

Interferometer üben den Spagat

Von Messgeräten wird auch bei besonders kompakten Abmaßen ein Höchstmaß an Präzision erwartet. Dass miniaturisierte Interferometer auch in anspruchsvollen Anwendungsfällen überzeugen können, zeigt die Innenmessung medizinischer **KANÜLEN** sowie die Messung von **BIPOLARPLATTEN** von Brennstoffzellen.



**Bild 1. Messsystem
zur innenliegenden
Rauheitsmessung
in Z-Richtung**

FRANK DEPIEREUX UND PAWEL DRABAREK

Interferometer sind in der Lage, auch kleinste geometrische Abweichungen zu erfassen. Ihre Anwendung reicht von der Qualitätskontrolle in der Fertigung bis hin zur Überwachung kritischer Prozesse.

Punktmessende Interferometer lassen sich klassifizieren als Freistrahl- oder faseroptische Interferometer, wobei sich letztere sehr gut zur Miniaturisierung eignen. Interferometer können als Mess-Interferometer und als Kontroll-Interferometer eingesetzt werden. Als Mess-Interferometer erfassen sie beispielsweise Topografie, Form oder Rauheit von

Objekten mit Toleranzen im Sub- μm -Bereich (**Bild 1**). Dies ist besonders relevant in Branchen, in denen feine Oberflächendetails entscheidend für die Produktqualität sind, beispielsweise in der Halbleiter- oder Optikindustrie.

Als Kontroll-Interferometer werden sie zur Überwachung und Steuerung von Maschinenachsen eingesetzt. Ihre Fähigkeit, kleinste Abweichungen und Bewegungen mit hoher Genauigkeit zu messen, ist damit entscheidend für die Aufrechterhaltung der Präzision in automatisierten Fertigungsprozessen. Die Miniaturisierung ermöglicht es, diese Interferometer direkt in Produktionsanlagen und Maschinen zu integrieren, was eine kontinuierliche, präzise Überwachung ohne Unterbrechung des Produktionsprozesses erlaubt.

Mess-Interferometer und Anwendungsfälle

Die faseroptischen Distanzmesssysteme der Serie »FDM« des Aachener Unternehmens Fionec messen Abstand, Form und Rauheit berührungslos und mit Sub-nm-Auflösung. Diese Systeme basieren auf kurzkohärenter Interferometrie und sind besonders für die Anwendungen in der Präzisions- und Ultra-Präzisionstechnik geeignet. Dabei erreichen die flexiblen, faseroptischen Miniatursonden auch schwer zugängliche Bereiche und sind nahezu unabhängig von Material und Oberflächenbeschaffenheit einsetzbar (**Bild 2**). Sie eignen sich für die Charakterisierung von technischen Oberflächen, zur hochgenauen Messung von Form- und Lagetoleranzen sowie für Messungen in kleinen und schwer zugänglichen

> KONTAKT

HERSTELLER
fionec GmbH
D-52072 Aachen
Tel. +49 241 8949 8840
info@fionec.com
www.fionec.com

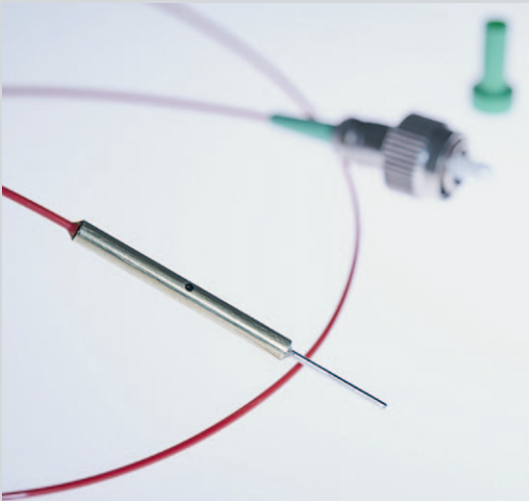


Bild 2. Beispiel einer miniaturisierten Messsonde

Räumen. Auf Basis von bis zu 40 000 Messpunkten pro Sekunde eignen sich die Systeme insbesondere auch für die Erfassung von 3D-Punktewolken.

Medizinische Kanüle mit Doppelschliff

Ein anspruchsvoller Anwendungsfall derartiger Interferometer ist die Messung der Innenkontur medizinischer Kanülen (**Bild 3**). Hierbei kommt das »FDM-2«-System mit einer dreidimensionalen Kinematik und einer miniaturisierten Messsonde zum Einsatz, um detaillierte Daten über die Form, Rauheit und mögliche Beschädigungen der Kanülen zu liefern. Die erzielte Punktewolke umfasst 5,5 Millionen valide Messpunkte (**Bild 4**).

