

Reflektometrie – ein flexibles und robustes Messverfahren für unterschiedlichste Anwendungen im Mikro- und Makrobereich

C. v. Kopylow*, T. Bothe*, M. Schulte*, W. Li**, N. Köpp**

* BIAS – Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH

** VEW – Vereinigte Elektronikwerkstätten GmbH, Bremen

<mailto:vonkopylow@bias.de>

Bei der Reflektometrie handelt es sich um ein nicht kohärentes, flexibles Messverfahren, das in einem industriellen Umfeld für sehr unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden kann. Es werden angepasste Aufbauten und Messergebnisse für den Einsatz in verschiedenen Skalenbereichen vorgestellt.

1 Prinzip der Streifenreflexion

Bei dem Verfahren der Streifenreflexion wird ein Referenzmuster, das beispielsweise durch einen TFT-Monitor erzeugt wird, durch das zu untersuchende Objekt gespiegelt und anschließend mit einer Kamera aufgenommen. Mittels Phasensensortechnik ist es möglich, bei bekannter Position von Monitor und Kamera eine eindeutige Zuordnung eines Monitorpunktes zu einem Kamerapixel herzustellen und daraus lokal aufgelöst die Oberflächenwinkel des Messobjektes zu ermitteln (Abb. 1).

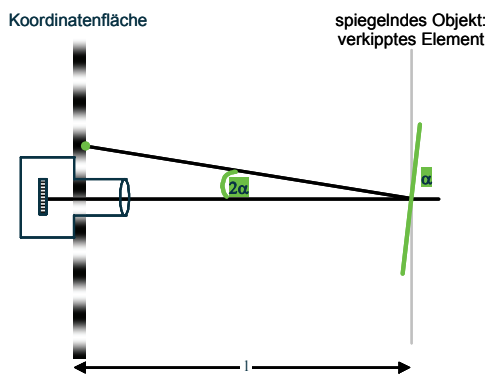


Abb. 1 Idealisiertes Modell der Streifenreflexion

Aus diesen Oberflächengradienten lassen sich rechnerisch sowohl die Oberflächenform als auch ggf. die Oberflächenkrümmung bestimmen. Dabei ist es möglich, Tiefenaufösungen bis hinunter zu einem Nanometer zu erreichen, die laterale Auflösung hängt von der Größe des Messfeldes und der Anzahl der Kamerapixel ab [1],[2],[3].

2 Systeme für unterschiedliche Skalenbereiche

Bei der Realisierung hängt die Konfiguration eines Systems stark von der Größe des Messfeldes auf dem zu vermessenden Objekt ab. So muss insbesondere die Größe des Monitors und der Abstand richtig gewählt werden. Im Folgenden werden verschiedene Systeme für unterschiedliche Skalenbereiche vorgestellt. Die laterale Skalengröße reicht dabei von Metern bis in den Mikrometerbereich (Tab. 1).

Skala	Beispiel
m	Solarspiegel
dm	Flugzeugteile
cm	Lackstrukturen
mm	Brillenstrukturen
µm	Mikropolierte Rillen

Tab. 1 Beispiele für Anwendungen in verschiedenen Größenbereichen

Das Anwendungsbeispiel in Abb. 2 zeigt ein System zur Vermessung von Spiegeln innerhalb thermischer Solaranlagen. Bei der Messung werden insbesondere die Sollgeometrie mit der Istgeometrie verglichen und Fehlstellen detektiert. Außerdem zeigt das System unterschiedliche Mikrostrukturen für verschiedene Glassorten.

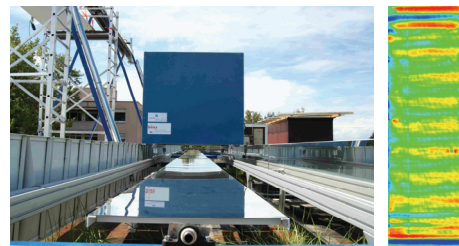


Abb. 2 Messsystem zur Qualitätsüberprüfung von Solarspiegeln, Abweichung der Krümmung von der Sollgeometrie durch die Spiegelaufnahme

Das Beispiel in Abb. 3 zeigt den Einsatz der Reflektometrie bei der Untersuchung von Unebenheiten im Bereich der Niete eines Flugzeugumpfes.

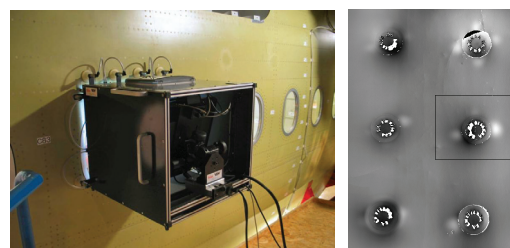


Abb. 3 Vermessung einer Flugzeugoberfläche, Abweichungen von der Form durch Nietaufwölbungen

Das System wird dazu per Vakuum an der Oberfläche des Flugzeugs fixiert und die Position des Messkopfes feinjustiert. Das Ergebnisbild in Abb. 3 zeigt die Form der Flugzeugoberfläche. Die Abweichungen im markierten Bereich betragen PV bis zu 60 μm .

Ein sehr interessanter Bereich für das Messverfahren liegt in der Beurteilung der Qualität von lackierten oder anderweitig behandelten Oberflächen: In Abb. 4 ist die Untersuchung des Lackes auf einer Autotür mit Hilfe eines mobilen Systems zu sehen.

