

Neue Ansätze zur Normung der Oberflächengüte optischer Komponenten unter Berücksichtigung neuerer Prüfverfahren

Michael Pfeffer, Hochschule Ravensburg-Weingarten, D-88250 Weingarten

Abstrakt: Neuere Oberflächenprüfverfahren wie Rastkraftmikroskopie im Nicht-Kontakt-Modus (NC-AFM) und Weisslichtinterferometrie gestatten die Ermittlung des 2D-Profiles einer optischen Oberfläche. Die bisherige Normung der Oberflächengüte nach ISO 10110-8 basiert jedoch im Wesentlichen auf einer eindimensionalen Abtastung mittels Tastschnittverfahren. Der Beitrag zeigt welche Bedeutung zusätzliche Information wie das zweidimensionale Leistungsdichtespektrum (2D-PSD) sowie der quadratische Flächen-Mittenrauwert Sq für die Prüfung optischer Komponenten haben. Abgeleitet aus den theoretischen Erkenntnissen präsentiert der Beitrag neue Ansätze zur Normung der Oberflächenfehler und der Oberflächengüte optischer Komponenten.

Motivation:

Die aktuelle Ausgabe der ISO 10110-8 aus dem Jahre 2000 [1] enthält zwei wesentliche Mängel: erstens, die Angaben für die Oberflächengüte basieren auf eindimensionalen Prüfmethode, wie z.B. dem Tastschnittverfahren, und zweitens, obwohl ISO 10110 lediglich eine Zeichnungsnorm ist, werden kaum Angaben bzw. Verweise zur Messmethode gemacht. Neuere 2D-Prüfverfahren gestatteten die direkte Ermittlung des quadratischen Flächenmittenrauwerths Sq , sowie das zweidimensionale Leistungsdichtespektrum 2D-PSD, was unmittelbar die Angabe der integrierten Gesamtstreuung TIS und der bidirektionalen Reflektanzverteilungsfunktion BRDF einer Oberfläche ermöglicht [2].

Beschreibung der Oberflächengüte mittels der 2D-PSD:

Für die folgende Ausführung wird das von Church vorgeschlagene Modell zur Beschreibung des Leistungsdichtespektrums optischer Oberflächen zugrunde gelegt [3].

Das Profilspektrum $S(f_x)$ ist die natürliche Statistik der Profilmessung wohingegen das Flächenspektrum $S(f_x, f_y)$ in Zusammenhang mit Oberflächenstreuung und anderer flächenabhängiger Eigenschaften von Oberflächen in Erscheinung tritt [2, 4]. f_x und f_y sind dabei die Raumfrequenzen der Oberflächenrauheit in x - bzw. y -Richtung. Diese beiden Spektren sind über die Beziehung

$$S(f_x) = 4 \int_0^{\infty} S(f_x, f_y) d f_y \quad (1)$$

miteinander verbunden.

Obwohl diese beiden Spektren miteinander in Beziehung stehen, habe sie ganz unterschiedliche Dimensionen: $S(f_x)$ hat die Einheit eines Volumens, $S(f_x, f_y)$ hat die Einheit Länge-hoch-vier. Das Profilspektrum ist dabei jedoch nicht einfach ein Spezialfall des Flächenspektrums; es gilt deshalb: $S(f_x) \neq S(f_x, 0)$.

Im Allgemeinen lässt sich Gl. (1) ohne zusätzliche Information über die Form des Flächenspektrums nicht einfach invertieren um das Flächenspektrum als Funktion des Profilspektrums darzustellen.

Es gibt jedoch zwei besonders interessante Fälle: die (sinusförmig) gewellte Oberfläche und die statistisch-isotrope (Random-) Oberfläche. Im letzteren Fall gilt:

$$S(f_x, f_y) = S(f); \text{ wobei } f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (2)$$

Damit lässt sich Gleichung (1) wie folgt darstellen:

$$S(f_x) = 4 \int_{f_x}^{\infty} \frac{f}{\sqrt{f^2 - f_x^2}} S(f) df \quad (3)$$

Die Lösung dieses Integral gestattet dann die Darstellung des Flächenspektrums als Funktion des Profilspektrums:

$$S(f) = -\frac{1}{2\pi} \int_{f_x}^{\infty} \frac{df_x}{\sqrt{f_x^2 - f^2}} \cdot \frac{d}{df_x} S(f_x) \quad (4)$$



Abb.1: Vorschlag für die Darstellung der Oberflächengüte spiegelnder Oberflächen mittels 2D-PSD (links) und des quadratischen Flächenmittenrauwerths Sq (rechts) nach ISO 10110-8

In dem von Church vorgeschlagenen ABC-Modell [3-5] muss zunächst das Profilspektrum an ein analytisches Modell angepasst werden. Daraus wird dann das Flächenspektrum dadurch abgeschätzt, dass dieser Ausdruck dann in Gl. (4) eingesetzt wird.

Dabei sind die Fitting-Parameter A , B , und C die fertigungsrelevanten Parameter des Modells:

$$S(f_x) = \frac{A}{[1 + (B f_x)^2]^{C/2}} \quad (5)$$

Dies entspricht dann einem zweidimensionalen Spektrum von:

$$S(f) = \frac{A'}{[1 + (B f)^2]^{(C+1)/2}} \quad (6)$$

Dabei ist

$$A' = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{C+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{C}{2}\right)} \cdot AB \quad (7)$$

An der Grenze für große B (Grenze großer Korrelationslängen) reduzieren sich die Gln. (5-7) für die 2D-PSD zu einer fraktal-ähnlichen Form:

$$S(f) = 2D - PSD = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{B+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{B}{2}\right)} \cdot \frac{A}{f^{B+1}} \quad (8)$$

In Analogie zu ISO 10110-8 entspricht A dem Modellparameter A der Gln. (5-7) und beschreibt das eindimensionale Leistungsdichtespektrum bei der Frequenz $f_x=1$ [1]. A lässt sich auch als Maß für den Poliergrad betrachten. Unter der Annahme dass der Parameter $B=2$ ist, finden sich in [1] hierzu die Angaben $A=10^{-8} \mu\text{m}$ (poliert), $A=10^{-9} \mu\text{m}$ (feinpoliert), $A=10^{-10} \text{mm}$ (feinstpoliert).

Demgemäß entspricht B dem Modellparameter C der Gln. (5-7) und beschreibt die Geradensteigung der gefitteten Messwertkurve im Falle des Verlaufs gemäß dem inversen Potenzgesetz. Im Falle von $B=2$ nimmt die 2D-PSD also die Maßeinheit Mikrometer-hoch-vier an.

Literatur:

- [1] ISO 10110-8: Optics and optical instruments, Part 8: Surface texture, 2000.
- [2] J. C. Stover, *Optical Scattering: Measurement and Analysis* SPIE Press, 1995.
- [3] E. L. Church and P. Z. Takacs, BNL-4903 5, Informal Report, (1994).
- [4] E. L. Church and P. Z. Takacs, Proc. SPIE 1160, 323-336 (1989).
- [5] E. L. Church, *Fractal surface finish*, Applied Optics 27(8), 1518-1526 (1988).