- Kontext: Bei diesem Use-Case wird die Innenkontur medizinischer Kanülen mit einem Innendurchmesser von 0,9 mm gemessen,
- Ziel: Charakterisierung der Form, Rauheit und

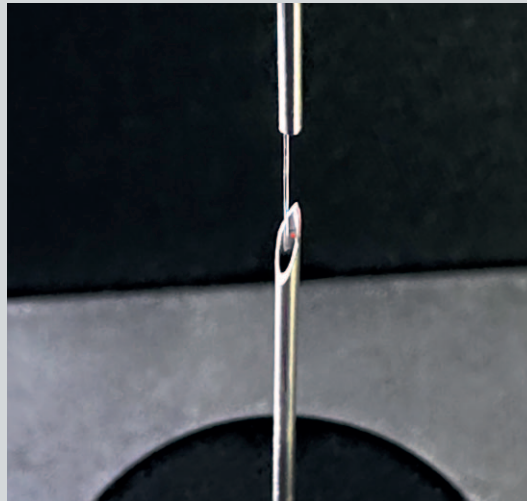


Bild 3. Innenmessung der Doppelschliff-Kanüle

die Prüfung auf mögliche Beschädigungen,

- Technologie: Verwendet wird ein FDM-2-Messsystem auf einer 3-Achs-Kinematik (C, Z, Y) mit einer hochminiaturisierten Messsonde mit circa 0,1 mm Durchmesser,
- Messbereich und Präzision: Die gescannte Fläche erstreckt sich in Z-Richtung über 9 mm, wobei der Abstand zwischen zwei Messbahnen 8 µm beträgt,
- Ergebnis: Detaillierte Punktewolke mit insgesamt 5,5 Millionen Messpunkten, die ein umfassendes Bild der Innenstruktur der Kanüle liefert.

Bipolarplatte für Brennstoffzelle

Ein weiterer Anwendungsfall ist die Messung der Oberfläche von Bipolarplatten, die in Brennstoffzellen verwendet werden (**Bild 5**). Auch hier wurde das FDM-2-System genutzt, um umfassende Informationen über Profilhöhe, Oberflächenqualität und

