

Wolfgang Rauh

Präzision mit gläserner Faser



Werth Messtechnik GmbH
Siemensstr. 19
35394 Gießen
Telefon: +49-(0)641-7938-0
Telefax: +49-(0)641-75101
mail@werthmesstechnik.de
www.werthmesstechnik.de

MESSEN VON MIKROSTRUKTUREN UND -BAUTEILEN

Präzision mit gläserner Faser

WOLFGANG RAUH

Sensoren und Koordinatenmessgeräte für makroskopische Bauteile weisen bei der Qualitätssicherung von Mikrobauteilen und -strukturen Defizite auf.

Die Messprobleme lassen sich zwar durch die applikations-spezifische Kombination verschiedenster Sensoren in Multisensor-Koordinatenmessgeräten teilweise überwinden, Mikrogeometrien an optisch schwer zugänglichen Stellen sind jedoch auch mit derartigen Messgeräten kaum zu erfassen. Ein neuartiger Fasertaster, der optische und tastende Messverfahren kombiniert, schließt diese Lücke.



BILD 1. Der kompakte optische Messkopf ›IP40T‹ kann an ein Dreh-/Schwenkgelenk montiert werden; rechts: Werth-Fasertaster am IP40T

Bei der geometrischen Überprüfung makroskopischer Bauteile sind CNC-gesteuerte Koordinatenmessgeräte mit berührenden Tastsystemen fest etabliert. Das Prinzip dieser Tastsysteme beruht darauf, dass ein zumeist kugelförmiges Antastelement beim Kontakt mit dem Werkstück ausgelenkt wird. Die Auslenkung des Antastelements wird über einen starren Taststift in den Tastkopf übertragen und dort in ein elektrisches Signal umgewandelt. Für Mikrobauteile müssten diese Sensoren jedoch massiv verkleinert werden; prinzipbedingt sind diesem Ansatz aber enge Grenzen gesetzt. Kleinere Antastelemente benötigen nämlich im gleichen Maß kleinere Taststiftdurchmesser, da ansonsten Schaftantastungen und somit Fehlmessungen entstehen. Dünne Taststifte sind aber nicht nur leicht zu zerstören,

selbst bei geringen Antastkräften kann sich der Taststift verbiegen und somit die Messergebnisse signifikant verfälschen. Kleinste Tastelemente haben heute einen Durchmesser von etwa 0,3 mm und sind damit

häufig größer als die zu messende Geometrie selbst. Konventionelle berührende Tastsysteme sind deshalb für die Mikrotechnik kaum geeignet.

Optische Sensoren und Multisensorik als Alternative

Eine Alternative zu diesen Tastsystemen sind optische Sensoren, beispielsweise Lasersensoren zur Abstandsmessung oder die Bildverarbeitung. Die Auflösung von Bildverarbeitungssensoren ist ebenso wie die von Lasersensoren durch die Wahl des Abbildungsmaßstabs skalierbar, sodass für

HERSTELLER

Werth Messtechnik GmbH
35394 Gießen
Tel. 06 41/79 38-0
Fax 06 41/7 51 01
www.werthmesstechnik.de

nahezu jede Anwendung ausreichend geringe Antastabweichungen realisiert werden können. Bei Verwendung einer Zoomoptik ist dies – anders als bei Objektiven mit fester Brennweite – ohne Objektivwechsel möglich. Weil aber Geometrielemente wie Hinterschneidungen oder Wandungen optisch nicht zugänglich sind, können auch rein optische Koordinatenmessgeräte nicht alle Messaufgaben lösen. Erst die Kombination optischer und berührender Tastsysteme in Multisensor-Koordinatenmessgeräten führt zu universellen Geräten, bei denen die Sensoren je nach Anwendung ausgewählt und innerhalb eines Messablaufs beliebig kombiniert werden können. Neben der Bildverarbeitung mit festem Abbildungsmaßstab beziehungsweise mit Zoomoptik und verschiedenen Beleuchtungseinrichtungen stehen außerdem hochgenaue Lasersensoren nach dem Foucault-Prinzip, berührende Tastsysteme, Lasersensoren mit externem Strahlengang sowie chromatische Weißlichtsensoren zur Verfügung. Mit dieser Sensorpalette sind Messgeräte konfigurierbar, die exakt auf die Anforderungen des Anwenders zugeschnitten sind und mit denen nahezu alle Messaufgaben gelöst werden können.

