

Abbildung 1: Prinzip der Deflektometrie.

## Glänzende Einsichten – Deflektometrie zur Inspektion spiegelnder Oberflächen

### Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung

Fraunhoferstraße 1  
76131 Karlsruhe

#### Ansprechpartner Mess-, Regelungs- und Diagnosesysteme

Prof.-Dr. Michael Heizmann  
Telefon +49 721 6091 329  
michael.heizmann@iosb.fraunhofer.de

Dr. Stefan Werling  
Telefon +49 721 6091 316  
stefan.werling@iosb.fraunhofer.de

[www.iosb.fraunhofer.de](http://www.iosb.fraunhofer.de)

Bei Oberflächen, die in der produzierenden Industrie eingesetzt werden oder einfach nur »schön« aussehen sollen wie z. B. Karosserieteile, spielt die spiegelnde (gerichtete) Reflexion oft die entscheidende Rolle. Die Inspektion spiegelnder Oberflächen stellt in der Praxis jedoch besondere Anforderungen: Einerseits sind die meisten gängigen Inspektionsverfahren – z.B. die Streifenprojektion – auf diffuse Reflexion angewiesen. Andererseits können die Ergebnisse solcher Verfahren nicht ohne Weiteres zur Bewertung spiegelnder Oberflächen verwendet werden, da der Kunde die Qualität anhand von Spiegelungen der Umgebung in der Oberfläche begutachtet. Deflektometrische Verfahren schließen diese Lücke in der Mess- und Prüftechnik.

Mit *Deflektometrie* werden allgemein alle Verfahren zur Gewinnung von Gestaltinformationen über spiegelnde Oberflächen durch automatische Auswertung von Spiegelbildern bekannter Szenen bezeichnet

(vgl. Abb. 1). Aus den Verformungen der Spiegelbilder können dann Rückschlüsse über die Gestalt der Oberfläche gezogen werden.

Die deflektometrischen Verfahren lassen

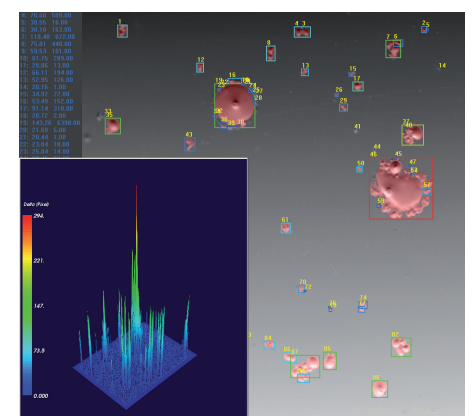


Abbildung 2: Inspektion beschichteter Metalloberflächen: Defekte unterschiedlicher Größen und Ausprägungen werden detektiert und bewertet.

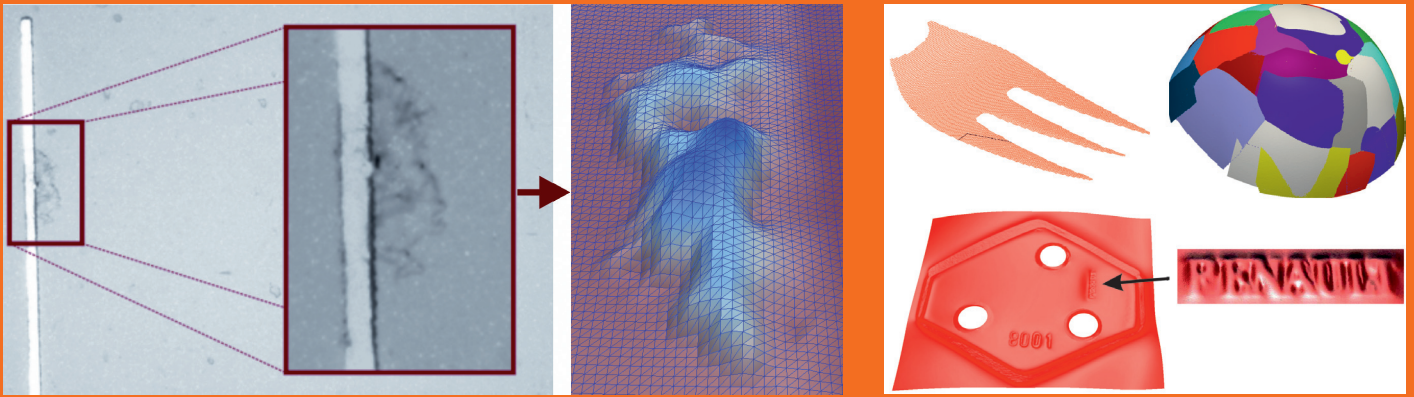


Abbildung 3: Rekonstruktion zur Vermessung lokaler Beschichtungsdefekte

Abbildung 4: Rekonstruktion aus mehreren zusammengeführten deflektometrischen Rekonstruktionen.