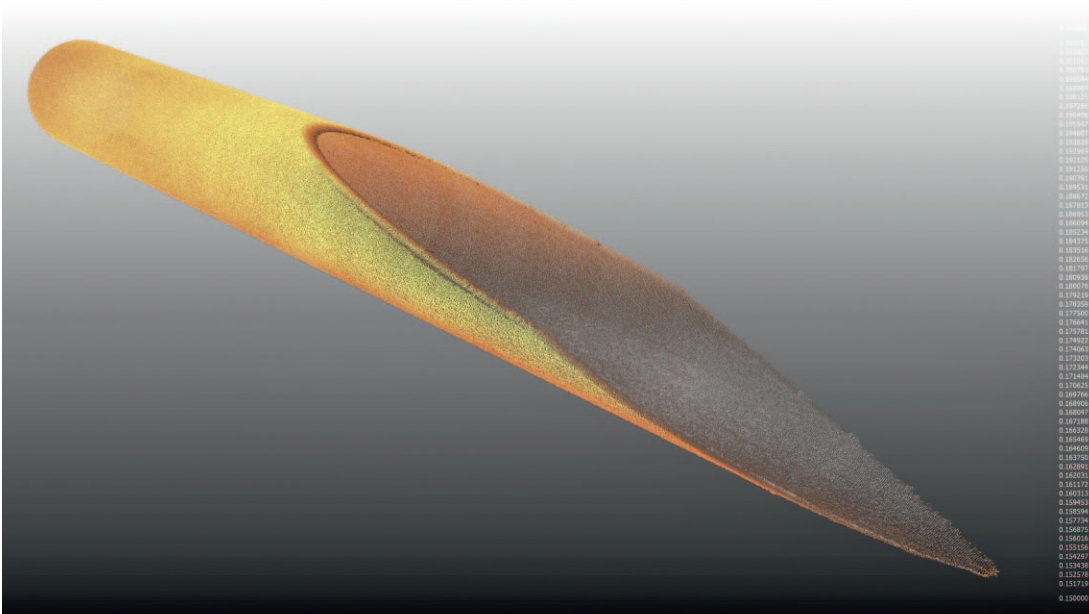
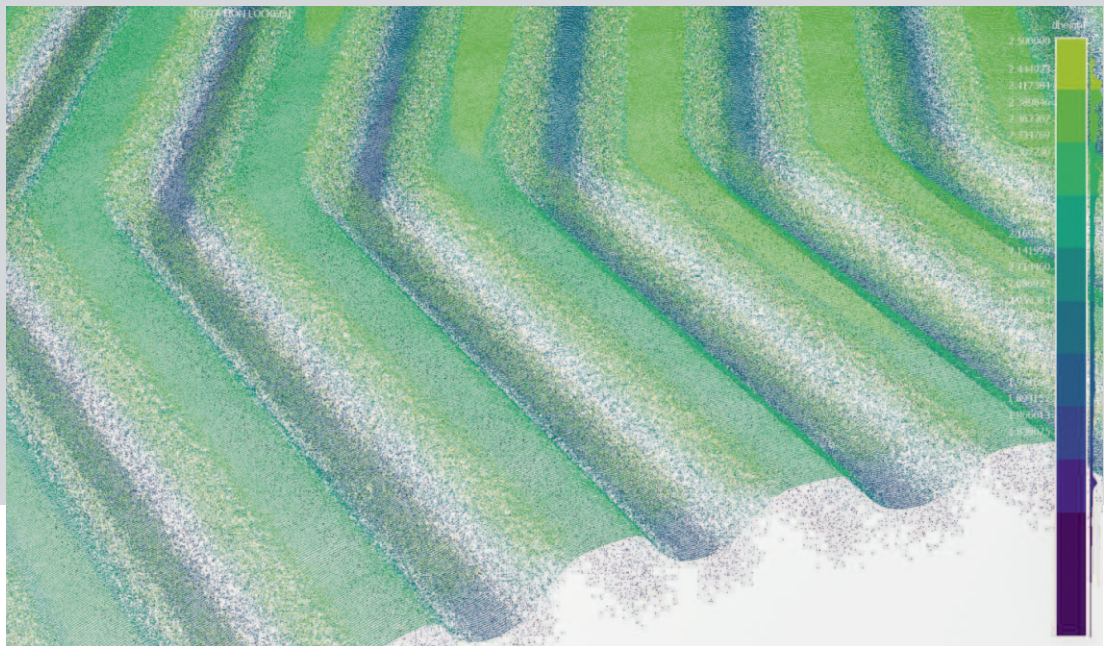


Bild 4. 3D-Messung der Doppelschliff-Kanüle

Bild 5. 3D-Messung der Bipolarplatte



eventuelle Beschädigungen zu gewinnen. Im Gegensatz zur medizinischen Kanüle war hier die Zugänglichkeit der Sonde uneingeschränkt gegeben, sodass eine Sonde mit einem großen Akzeptanzwinkel eingesetzt werden konnte. Die resultierende Punktwolke dieser Messung enthält über 23 Millionen valide Messpunkte,

- Kontext: Bipolarplatten sind Schlüsselkomponenten in Brennstoffzellen, deren Oberflächenqualität entscheidend für die Effizienz der Zelle ist,

- Ziel: Charakterisierung der Profilhöhe, Oberflächenqualität und die Überprüfung auf Beschädigungen der Bipolarplatte,

- Technologie: Auch hier kommt das FDM-2-System auf einer 3-Achs-Kinematik zum Einsatz, diesmal kombiniert mit einer Messsonde mit einem großen Akzeptanzwinkel,

- Ergebnisse: Die Messung resultiert in einer Punktwolke mit 23 Millionen Messpunkten, was eine extrem detaillierte Analyse der Oberflächenstruktur und Profilhöhe ermöglicht.

