrie

Im kalibrierten System kann für beliebige Punkte im Messraum die Normale berechnet werden, welche die Oberfläche hätte, läge sie an dieser Stelle. Wegen der unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen sind diese „potenziellen“ Normalen für die beiden Kameras unterschiedlich – außer an den Orten, an denen die Oberfläche tatsächlich lag (Abb. 4).

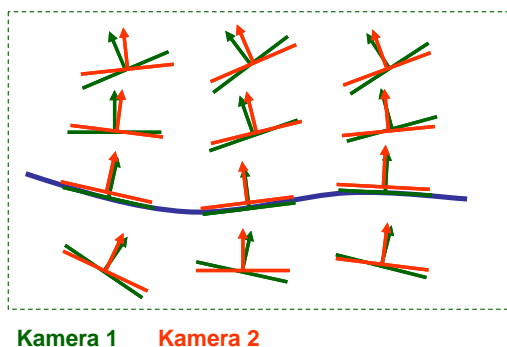


Abb. 4 Vergleich von Normalen im Messvolumen

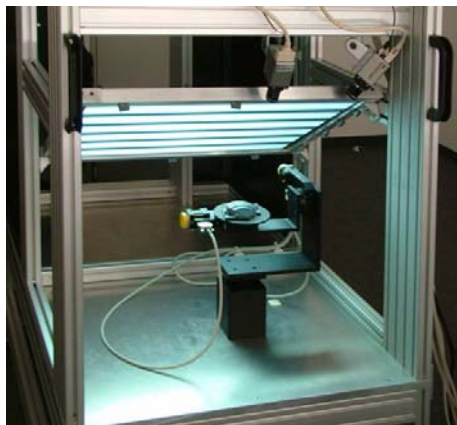


Abb. 5 Demonstrator zur Vermessung von Gleitsicht-Brillengläsern

## 4 Ergebnisse

Wir haben ein Laborgerät realisiert, das auf dem Prinzip der Stereo-Deflektometrie beruht. Abb. 5 zeigt einen Demonstrator, der von unserem Projektpartner 3d-shape gebaut wurde [3].

In den Abbildungen 6 und 7 sind der mittlere Flächenbrechwert sowie der Flächen-Astigmatismus eines Gleitsichtglases dargestellt.

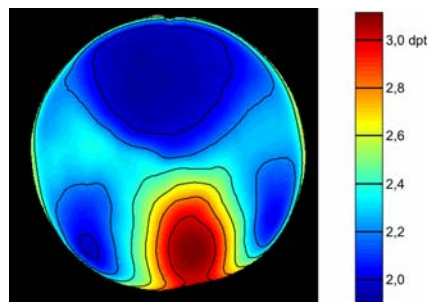


Abb. 6 Mittlerer Flächenbrechwert

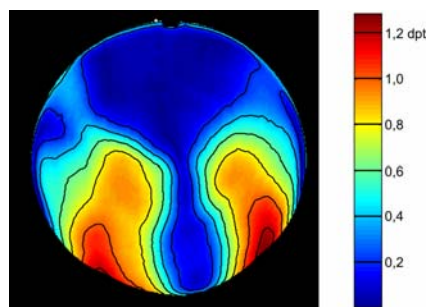


Abb. 7 Flächen-Astigmatismus

Wir haben die absolute Messgenauigkeit mittels sphärischer Präzisionslinsen getestet. Der systematische Fehler des Flächenbrechwertes ist selbst am Rand des Messfeldes kleiner als 0,02 dpt. Die Wiederholgenauigkeit liegt bei 0,003 dpt rms.

## 5 Zusammenfassung

Mit der Stereo-Deflektometrie sind absolute Messungen von spiegelnden Oberflächen möglich. Das Messobjekt kann beliebig im Messraum platziert werden. Eine vollflächige Messung dauert nur wenige Sekunden.

Gefördert von der Bayerischen Forschungsstiftung (AZ 450/01).

## Literatur

- [1] M. Knauer, J. Kaminski, G. Häusler: *Measurement of Eye Glasses with Phase Measuring Deflectometry*, p. 30, Annual Report, Lehrstuhl für Optik, Universität Erlangen-Nürnberg
- [2] M. Knauer, J. Kaminski, G. Häusler: „Phase Measuring Deflectometry: a new approach to measure specular free-form surfaces“, *Optical Metrology for Production Engineering*, Proc. SPIE 5457 (2004)
- [3] <http://www.3d-shape.com>