

# Nah und doch so fern

## Faseroptische Messsysteme inspizieren schwer erreichbare Flächen

Die NASA vermisst in ihrem Labor für Antriebssysteme die Dicke von flüssigem Stickstoff in kryogenen Kammern. Kein Mensch könnte bei diesen tiefen Temperaturen ein gewöhnliches flächenerfassendes Profilometer bedienen. Die Lösung ist daher ein faseroptisches Interferometer, bei dem lediglich die Sonde in der extremen Umgebung verbleibt. Das Interferometer selbst kann hunderte von Metern entfernt stehen, denn die Signalqualität bleibt auch über die Distanz erhalten.



© Rodrigo Saldom/Flickr

Standard-Profilometer, die Oberflächen mit Hilfe der Weißlicht-Interferometrie prüfen, werden in der Messtechnik seit langem für exakte Messungen und die Visualisierung von Oberflächeneigenschaften verwendet. Trotzdem benötigt eine steigende Anzahl von Anwendungen speziell angepasste Lösungen, die über die Fähigkeiten der Flächeninterferometer hinausgehen. Beispiele sind das Vermessen langer Profile oder durchsichtiger Schichten auf schnell bewegten Bändern, oder nicht verbundene, große Flächen. Manche Messungen sind mit flächenerfassenden Interferometern besonders schwierig durchzuführen, wie zum Beispiel die Messung der Innenseiten von Röhren mit kleinen Durchmessern, zylindrischen Oberflächen sowie konkaven und konvexen sphärischen Objekten. Schwierigkeiten sind auch dann zu erwarten, wenn sich das Prüfobjekt

in radioaktiver oder extrem kalter oder heißer Umgebung befindet. Auf diese Herausforderungen reagiert das kanadische Unternehmen Novacam mit einem faseroptischen Interferometrie-System und entwickelt dafür eine Reihe von kontaktfreien Sonden für Labor- und Prozessmessungen. Der Vorteil: Die mit optischen Fasern verbundene Mess-Sonde kann weit weg vom Gehäuse des Interferometers installiert werden. Sie ist so klein gebaut, dass sie auf den meisten Trägerinstrumenten montiert werden kann. Das erleichtert die Integration in komplexen Produktionsanlagen und die Messung schwer erreichbarer Flächen. Das System kann auch größere ununterbrochene Flächen inspizieren. Durch den Einsatz eines optischen Multiplexers, der mehrere Probensignale in einem Interferometer verarbeitet, können bei der Integration Kosten eingespart werden.

### Das Messprinzip

Das Weißlicht-Interferometer nutzt eine Breitbandlichtquelle mit einer Wellenlänge von 1.300 nm. Das Licht, das vom Objekt reflektiert wird, bildet Interferenzmuster. Über das Muster lässt sich die Entfernung von der Sonde bis zum Objekt mit 1 µm Genauigkeit bestimmen. Anders als Flächeninterferometer oder Linienscanner, die kleine Flächen oder Linien erfassen, misst das faseroptische Interferometer Punkte. Daher wird es zum Abtasten von Flächen meist mit einem mechanischen Scanner ausgestattet.

### Welche Oberflächen?

Jede Oberfläche, fest oder flüssig, kann mit Sub-Mikrometer-Auflösung gescannt, in 3D dargestellt und charakterisiert werden. Dazu gehören Oberflächen mit steilen Flanken und hohen Aspekt-Verhältnissen (Tiefe/Breite) wie z.B. die Kanäle von Brennstoffzellen (siehe Abb. 1), Kühlkanalöffnungen von Turbinen-Schaufeln oder Rillen auf CMP-Blöcken, die in der Halbleiterfertigung für das Polieren von Wafern genutzt werden. Solche Oberflächen sind eine Herausforderung für konkurrierende Technologien. So haben Triangulationssensoren beispielsweise Schwierigkeiten bei Oberflächen mit ausgeprägten Tiefen und Höhen. Weder Triangulation noch farb-konfokale Systeme bieten die hohe Signalempfindlichkeit und Robustheit der Weißlicht-Interferometrie, wenn es um die Messung von hohen Aspekt-Verhältnissen geht. Das Novacam-Profilometer sendet und detektiert reflektiertes Licht mit derselben Sonde. Es ist daher in der Lage, auch Öffnungen wie Rillen und Krater, deren Tiefe mehrmals ihre Breite übertreffen, zu messen.