Bildverarbeitung erfasst die Auslenkung der Glaskugel

Einzig Messungen an Mikrogeometrien an optisch nicht zugänglichen Stellen, beispielsweise Hinterschnitte oder Messungen an Bohrungswandungen, waren bislang auch für Multisensor-Koordinatenmessgeräte nur schwer zu realisieren. Diese Lücke wird durch den Fasertaster von Werth Messtechnik, Gießen, geschlossen (Bild 1). Der Fasertaster ist ein taktil-optischer Taster, bei dem der Taststift durch eine dünne Glasfaser ausgeführt ist. Dieser Taststift besitzt nur eine sehr geringe Steifigkeit und muss keine Kräfte aufnehmen. Am



BILD 3. Schattendasein: Der Fasertaster im Durchlichtmodus bei der Messung eines Zahnrads

Ende der Glasfaser ist eine Glaskugel befestigt, mit der das Werkstück analog zu klassischen Tastsystemen angetastet wird. Die Auslenkung des Antastelements wird mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems erfasst (Bild 2). Die optische Anordnung ist dabei

entscheidend. Für den Fasertaster ergeben sich hier zwei Möglichkeiten: Im Durchlichtmodus befindet sich das Antastelement zwischen der Durchlichtquelle und der Kamera; die Kamera bestimmt die Lage des Antastelements anhand des von ihm

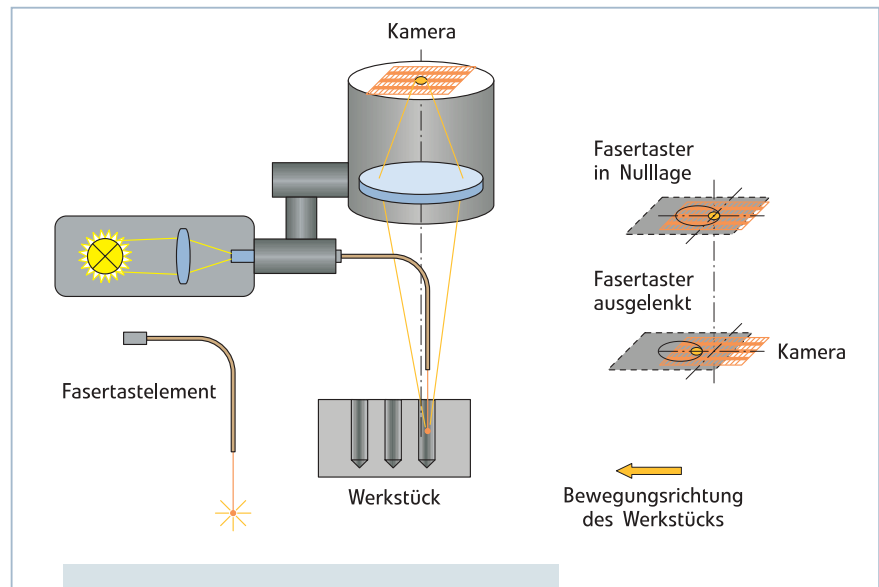


BILD 2. Das Prinzip des Werth-Fasertasters: Die Auslenkung des Antastelements wird mit Hilfe eines Bildverarbeitungssystems bestimmt

so ausgelegt, dass sich das Antastelement in der Objektebene der Abbildungsoptik und im nicht ausgelenkten Zustand stets in der gleichen Bildposition (Bildmitte) befindet. Die Glasfaser ist im Bild nicht sichtbar und gewährleistet so die Erfassung des Antastelements. Um das Antastelement problemlos am zu messenden Ort positionieren zu können, wird die Glasfaser in einer dünnen Metallkanüle montiert. Dieses Sensorprinzip ermöglicht kleinste Bauweisen. Standardmäßig kommen im Werth-Fasertaster Glaskugeln mit einem Durchmesser zwischen 20 µm und 300 µm zum Einsatz; die Glasfaser ist in ihrem Durchmesser entsprechend kleiner und zwischen 20 mm und 200 mm lang. Sie ist zudem sehr leicht und biegsam, sodass beim Messen nur sehr kleine Antastkräfte (wenige µN) entstehen. Auf diese Weise sind auch sehr empfindliche und besonders kleine Bauteile messbar.

