

# Neue Anwendungen

Rauheitsmessung mit Computertomografie



Werth Messtechnik GmbH  
Siemensstr. 19  
35394 Gießen  
Telefon: +49 641 7938-0  
Telefax: +49 641 7938-719  
E-Mail: [mail@werth.de](mailto:mail@werth.de)  
Internet: [www.werth.de](http://www.werth.de)

Sonderdruck



© Werth Messtechnik

# Neue Anwendungen

## Rauheitsmessung mit Computertomografie

Mithilfe geeigneter Hardware-Komponenten und Software-Verfahren können an Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografiesensorik immer kleinere Details von Werkstücken aufgelöst werden. Hierdurch entsteht eine Vielzahl neuer Anwendungsmöglichkeiten. Erste Untersuchungen an Raunormalen zeigen, dass aktuelle Geräte auch für die Rauheitsmesstechnik prinzipiell geeignet sind.

Matthias Eifler, Frederic Ballach, Henning Stoschus, Jörg Seewig, Ralf Christoph, Frank Schneider und Jan C. Aurich

**M**essungen an hochpräzise gefertigten Werkstücken mit engen Toleranzen erfordern Koordinatenmessgeräte mit immer höher auflösender Sensorik. Insbesondere die Ermittlung der Oberflächenrauheit stellt hohe Anforderungen an das Auflösungs-

vermögen. Traditionell wird hier auf taktile Sensoren zurückgegriffen. Der Nachteil dieser Sensoren liegt vor allem darin, dass weiche Werkstücke durch das Antasten Mikrobeschädigungen erleiden können und das Messergebnis verfälscht wird. Optische Abstandssensoren stellen eine berüh-

rungslose Alternative zu klassischen Verfahren dar, da dieser Nachteil prinzipbedingt entfällt. Der speziell für hochgenaue Messungen entwickelte Sensor Werth Interferometer Probe (WIP) [1] detektiert anhand von Laufzeitänderungen eines an der Werkstückoberfläche reflektierten

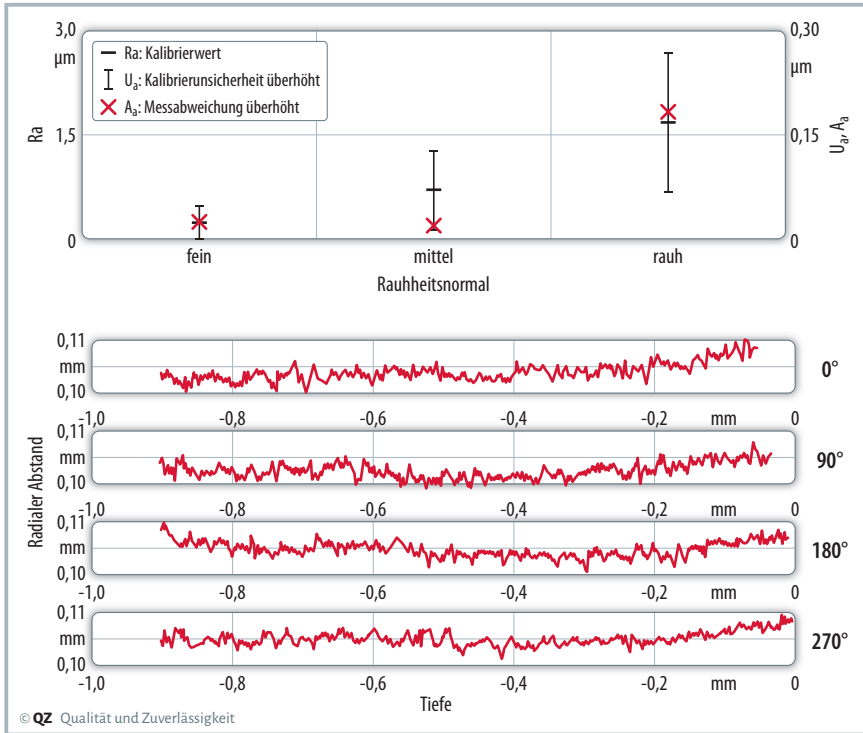


Bild 1. Oben: Vergleichsmessung an Kalibriernormal – die mittlere Rauheit Ra, gemessen mit dem WIP, liegt innerhalb der Kalibrierunsicherheit U des Normal. Unten: Oberflächenprofile, gemessen innerhalb eines Spritzlochs an einer Kraftstoffeinspritzdüse – vier Mantellinien in 90°-Schritten am Umfang verteilt (© Werth Messtechnik)