sich je nach Zusatzwissen einteilen:

a) Im einfachsten Fall beobachtet die Kamera ein einzelnes vorab bekanntes Muster, wobei die Auswertung durch direkten Vergleich mit einem Sollzustand eine Klassifizierung in »In-Ordnung« und »Nicht-In-Ordnung« erlaubt.

b) Werden, z. B. mittels einer Bildserie, die einzelnen Punkte des Musters kodiert, so gelingt eine sog. deflektometrische Registrierung der Monitorpositionen zu den einzelnen Beobachtungssichtstrahlen. Dieser Auswertezugang ermöglicht eine qualitative Oberflächeninspektion durch Anwendung von Methoden der »klassischen« Bildverarbeitung auf der deflektometrischen Registrierung.

Als Beispiel wird in Abbildung 2 die Auswertung krümmungsäquivalenter Merkmale von räumlichen Defekten beschichteter Metalloberflächen dargestellt. Unschwer erkennt man das sehr gute Signal-zu-Rausch-Verhältnis dieser Merkmalsbilder (dargestellt als 3-D-Höhenbild). Diese Methodik eignet sich insbesondere zur schnellen und zuverlässigen Inspektion lackierter Bleche.

Sind in einem weiteren Schritt eine Systemkalibrierung sowie mindestens ein Oberflächenpunkt bekannt, so gelingt eine vollständige Rekonstruktion der spiegelnden Oberfläche. Aus einer mathematischen Perspektive entspricht diese Rekonstruktion der Lösung einer nichtlinearen partiellen Differ-

entialgleichung, wozu verschiedene Rekonstruktionsansätze existieren. Die Lösung dieses Rekonstruktionsproblems ist die Voraussetzung für die Vermessung spiegelnder Oberflächen mittels Deflektometrie.

Daraus eröffnen sich zwei Anwendungsmöglichkeiten: die Vermessung lokaler topographischer Defekte sowie die 3-D-Modellgenerierung großer und komplex geformter Objekte. Dabei zeigt sich, dass eine Höhenauflösung topographischer Strukturen im  $\mu\text{m}$ -Bereich problemlos erreichbar ist.

In den Abbildungen 3 und 4 werden Beispiele für diese beiden Strategien gezeigt. Damit wird die Deflektometrie zu einem Messverfahren für spiegelnde Oberflächen und erlaubt die quantitative Bewertung, z. B. von Welligkeiten oder lokalen Defekten.

Industrielle relevante Objekte sind häufig großflächig oder komplex geformt. Zu deren Inspektion wird die Gesamtoberfläche in einzelne Messfelder parkettiert. Die erhaltenen Einzelmessungen lassen sich dann zu einer kompletten Rekonstruktion der Oberfläche kombinieren. Zur mechanischen Positionierung des aus Schirm und Kamera bestehenden Sensorkopfs wird ein Industrieroboter verwendet (vgl. Abbildung 5).

Zusammenfassend zeigen die am Fraunhofer IOSB erarbeiteten Verfahren zur deflektometrischen Inspektion von spiegelnden und teilspiegelnden Oberflächen, dass die Deflektometrie inzwischen für Anwendun-

gen in der industriellen Qualitätssicherung geeignet ist. Damit steht erstmals eine optische Inline-Messtechnik für solche Oberflächen zur Verfügung, welche die klassische qualitative Prüfung um eine quantitative Messung ergänzt und damit eine robuste Defekterkennung und -bewertung ermöglicht.

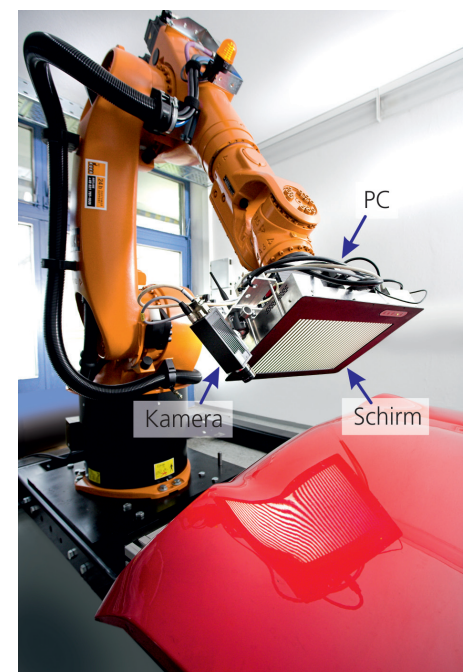


Abbildung 5: Deflektometrisches Inspektionssystem zur Prüfung großer Objekte.