Durchlicht- oder Eigenleuchtmodus

Um das Antastelement erfassen und seine Auslenkung bestimmen zu können, ist die Beleuchtung

erzeugten Schattens (Bild 3). Diese Anordnung ist natürlich nur anwendbar, wenn das Licht nicht durch das Messobjekt abgeschattet wird, beispielsweise bei Messungen in Sacklöchern. Für solche Fälle wurde der so genannte Eigenleucht-Modus entwickelt. In dieser Betriebsart übernimmt die als Taststift fungierende Glasfaser eine weitere Funktion: Sie leitet Licht, das von einer LED am einen Ende der Faser eingespeist wird, zum Antastelement am anderen Ende der Faser. Aus dem Antastelement tritt das eingespeiste Licht in allen Richtungen aus, sodass es für das Bildverarbeitungssystem als eine helle Fläche sichtbar ist (Bild 4). Um das Antastelement sicher detektieren zu können, wird im Eigenleucht-Modus keine andere Lichtquelle des Messgeräts aktiviert. Im interaktiven Betrieb wird häufig das Auflicht zugeschaltet, sodass das Tastelement vor der Antastung mit Hilfe des Joysticks und unter Beobachtung des Kamerabildes nah am Werkstück positioniert werden kann. Um den Fasertaster einfach in Multisensor-Koordinatenmessgeräten integrieren zu können, wurde der Fasertaster so ausgeführt, dass er an eine Renishaw-Wechselschnittstelle adaptierbar ist. Dies ermöglicht das automatisierte Einwechseln und Ablegen des Fasertas-

ters in Tasterwechselstationen und die Verwendung unterschiedlicher Fasertaster in einem Messablauf. Dabei entsteht das Problem, dass die Objektebene der Abbildungsoptik möglichst ohne Veränderung der Vergrößerung so einstellbar sein muss, dass sich die Antastelemente der verschiedenen langen Fasern jeweils in der Objektebene befinden. Über entsprechende Möglichkeiten verfügt der Werth-Zoom, bei dem sowohl der Arbeitsabstand als auch die Vergrößerung unabhängig voneinander rechnergesteuert einstellbar sind.

Fasertaster mit geringsten Maßabweichungen

Ob ein Sensor für die Mikrowelt geeignet ist, entscheidet neben seinen Abmessungen

und minimalen Antastkräften die erzielbare Genauigkeit. Die Bestimmung der Antastabweichung ist den Richtlinien DIN EN ISO 10360-2 und VDI/VDE 2617 Blatt 6.1, 6.2 für optische beziehungsweise Blatt 2.1 für taktile Sensoren definiert. Dieser Wert beträgt für den Fasertaster am Werth-Messgerät »Video-Check HA« $MPE_p < 0,5 \mu\text{m}$. Der Fasertaster ist damit eines der genauesten Tastsysteme und eignet sich auch für die Formprüfung.

Die Genauigkeit eines Koordinatenmessgeräts mit all seinen Komponenten wird durch die Längenmessabweichung entsprechend DIN EN ISO 10360-2 und VDI 2617 Blatt 6.1 ermittelt. Die Längenmessabweichung wird je nach Sensorik mit unterschiedlichen Normalen bestimmt. Für be-

rührende Tastsysteme sind dies hoch genaue Parallel- oder Stufenendmaße, für optische Sensoren werden gemäß VDI 2617 Blatt 6.1 und 6.2 Glasmaßstäbe gemessen und die Abweichungen zwischen Messwerten und Nennwerten der Normale ermittelt. Mit hochwertigen Geräten sind heute unidirektionale Längenmessabweichungen von $E_1 = (0,25 + L/900) \mu\text{m}$ zu erreichen.