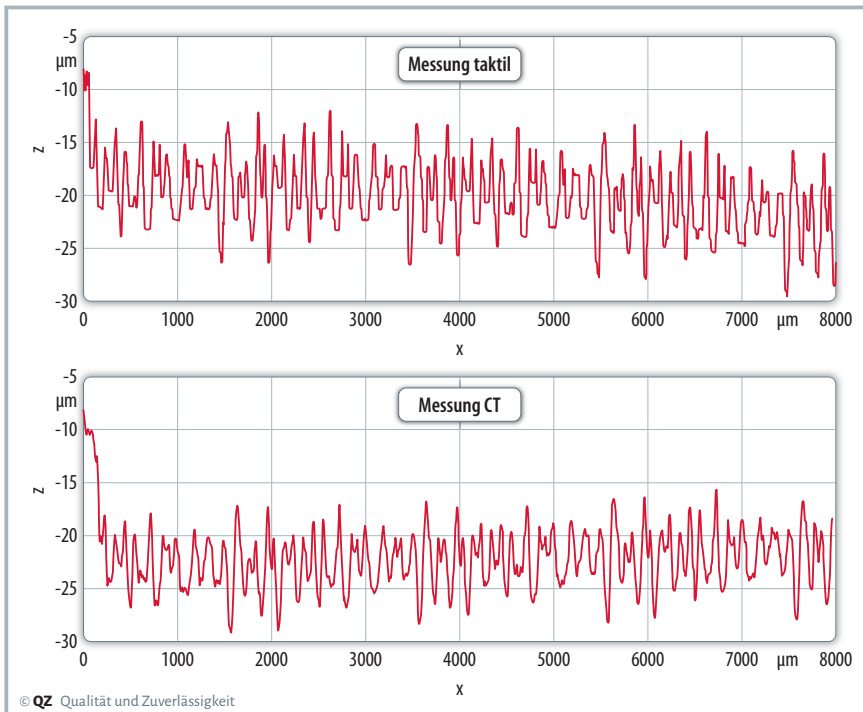


Bild 2. Taktill und mit Computertomografie gemessene Rauheitsprofile (© Werth Messtechnik)

Lichtstrahls die Position des Oberflächenpunkts. Die Auswertung erfolgt durch Bestimmung der Phasenverschiebung bei der Überlagerung mit einem Referenzstrahl. An unterschiedlichen Normalen wurden Rauheitsmessungen durchgeführt, die im

Rahmen der Kalibrierunsicherheit mit den Ergebnissen der taktillen Referenzmessung übereinstimmen. Die kompakte Bauform und variable Geometrie des Sensorkopfs erlauben die Messung auch schwer zugänglicher Merkmale, beispielsweise in Bohrun-

gen mit kleinen Durchmessern bis etwa 100 µm (Bild 1). Allen derzeit verfügbaren Sensoren gemein ist, dass die Rauheitsmessung nur an einzelnen Konturen stattfindet. Neue Konzepte, die die Bestimmung der Flächenrauheit zulassen, sind daher wünschenswert.