Bild 6. Kontroll-Interferometer: links der schematische Aufbau, rechts der Prototyp. Der Spiegel rechts entspricht dem Messobjekt in der Skizze

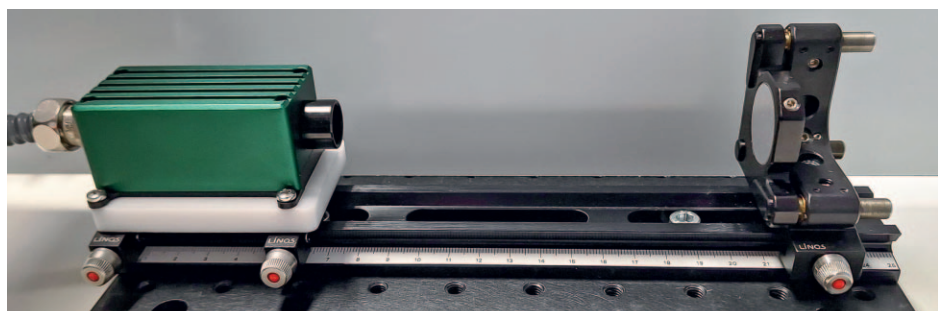
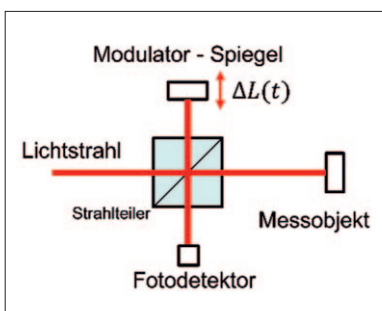
Sensorplattform für Kontroll-Interferometer

Um die Vorteile von Interferometern umfassend nutzen zu können, werden – je nach Anwendungsfall – neben den Mess-Interferometern auch Kontroll-Inter-

ferometer benötigt. Letztere werden insbesondere zur Überprüfung hochgenauer Positionsänderungen eingesetzt. Ein bekanntes Beispiel ist die Kalibrierung von Linearachsen oder die kontinuierliche Positionsüberwachung. Aufgrund der hierfür benötigten hohen Messbereiche fallen Weißlicht-Interferometer für diese Aufgabe aus, das Mittel der Wahl sind Laserinterferometer. Um dieser Forderung zu begegnen hat Fionec eine neue Sensorplattform entwickelt, die sowohl als Kontroll- als auch Mess-Interferometer genutzt werden kann. Die Plattform wurde bei der Entwicklung eines Kontroll-Interferometers erfolgreich eingesetzt und validiert.

Die geforderten Parameter des Kontroll-Interferometers sind ein Messbereich bis 50 cm, eine Auflösung von 1 nm, eine Messfrequenz von mehr als 20 kHz, ein kleines Bauvolumen von circa $25 \times 20 \times 40 \text{ mm}^3$ sowie ein geringes Gewicht, das beispielsweise die Platzierung des Interferometers auch an bewegten Teilen einer Messmaschine erlaubt. Entscheidend sind zudem niedrige Anschaffungs- und Betriebskosten (**Bild 6**).

Bei dem entwickelten Kontroll-Interferometer wird das eigentliche Interferometer direkt als Messkopf eingesetzt. Dieser enthält alle notwendigen (faser-)optischen, mechanischen und elektronischen Komponenten. Als Lichtquelle wird ein fasergekop-