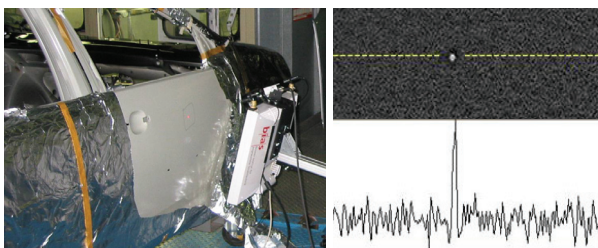


Abb. 4 Untersuchung von Lackoberflächen an Autos, Fehlstellendetektion durch Auswertung der Krümmung

Es können leicht Fehlstellen im Lack detektiert werden (Abb. 4 rechts). Gleichzeitig wird die Struktur der unerwünschten Orangenhaut sichtbar. Diese kann durch gezielte Anpassung der Partikelgröße der Füllstoffe in aufeinander folgenden Lackschichten verringert werden. Abb. 5 zeigt für unterschiedliche Lackschichten vom Rohblech bis zum Klarlack die mittels Reflektometrie vermessenen Spektren der Strukturgrößen. Diese werden durch die logarithmischen Kennzahlen w_a (0,1 – 0,3 mm) bis w_d (3 – 10 mm) charakterisiert.

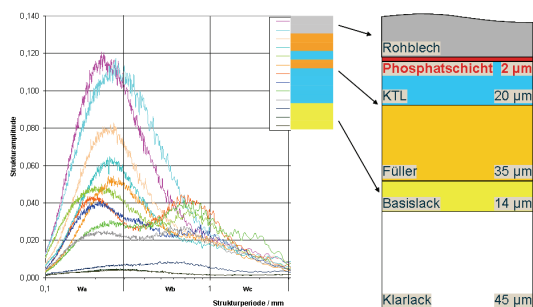


Abb. 5 Ermittlung der Ortfrequenzen für unterschiedliche Lackschichten im Automobilbau

Eine Alternative zu den bisher eingesetzten taktischen Systemen stellt die Reflektometrie im Bereich der Qualitätssicherung von optischen Gläsern dar. Insbesondere können jetzt mit Standardsystemen wie in Abb. 6 auch Freiformlinsen vollflächig und schnell vermessen werden. Zum einen können die für die Optik relevanten Krümmungsdaten durch eine einfache Ableitung aus den Messdaten gewonnen und so die optische Stärke der Gläser ermittelt werden, zum anderen kann auch die Qualität der Politur nach Entfernen der Grobform aus den Krümmungsdaten sehr gut bewertet werden. Damit lässt sich der Fertigungsprozess optimieren.

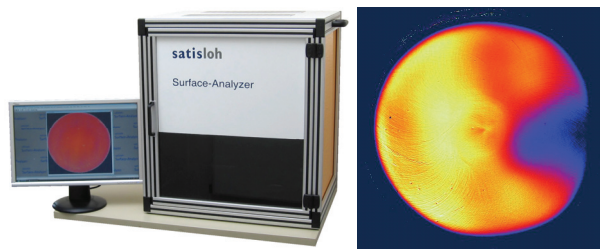


Abb. 6 Standardmessgerät zur Untersuchung von Freiformbrillengläsern, Krümmungsbild einer Freiformlinse

Um für die Untersuchung von mikrostrukturierten Oberflächen eine höhere laterale Auflösung zu gewinnen, kann nicht mehr mit einem Standardaufbau gearbeitet werden, bei dem Referenzfläche (Monitor) und Kamera nebeneinander angeordnet sind. Hier werden Anordnungen gewählt, bei denen die Referenzfläche über Strahlteiler eingespiegelt wird. In Abb. 7 ist ein Aufbau der Größe 20 x 5 x 5 cm^3 zu sehen, bei dem ein OLED-Display als Referenzfläche dient. Als Messbeispiel sind mikropolierte Rillen auf einer Metalloberfläche zu sehen.

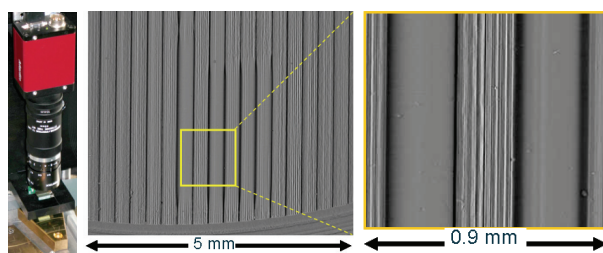


Abb. 7 Vermessung von Mikrostrukturen: Messaufbau mit OLED-Display, Krümmungsdaten von teilweise mikropolierten Rillen

Für alle Systeme gilt: Sie sind flexibel anpassbar und haben auch unter rauen Umgebungsbedingungen Tiefenaufösungen im Nanometerbereich, wo bisher nur interferometrische Techniken in Frage kamen. Trotz dieser hohen Tiefenauflösung können Objekte mit mehreren mm Tiefe vermessen werden. Dies entspricht einem Dynamikbereich von $> 10^6$.

Gefördert durch DFG SFB 747 Teilprojekt B5

Literatur

- [1] Bothe, T.; Li, W.; von Kopylow, C.; Jüptner, W.P.O.: High-resolution 3D shape measurement on specular surfaces by fringe reflection. Proc. SPIE. 5457, 2004, S. 411-422
- [2] Bothe, T.; Li, W.; Gesierich, A.; von Kopylow, C.; Jüptner, W.: Streifenreflexion – 3D-Oberflächentopometrie an glänzenden Oberflächen. Proc. Oldenburger 3D-Tage 2005, S. 38-53
- [3] Bothe, T.; Li, W.; von Kopylow, C.; Jüptner, W.: Fringe Reflection for high resolution topometry and surface description on variable lateral scales. In: Osten, W. (Hrsg.): Fringe '05, Springer, 2005, S. 362-371