**Rauheit in der Computertomografie**

Seit der Einführung der Computertomografie (CT) in die Koordinatenmesstechnik vor etwa zehn Jahren [2] hat sich diese Technik für viele Anwendungen etabliert. Hochgenaue Messungen im Messraum, schnelle Erstbemusterungen, Prozessvalidierungen sowie zerstörungsfreie Analysen von Werkstücken auf Vollständigkeit oder Defekte lassen sich sehr einfach durchführen. Verfahren für die Spezifikation von Messgeräten mit Röntgentomografiesensorik wurden in der VDI-Richtlinie 2617, Blatt 13 [3] beschrieben und so-

**INFORMATION & SERVICE**

**AUTOREN**

- Dipl.-Ing. Matthias Eifler**, geb. 1990, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Messtechnik & Sensorik der TU Kaiserslautern.
- Dipl.-Ing. (FH) Frederic Ballach**, geb. 1988, ist Spezialist für Röntgentomografie bei der Werth Messtechnik GmbH, Gießen.
- Dr. rer. nat. Henning Stoschus**, geb. 1980, ist Leiter der Entwicklung – Röntgentomografie bei Werth Messtechnik.
- Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig**, geb. 1965, leitet den Lehrstuhl für Messtechnik & Sensorik der TU Kaiserslautern.
- Dr.-Ing. habil. Ralf Christoph**, geb. 1955, ist Geschäftsführer der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, und Leiter der Entwicklung.
- Dipl.-Ing. Frank Schneider**, geb. 1986, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation der TU Kaiserslautern.
- Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich**, geb. 1964, leitet den Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation der TU Kaiserslautern.

**KONTAKT**

Werth Messtechnik GmbH  
T 0641 7938-0  
mail@werth.de

**QZ-ARCHIV**

Diesen Beitrag finden Sie online:  
[www.qz-online.de/1228300](http://www.qz-online.de/1228300)

mit die Vergleichbarkeit mit konventionellen Koordinatenmessgeräten ermöglicht. Anfangs waren die Einsatzmöglichkeiten von Koordinatenmessgeräten mit Röntgentomografie noch durch die Verfügbarkeit geeigneter Detektoren und Röntgenröhren sowie ausgereifter Softwarelösungen begrenzt. Durch neuere Entwicklungen leistungsfähigerer Komponenten können immer kleinere Merkmale von Werkstücken aufgelöst werden. Röntgenröhren erreichen Brennfleckdurchmesser von wenigen Mikrometern und darunter, Detektoren Pixelgrößen bis zu 50  $\mu\text{m}$ . Die Kombination dieser Komponenten erlaubt die scharfe Abbildung kleinster Details im Durchstrahlungsbild des Werkstücks und folglich auch in dem aus den Durchstrahlungsbildern berechneten Voxelvolumen.

Moderne Verfahren wie die Rastertomografie oder die Region-of-Interest-CT (ROI-CT) erlauben auch hochaufgelöste Messungen an realen Werkstücken. Aufgrund dieses technischen Fortschritts erscheint es sinnvoll, den Einsatz der Computertomografie im Bereich der Rauheitsmesstechnik zu untersuchen. Hierzu wurde von der TU Kaiserslautern in Zusammenarbeit mit der Werth Messtechnik GmbH, Gießen, ein geeignetes Raunormal entwickelt und sowohl taktil

	Taktile Messung	TomoScope 200
$Ra/\mu\text{m}$	$2,386 \pm 0,006$	$2,055 \pm 0,097$
$Rq/\mu\text{m}$	$2,895 \pm 0,007$	$2,491 \pm 0,118$
$Rz/\mu\text{m}$	$12,74 \pm 0,17$	$11,08 \pm 0,57$

Tabelle 1. Soll-Ist-Vergleich der Rauheitskennwerte

als auch mit Röntgentomografie gemessen.

### Entwicklung des Raunormals

Als Testkörper wurde an der TU Kaiserslautern ein Kalibriernormal entwickelt und hergestellt. Dazu wurde ein Modell erstellt, das die physikalischen Zusammenhänge des gesamten Prozesses aus Fertigung, Messung und Auswertung berücksichtigt. Das dazugehörige Konzept wurde bereits für die taktile Rauheitsmesstechnik eingesetzt [4] und auf die Anwendung in der Röntgentomografie übertragen.