### Messungen

Die Sonde tastet die Oberfläche mit einem Arbeitsabstand zwischen 1 mm und 150 mm ab. Die Abtastfrequenz liegt je nach Modell zwischen 1 kHz und 30 kHz. Tausende von Lichtinterferenz-Messungen bilden 3D-Punkteflächen, die an-

schließend in der Produktion zur Fehlererkennung ausgewertet werden. Anhand der Punktwolken berechnet die mitgelieferte Anwendungssoftware oberflächencharakterisierende Parameter, einschließlich Oberflächenrauheit und Welligkeit. Für Oberflächenfehler die durch Verschleiß oder Abnutzung verursacht sind, bestimmt die gleiche Anwendungssoftware den Volumenverlust.

Wird das Interferometer im Querschnitt-Modus verwendet, liefert es Querschnittsbilder von durchsichtigen Beschichtungen oder Folien, deren optische Dicke zwischen 10 µm und 8 mm liegt. Aufgrund der unterschiedlichen Transparenz und Lichtbrechung können die Materialien differenziert werden. Die Inspektion von intraokulären Linsen oder Kontaktlinsen wird so stark vereinfacht: Das Interferometer liefert ein Querschnittsbild (Abb. 2) und berechnet die Materialstärke an jedem beliebigen Punkt. Es bildet entweder die Volumendichte oder 3D-Isosflächen ab. Die Ergebnisse können auf Risse, Blasen und andere Defekte hin untersucht werden. Gleichzeitig kann auch die Linsenkrümmung berechnet werden.

### Schwer zugängliche Flächen

Sollen schwer erreichbare Oberflächen, wie die Innenkammern von Motorkomponenten für die Luftfahrt inspiziert werden, vermisst man die Oberflächen bislang

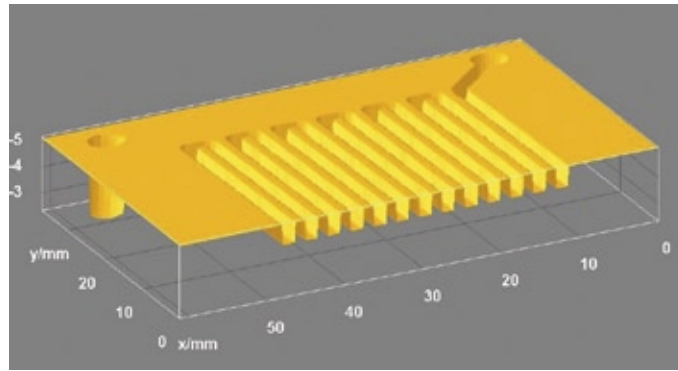


Abb. 1: 3D-Rendering einer Brennstoffzelle, ein Beispiel für ein extremes Aspekt-Verhältnis

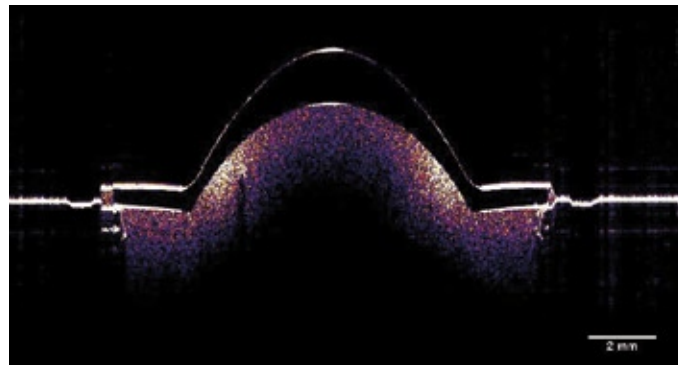


Abb. 2: Querschnitt einer Intraokularlinse

mit Flächen-Profilometern anhand der abgegossenen Replik. Im Gegensatz dazu sind faseroptische Geräte mit Glasfaser-Sonden ausgestattet, die die Innenoberflächen von Rohren und anderen engen Räumen direkt kontrollieren. Die Durchmesser der Sonden liegen je Modell zwischen 0,9 mm und 5 mm. Die Sonden werden meist auf zwei oder drei linearen oder drehenden Achsen montiert oder mit Koordinaten-Messmaschinen oder CNC-Systemen integriert.