Messprozesseignung unter realen Bedingungen

Ob ein Messgerät für einen bestimmten Einsatzfall geeignet ist, lässt sich aber erst durch die Untersuchung der Messprozesseignung – in ähnlicher Form oft als Messmittelfähigkeitsuntersuchung bezeichnet – beurteilen. Dabei werden die merkmalsbezogenen Messunsicherheiten an realen Teilen unter Berücksichtigung äußerer Einflüsse wie Umwelt und Bediener ermittelt und ins Verhältnis zu den jeweiligen Toleranzen gesetzt. Idealerweise sollten die ermittelten Messunsicherheiten kleiner als 10 Prozent der verfügbaren Toleranz sein, mitunter sind hierbei vor allem bei sehr engen Toleranzen jedoch Abstriche zu machen.

Für viele Messaufgaben ist die Multisenorik ein wesentlicher Erfolgsfaktor (Bild 5). So wird die tatsächliche Lage und Ausrichtung eines Werkstücks häufig mit Hilfe eines konventionellen Tastsystems und/oder dem im Messgerät für den Fasertaster ohnehin vorhandenen Bildverarbeitungssystem bestimmt (Bild 6). Dies wäre auf Grund der meist sehr geringen Größe der Geometriemerkmale mit konventionellen Tastsystemen in der Regel nicht möglich.

In der Praxis erweist sich der Fasertaster als robust gegen äußere Einflüsse wie Vibrationen. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass bei Berührung des Werkstücks auch dann ein unverfälschter Messwert entsteht, wenn das Antastelement am Werkstück verschoben wird.

Fasertaster ermöglicht Geometrie- und Rauheitsmessung

Das winzige Antastelement des Fasertasters ermöglicht neben der Geometrie- auch die Rauheitsmessung innerhalb einer Messanordnung. Das Umspannen des Werkstücks und das nochmalige Ausrichten können somit entfallen. Wegen der hohen Positioniergenauigkeit eines Koordinatenmessgeräts führt die Rauheitsmessung darüber hinaus zu reproduzierbaren Messungen an der gleichen Stelle des Werkstücks. Auch verschiedene Vorschubrichtungen sind realisierbar. Untersuchungen haben gezeigt,

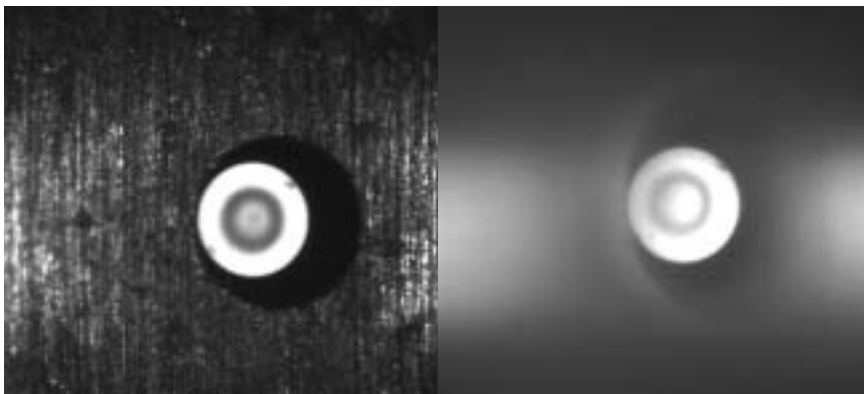


BILD 4. Lichtgestalt: Der Fasertaster im Eigenleuchtmodus bei der Messung einer Einspritzdüse (links: Eintauchtiefe des Fasertasters 0 mm, rechts: Eintauchtiefe 0,6 mm)