Die Simulation des Messvorgangs berücksichtigt insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Messgerät und Werkstück während der Messung. Außerdem wird die fertigungstechnische Umsetzbarkeit sichergestellt. Das Profil des Kalibriernormals wird im Rahmen der Simulation so verändert, dass das Ergebnis der simulierten Messung der Sollvorgabe für die Rauheitskennwerte entspricht. Das Normal wurde mithilfe eines Ultrapräzisions-Drehprozesses im Außenlängsdrehprozess hergestellt und dabei ein monokristallines Diamant-Werkzeug mit einer Schneidckenfase von ca. 10  $\mu\text{m}$  eingesetzt. Das 4 mm lange Rauheitsprofil wurde dupliziert und auf dem Zylindermantel des Normals angebracht. Der Prototyp des Normals hat einen Durchmesser von ca. 4 mm und eine Länge von 8 mm.

Anschließend wurden Referenzmessungen mit einem Tastschnittgerät Hommel-Etamic T 8000, Jenoptik, Villingen-Schwenningen, durchgeführt. Es wurden drei Tastschnitte aufgenommen und an jeweils 13 Stellen ausgewertet. Bei Betrachtung dieser 39 Auswertestellen konnte gezeigt werden, dass die Rauheit des Profils der Sollvorgabe mit einer

Abweichung von weniger als 3% entspricht.

### Tomografie des Raunormals

Die Tomografie des Raunormals wurde am Multisensor-Koordinatenmessgerät TomoScope 200 von Werth Messtechnik durchgeführt. Das Gerät ist für hochauflösende Messungen optimiert: Es verfügt über einen Detektor mit 4 000 x 3 000 Pixeln bei einer Pixelgröße von 75  $\mu\text{m}$ . Die Röntgenröhre ist für kleine Brennfleckgrößen im Bereich von einem Mikrometer ausgelegt. Die Messparameter wurden so eingestellt, dass sich eine Voxelgröße (Kantenlänge) von 3,25  $\mu\text{m}$  ergibt. Aus dem gemessenen Voxelvolumen wurde eine dreidimensionale Punktwolke berechnet, welche die Oberfläche des Prüfkörpers beschreibt.

Danach wurden 36 Konturen im Abstand von je 10° zueinander aus der Punktwolke extrahiert. Die mit Röntgentomografiesensorik gemessenen Konturen wurden mit taktil gemessenen verglichen (Bild 2). Frequenz und Amplituden der mit den beiden unterschiedlichen Sensoren gemessenen Konturen stimmen qualitativ überein. Tabelle 1 zeigt die über alle Konturen gemittelten Rauheitskennwerte. Die Werte aus der CT-Messung weichen von denen der taktilen Referenzmessung um maximal 13% ab.

Am Beispiel eines Raunormals mit  $Ra=2,386 \mu\text{m}$ ,  $Rq=2,895 \mu\text{m}$ ,  $Rz=12,743 \mu\text{m}$  konnte gezeigt werden, dass die industrielle Koordinatenmesstechnik mit Röntgentomografiesensorik zur Erfassung von Rauheitskenngrößen grundsätzlich geeignet ist. Mit einem speziellen, patentierten Verfahren der Region-of-Interest-Tomografie kann die Strukturauflösung durch eine Vergrößerung der Voxelgröße auf deutlich unter einen Mikrometer verbessert werden. Dieses Verfahren bietet sich z. B. für künftige Rauheitsmessungen auf polierten Oberflächen an. ■

## INFORMATION & SERVICE

### LITERATUR

- 1 Lenk, A.; Schmidt, I.: Multisensorik für Mikromerkmale – Messtechnik für Kraftstoffspritzdüsen, QZ 9/2015, S. 38–40
- 2 Schmidt, I.: Vollständig und zerstörungsfrei – Zehn Jahre Computertomografie in der Koordinatenmesstechnik, QE 1/2015, S. 22–25
- 3 VDI/VDE 2617 Blatt 13: Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten; Kenngrößen und deren Prüfung; Leitfaden zur Anwendung von DIN EN ISO 10360 für Koordinatenmessgeräte mit CT-Sensoren. Beuth Verlag, Berlin 2011
- 4 Seewig, J.; Eifler, M.: Nahe an der Anwendung – Geometrienormale zur Kalibrierung von Tastschnittgeräten, QZ 3/2015, S. 44–46