Abbildung 3 zeigt einen Scan-Arm, der mit seiner

seitlich messenden Sonde zwischen zwei dicht aneinander liegende Schaufeln eines Luftfahrt-Motors passt. Kanten und Fläche der Turbinenschaufeln können so präzise inspiziert werden. Interferometrische Sonden können leicht den Innenraum einer Diesel-Einspritzdüse, die zylindrischen Hohlräume eines Motorblocks, oder ein Gewehrlauf vermessen und Defekte im Mikrometer-Bereich entdecken.

Die Inspektion von Rohren mit Durchmessern von nur 2–10 mm ist mit flexiblen und bis zu 2 m langen Sonden mit

seitlichem Messwinkel von 90° möglich. Diese Pullback-Sonden drehen den Abtaststrahl mit hoher Umdrehungszahl und synchron zur langsamen geradlinigen Rückzugsbewegung. Die erwünschte Dichte der 3D-Punktwolken wird mit der Einstellung der Scangeschwindigkeiten erreicht.

### Sonden in Aktion: Im Prozess und im Labor

Da Glasfaser-Sonden hunderte von Metern von dem Interferometer-Gehäuse entfernt sein können, und dies ohne messbaren Signalverlust, wird eine Vielzahl von Applikationen möglich. In In-line-Messsysteme installiert, scannen die Sonden auf linearen Translationstischen quer über schnell bewegende Fließbänder. Das Gerät liefert je nach Bedarf Profil- oder Dickenmessungen in Echtzeit.

2D-Galvo-Sonden (mit Licht-Umlenkspiegel auf einem Galvanometer angebracht) eignen sich für das schnelle Scannen von kleinen Flächen (bis zu 15 x 15 mm) oder kleinen Volumen. In Kombination mit linearen Tischen kann ein Band von beliebiger Länge und bis zu 15 mm Breite gemessen werden. Damit werden elektronische oder MEMS-Komponenten sowie optische Linsen kontrolliert.

Die robusten Sonden können auch in extremen Umgebungen installiert werden, einschließlich radioaktiver Kammern, sehr heißen Umgebungen (in der Nähe von geschmolzenem Metall) und Kryo-Umgebungen. So wird auch die Simulation von Welt-raumbedingungen bei der NASA möglich.

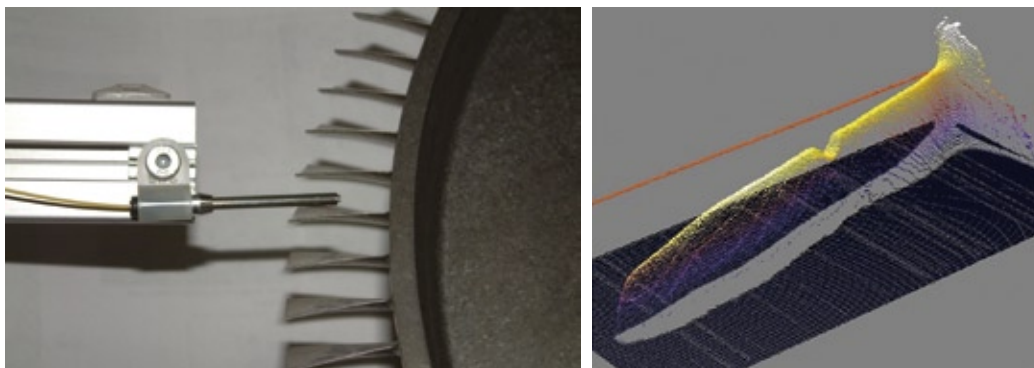


Abb. 3: Eine Glasfaser-Sonde an einem Scan-Arm inspiziert die Oberfläche von integrierten Schaufeln (Anwendung in der Luftfahrtindustrie). Die rekonstruierte Oberfläche ermöglicht die Inspektion nach Oberflächenfehlern oder Verschleiß.

► **Autor**  
Vuk Bartulovic, President

► **Kontakt**  
Novacam Technologies, Quebec,  
Kanada  
Tel.: 001/514/694-4002  
info@novacam.com  
www.novacam.com