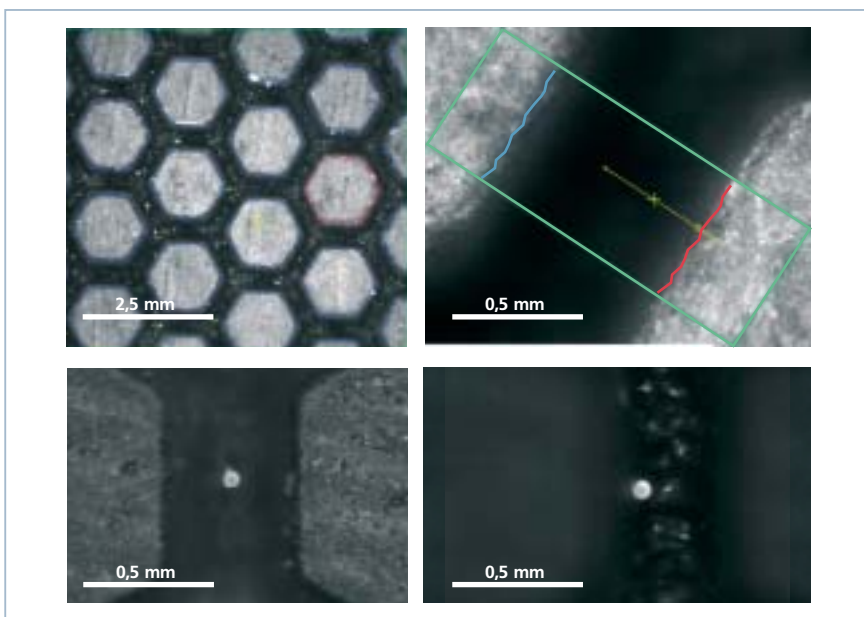


BILD 5. Messung eines ECM- (Electrochemical Machining) gefertigten Werkzeugs: Lokalisierung aller zu messenden Vertiefungen; Merkmale in niedriger Vergrößerung (oben links), exakte Lokalisierung eines zu messenden Details in hoher Vergrößerung (oben rechts), Fasertaster im Eigenleuchtmodus zur Messung der schrägen Seitenwände eines Grabens in verschiedenen Höhen (unten)



BILD 6. Messung an einer Düsenplatte mit Hilfe einer Dreh-/Schwenkachse. Das Multisensor-Koordinatenmessgerät verfügt neben dem Fasertaster, der vor einer Festoptik angebracht ist, über einen zweiten Strahlengang mit Zoomoptik, je ein schaltendes und ein messendes Tastsystem an einem Dreh-/Schwenkgelenk sowie eine Tasterwechselstation (nicht im Bild)

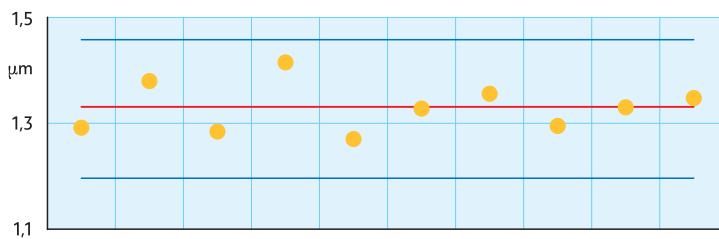


BILD 7. Ergebnisse der Rauheitsmessung mit dem Werth-Fasertaster an verschiedenen Stellen eines Rauheitsnormals. Die rote Linie zeigt den Nominalwert des Normals ($R_{\text{max}} = 1,33 \mu\text{m}$), die blauen Linien kennzeichnen die vom Hersteller angegebenen Toleranzen für R_{max} . Alle mit dem Fasertaster ermittelten Werte liegen innerhalb der spezifizierten Toleranzen

dass die mit dem Fasertaster aufgenommenen Rauheitskennwerte von $R_a < 1,5 \mu\text{m}$ sehr gute Übereinstimmung mit den Werten konventioneller Tastschnittgeräte aufweisen (Bild 7). Erste industrielle Anwendungen werden derzeit realisiert.

