

Richtungscodierte Deflektometrie (RCD)

Rainer Seßner*, Prof. Dr. Gerd Häusler**

*Rodenstock GmbH, München

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

<mailto:rainer.sessner@rodenstock.de>

Die richtungscodierte Deflektometrie (RCD) ist ein Verfahren zur einfachen, schnellen Erfassung der Oberflächennormale spiegelnder Freiformflächen. Durch Codierung der Beleuchtungsrichtung und telezentrische Beobachtung kann eine präzise und eindeutige Bestimmung der Form realisiert werden.

1 Einführung

Bei deflektometrischen Verfahren, wie der Phasenmessenden Deflektometrie (PMD) wird einem zu vermessenden, spiegelnden Objekt ein beleuchtetes, diffus streuendes Muster gegenübergestellt. Das Muster wird auf der Oberfläche reflektiert und von einer Digitalkamera aufgenommen. Anhand der detektierten Muster wird auf Parameter der Oberflächenform geschlossen.

Diese Methoden sind besonders empfindlich für Oberflächenneigungen. Die gewonnenen Messdaten sind jedoch nicht eindeutig, denn das aufgenommene Muster ist nicht nur von der lokalen Oberflächenneigung, sondern auch vom Abstand der Oberfläche zum Muster abhängig [1].

Dieses Problem lässt sich durch Näherungsverfahren und Voraussetzungen an die zu vermessende Oberfläche [4], durch zusätzliche Abstandsmessung, oder wie in [3] durch eine zweite Kamera und anschließende Rekonstruktion der Fläche in einer rechnergestützten Auswertung lösen.

Im folgenden wird die Richtungscodierte Deflektometrie vorgestellt, bei der durch direkte Codierung der Beleuchtungsrichtung und definierte Beobachtungsrichtung durch Telezentrie die Oberflächennormale direkt und eindeutig bestimmt wird [2].

2 Das Prinzip

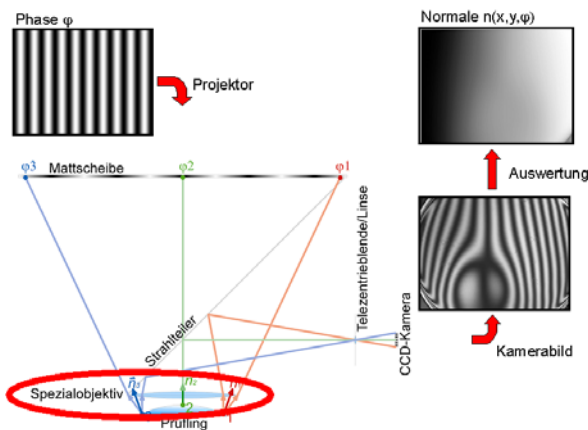


Abb. 1 Prinzip der Richtungscodierten Deflektometrie

Es werden Streifenmuster sinusförmiger Intensität auf eine Mattscheibe projiziert.

Ein speziell entwickeltes Objektiv im Abstand der Brennweite bildet das Muster nach unendlich ab. Dadurch wird jede Phase φ auf der Mattscheibe eindeutig in eine Beleuchtungsrichtung \vec{r} abgebildet \Rightarrow „Richtungscodierung“ (Abb. 2).

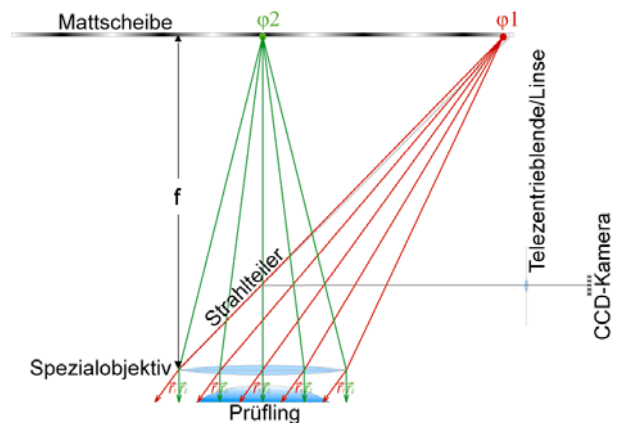


Abb. 2 Telez. Beleuchtung \Rightarrow Beleuchtungsrichtung \vec{r}

Mit einer telezentrischen Beobachtung werden die vom Prüfling reflektierten Streifenmuster aufgenommen. Der senkrechte Strahlengang definiert dabei eine konstante Sichtrichtung \vec{s} für das gesamte Messfeld (Abb. 3).

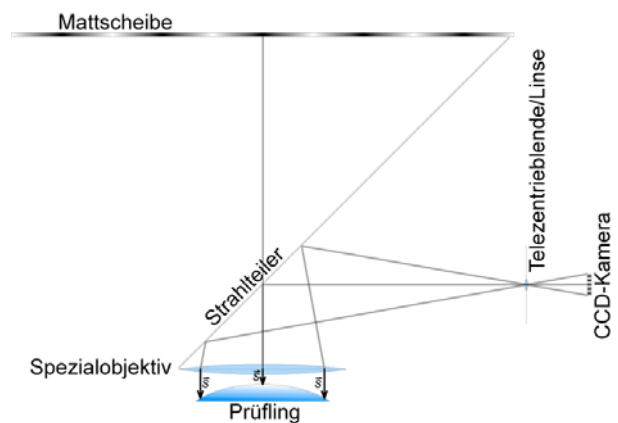


Abb. 3 Telezentrische Beobachtung \Rightarrow Sichtrichtung \vec{s}

Für jeden Punkt kann damit unabhängig vom Abstand der Oberfläche zur Mattscheibe aus der detektierten Phase φ , die direkt mit der Beleuchtungsrichtung \vec{r} korreliert, und der konstanten Sichtrichtung \vec{s} die Oberflächennormale \vec{n} berechnet werden.