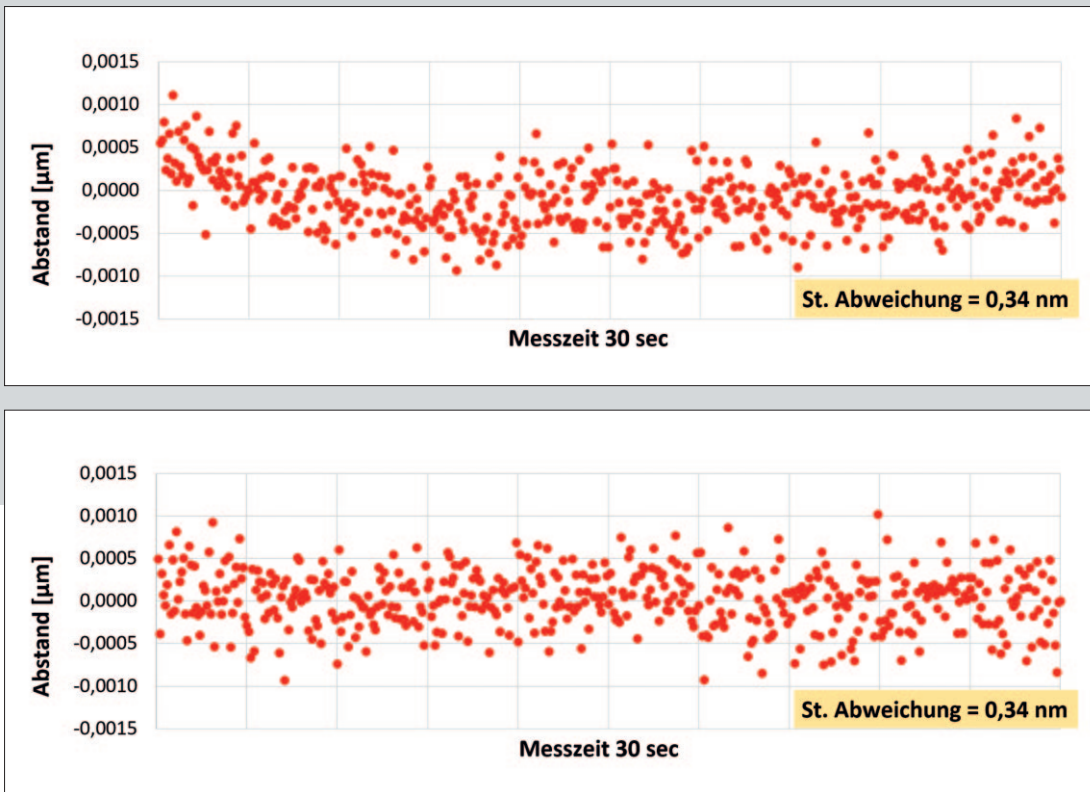


Bild 7. Abstandäquivalentes Rauschen im Mess-Interferometer (oben) und im Kontroll-Interferometer (unten)

pelter Laser mit einer Wellenlänge 1550 nm verwendet. Eine Teilminiaturisierung konnte bereits erzielt werden, außerdem wurde ein robustes, industrietaugliches Design realisiert.

Die Entwicklung der neuen Sensorplattform von Fionec repräsentiert einen signifikanten Fortschritt in der Interferometrie. Durch die Modularität dieser Plattform wird es möglich, sowohl Mess- als auch Kontroll-Interferometer in einem System zu vereinen. Dieser modulare Ansatz ermöglicht eine flexible Anpassung an verschiedene industrielle Messanforderungen und eröffnet neue Anwendungsbereiche in Branchen, in denen Präzisionsmessungen von zentraler Bedeutung sind.

Ein weiterer innovativer Aspekt der Plattform ist die Fähigkeit zur Durchführung mehrkanaliger und sogar gemischter Messungen mit Mess- und Kontroll-Interferometern. Diese Fähigkeit erlaubt eine umfassende Überwachung und Kontrolle in Produktionsprozessen, indem gleichzeitig verschiedene Messparameter erfasst werden können. Dies steigert die Effizienz und Genauigkeit in Prozessen, beispielsweise in der Halbleiterfertigung oder der Optikindustrie.

Ein entscheidender Vorteil der neuen Sensorplattform ist ihre Kosteneffizienz. Durch attraktive Anschaffungs- und Betriebskosten wird hochpräzise Messtechnologie einem breiteren Spektrum von Industrieanwendern zugänglich gemacht. Dies hat das Potenzial, die Akzeptanz und Anwendung von Präzisionsmessinstrumenten in mittelständischen Unternehmen zu erhöhen und somit die allgemeine Qualität und Präzision in der Produktion zu verbessern.

Abstandäquivalentes Rauschen – Auflösung

Die Auflösung des Interferometers wurde als die Standardabweichung des abstandäquivalenten Rauschens definiert. In **Bild 7** sind die Ergebnisse von Messungen zur Ermittlung der Auflösung für die neue Sensorplattform (kurzkohärentes Mess-Interferometer und Laser-Kontroll-Interferometer). In beiden Experimenten war der optische Wegunterschied im Interferometer auf $0 \pm 2 \mu\text{m}$ gesetzt. In einer Zeit von 30 s wurde kontinuierlich die Abstandswerte gemessen und anschließend die Standardabweichung berechnet. Die Auflösung beträgt 0,34 nm.

Die neue Sensorplattform von Fionec stellt einen wichtigen Fortschritt in der Interferometer-Technologie dar. Ihre Flexibilität und Modularität ermöglichen den Einsatz sowohl als Mess- als auch Kontroll-Interferometer, was neue Anwendungsbereiche in verschiedenen Branchen eröffnet. Dies erhöht die Präzision und Zuverlässigkeit in der Produktion und bietet eine kosteneffiziente Lösung für mittelständische Unternehmen. ■ MI110841

AUTOREN

Dr.-Ing. FRANK DEPIEREUX ist Geschäftsführer bei Fionec in Aachen
 Dr.-Ing. PAWEL DRABAREK ist Projektleiter Sensorik im gleichen Unternehmen