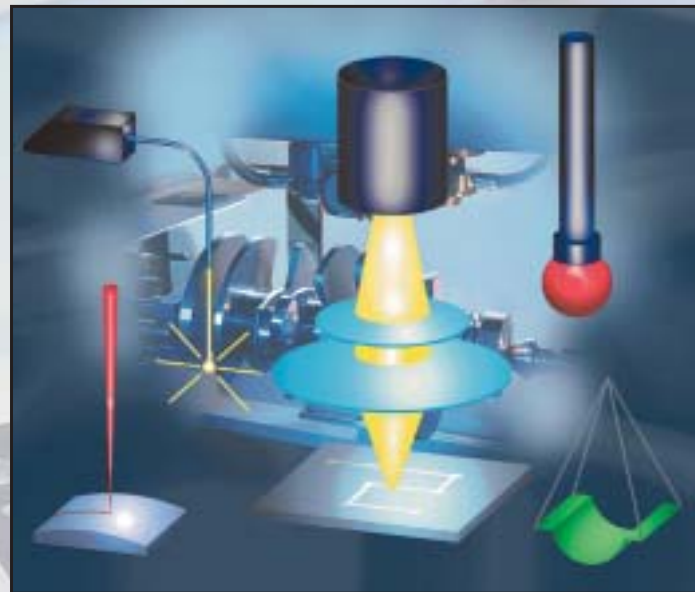
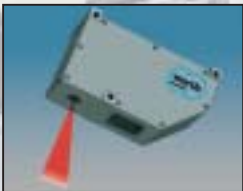
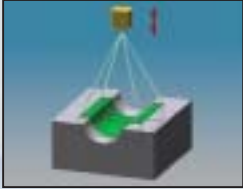
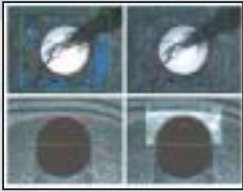
Für die Rauheitsmessung ist ebenso wie für zahlreiche andere Messaufgaben ein schnelles Scanning mit dem Fasertaster wünschenswert. Diesem Wunsch wird durch schnelle Kameras in Kombination mit Echtzeit-Bildauswertesystemen Rechnung getragen. Realisierbar ist derzeit die Aufnahme von 50 Messpunkten pro Sekunde bei kontinuierlicher Bewegung des Fasertasters entlang der zu erfassenden Werkstückkante.

Wird der Fasertaster an einem Dreh-/Schwenkgelenk genutzt, lassen sich auch Messpunkte an beliebig im Raum liegenden Flächen aufnehmen (Bild 1). Die Steifigkeit der Glasfaser reicht bei dem sehr geringen Eigengewicht des Antastelements aus, um das Antastelement auch bei großen Neigungswinkeln des Messkopfs in der Mitte des Kamerabilds zu halten. Diese Anordnung erlaubt auch optische Messungen mit der Bildverarbeitung unter verschiedenen Blickrichtungen. ■■

Dr.-Ing. Wolfgang Rauh

ist Entwicklungsleiter bei Werth Messtechnik in Gießen; entwicklung@werthmesstechnik.de

Sensoren für jede Anwendung: Werth Multisensorik



Werth Bildverarbeitung:

Echte Kontur-Bildverarbeitung für sichere Messergebnisse

Werth 3D-Patch (Patentanmeldung):

Der 3D-Oberflächensensor für kleinste Merkmale

Werth TTL Lasertaster WLP (Patent):

Hochgenaues Oberflächen-Scanning

Werth Fast Laser Probe FLP:

Schnelles berührungsloses Scannen von dreidimensionalen Geometrien

Werth Laser Liniensensor LLP:

Schnelle optische Erfassung von Freiformflächen auch an großen Werkstücken

Werth Chromatic Focus Probe CFP:

Hochgenaues Messen an stark reflektierenden Oberflächen (Spiegel, Linsen, ...)

Mechanisch schaltende- und messende Tastsysteme:

Renishaw-Programm komplett integriert

Werth Fasertaster WFP (Patent):

Weltweit kleinster (min. Tastkugeldurchmesser 25 μm) und genauester Taster

Werth Contour Probe WCP (Patentanmeldung):

Der Tastschnittsensor für Profil- und Rauheitsmessung