$$\vec{n} = f(\varphi); \quad (1)$$

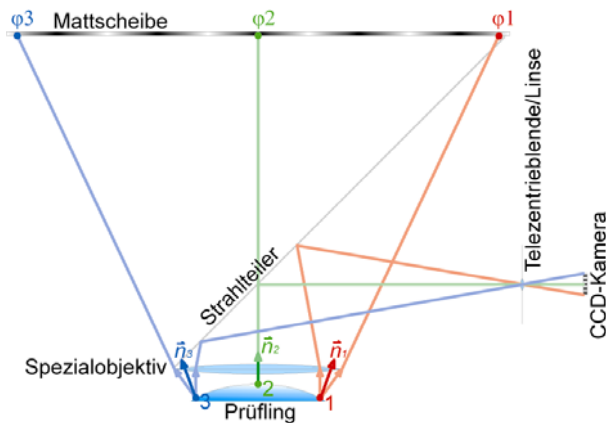


Abb. 4 Normalenberechnung für 3 unterschiedliche Normale mit codierter Beleuchtungsrichtung \vec{r} und senkrechter Sichtrichtung \vec{s}

3 Ergebnisse

Es wurde ein Laboraufbau realisiert, der auf dem Prinzip der Richtungscodierten Deflektometrie basiert (Abb. 5).

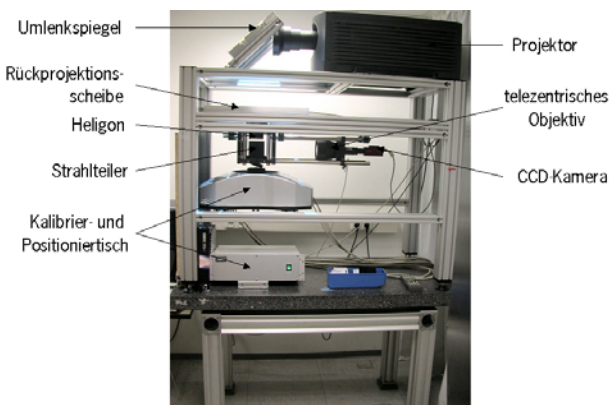


Abb. 5 Laboraufbau nach dem Prinzip der RCD

Die in diesem System realisierte laterale Auflösung ist bei einem Messfeld von 50mm x 40mm kleiner 50µm.

Die erreichte Genauigkeit in der Normalenbestimmung liegt unter 10arcsec. Mit dem verwendeten Standardobjektiv für den Beleuchtungsstrahlengang stand ein Messbereich von $\pm 5^\circ$ zur Verfügung. Es konnte nicht die gesamte Mattscheibe abgebildet werden.

Um das gesamte Muster abzubilden und damit einen Messbereich von $\pm 15^\circ$ zu realisieren wurde zusammen mit der Fa. Sill-Optics [5] ein Objektiv

entwickelt, das im Beleuchtungsstrahlengang einen Winkelbereich von $\pm 30^\circ$ abdeckt.

Damit die absolute Genauigkeit weiter bei 10arcsec liegt, muss die Parallelität der Strahlen über den gesamten Winkelbereich besser als 20arcsec sein. Die Aberrationen des Objektivs müssen deshalb bei einer Brennweite von 250mm unter 0.02mm gehalten werden (Abb. 6).

Das Messfeld wurde auf einen Durchmesser von 65mm vergrößert.

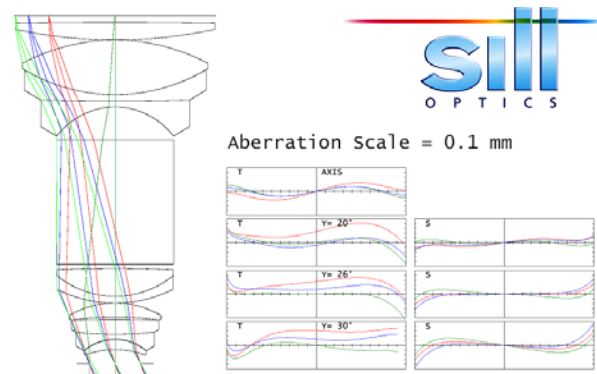


Abb. 6 Beleuchtungsstrahlengang mit Aberrationen

Die Beobachtung wird über den Strahlteiler in das System eingekoppelt und nutzt damit die ersten sechs Linsen der Beleuchtungsoptik mit.

4 Zusammenfassung

Mit der Richtungscodierten Deflektometrie ist eine eindeutige und absolute Normalenmessung möglich.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der einfachen Kalibrierung, außerdem gibt es durch die telezentrische Beobachtung keine perspektivische Verzerrung und mit dem neuen Objektivdesign ist ein robuster und schlanker Aufbau möglich.

Das Verfahren funktioniert auch in Transmission.

Literatur

- [1] R. Seßner, „Phasenmessende Deflektometrie (PMD) – ein hochgenaues Verfahren zur Vermessung spiegelnder Oberflächen“ Zulassungsarbeit, Universität Erlangen-Nürnberg, (2000)
- [2] R. Seßner, „Verfahren zum optischen Messen der Form spiegelnder Oberflächen.“ Patent DE 10014964 C2, (2000)
- [3] M. Knauer, „Absolute Phasenmessende Deflektometrie“, DGaO-Proceedings 2004, <http://www.dgao-proceedings.de/>
- [4] D. Pérard, J.Beyerer, „Automatische Inspektion spiegelnder Freiformflächen anhand von Rasterflexionen“, tm – Technisches Messen 64, S. 394-400, R. Oldenbourg Verlag, 1997
- [5] <http://www.silloptics.de/>