

## RAUHEITSMESSUNG TAKTIL ODER OPTISCH?

# Vergleichbare Ergebnisse

Felix Ströer, Jörg Seewig, Kaiserslautern;  
Frank Depiereux, Aachen

Sind mechanisch und optisch gemessene Rauheitskennwerte weitestgehend vergleichbar? Zur Klärung dieser Frage führten Forscher der TU Kaiserslautern Rauheitsmessungen mit einem faseroptischen Sensor und einem taktilen Tastschnittgerät durch. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit eignet sich der faseroptische Sensor für die schnelle und berührungslose Rauheitsmessung.

Die Oberflächenbeschaffenheit von technischen Bauteilen bestimmt in vielen Fällen maßgeblich deren Funktion. Der Verschleiß oder die entstehende Reibung an den Berührungstellen von Bauteilen sind Eigenschaften einer Funktionsfläche, die wesentlich durch geometrische Strukturen auf kleinen Skalen (Oberflächenrauheit) bestimmt werden. Um die durch Rauheit bedingten Eigenschaften von Oberflächen charakterisieren und tolerieren zu können, wird von der Oberfläche mit einem Tastschnittgerät ein Profilschnitt aufgenommen. Aus einem so erfassten Profilschnitt werden mit gegebenen Berechnungsvorschriften Rauheitskenngrößen abgeleitet, welche die Oberfläche und deren Funktion charakterisieren sollen.

### Aktuelle Tastschnittgeräte

Aktuell verwendete Tastschnittgeräte arbeiten in der Regel mechanisch, d. h. ein Taster mit Tastnadel wird über die Oberfläche gezogen. Diese Messgeräte sind etabliert und von der Industrie akzeptiert. Die Auswertung der Messdaten ist genormt, Messungen sind untereinander meist gut vergleichbar.

Mit herkömmlichen, taktil messenden Tastschnittgeräten lassen sich jedoch nicht beliebig kleine Messzeiten realisieren, da die maximale Vorschubgeschwindigkeit begrenzt ist. Um dieses Problem zu lösen, werden alternativ optische



**Bild 1.** Die Rauheit einer innen gehohnten Oberfläche wird faseroptisch gemessen. Der Innendurchmesser des Bauteils beträgt 8 mm, der Sondenaußendurchmesser 0,8 mm.

Punktsensoren eingesetzt. Optische Systeme bilden jedoch, verglichen mit mechanischen, die gemessene Oberfläche auf andere Art und Weise ab. Der durch ein optisches System erfasste Profilschnitt unterscheidet sich also von einem mechanisch aufgenommenen. Am Beispiel eines optischen Punktsensors, der das Messprinzip der Weißlichtinterferometrie nutzt, werden Vergleichsmessungen mit einem Tastschnittgerät diskutiert. Die an den untersuchten Proben erzielten und mit dem mechanischen Messgerät gut vergleichbaren Ergebnisse sollen dazu beitragen, die Akzeptanz und Verbreitung optischer Technologien in der Industrie weiter zu fördern.

Als optisches Messgerät wird das FDM-1 von Fionec untersucht: Basierend auf dem Prinzip der Weißlichtinterferometrie, entwickelt und vertreibt die Fionec GmbH, Aachen, modular aufgebaute faseroptische Sensoren, bestehend aus Messsonde(n) und Auswerteeinheit zur hochgenauen, punktuellen Abstandsmessung im Submikrometerbereich [1]. Die Sensoren zeichnen sich dadurch aus, dass der zu messende Abstand mittels hochminiaturisierbaren Messsonden berührungslos erfasst werden kann.

Die Messwerterfassung ist auf verschiedensten Oberflächen möglich, wie beispielsweise auf Metallen oder Kunststoffen (Folien), wobei ein breites Band an

Reflexionseigenschaften der zu untersuchenden Oberflächen toleriert werden kann (transparent bis matt, hell bis dunkel). Messwerte werden mit maximalen Abstraten von bis zu 7 kHz digitalisiert, sodass sich die Sensoren u. a. gut für die schnelle Oberflächencharakterisierung eignen [2]. Weitere Anwendungen der faseroptischen Sensoren finden sich beispielsweise in der Prüfung von Rundheit und Geradheit oder in der exakten Lagebestimmung von Bauteilen mittels Vielstellenmesstechnik, wobei mehrere Messsonden pro Sensor verwendet werden können. Für den Bereich der Rauheitsmesstechnik ergeben sich somit beim Einsatz der faseroptischen Sensorik mehrere Vorteile für den Anwender:

- berührungslose, rein optische Messung,
- sehr schnelle Messung, um den Faktor 5 bis 10 schneller im Vergleich zu einem taktilen Sensor,
- Möglichkeit der Messung an schwer zugänglichen Stellen, beispielsweise in Bohrungen,
- Möglichkeit zur Ausrüstung mehrerer Messplätze mit verschiedenen Messsonden und nur einem Sensor.

### Die Fähigkeitsuntersuchung

Die Messungen und die Auswertung wurden am Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik an der TU Kaiserslautern durchgeführt. Zur Fähigkeitsuntersuchung des Messgeräts und für die taktilen Vergleichsmessungen wurde ein Rauheitsmessplatz Hommel-Etamic T8000 von Jenoptik, VS-Schwenningen, mit der taktilen Sonde TKU 300/600 (Tastspitzenradius 5 µm) verwendet. Gemessen wurde auf Halle-Raunormalen (zur Untersuchung der Fähigkeit des Messgeräts bzgl. Rauheit), Tiefeneinstellnormalen (Ermittlung der Linearität des Messgeräts) sowie auf einem Planspiegel (Ermittlung des Grundrauschens). Die Vorschubgeschwindigkeit wurde mit 0,5 mm/s gewählt. Die Messwerterfassungsrate betrug 1 kHz. Ausgewertet wurden die Kenngrößen  $Ra$ ,  $Rz$  (Standard-Rauheitskennwerte, siehe Tabelle 1),  $Rk$ ,  $Rpk$ ,  $Rvk$ ,  $M_{r1}$  und  $M_{r2}$  (Materialanteile, siehe Tabelle 2) für die verschiedenen Probenotypen.

Die Messungen wurden nach den Richtlinien des DKD durchgeführt [2]. Auf vergleichbare Messbedingungen wurde Wert gelegt. Es wurde ein möglichst kleiner Messkreis realisiert, um umwelt-

bedingte Störeinflüsse zu minimieren. Die Auswertung der aufgenommenen Profilschnitte erfolgte gemäß ISO-Norm [3]. Als Auswertesoftware wurde SurfLab (ProAssess Software, Hannover) genutzt, die den aktuellen Stand der Normung zur Rauheitsauswertung beinhaltet.

### Die Ergebnisse

In Tabelle 1 sind für das taktile und das optische Messgerät die Kennwerte  $Ra$  (arithmetischer Mittenrauwert) und  $Rz$  (gemittelte Rautiefe) für die verschiedenen Raunormale dargestellt:  $Ra$  als integrale Kenngröße ist wenig sensitiv gegenüber lokalen Oberflächenstrukturen und liefert daher statistisch stabile Werte.  $Rz$  reagiert als Kenngröße deutlich stärker auf einzelne Ausreißer in den Datensätzen und unterliegt somit einer größeren Streuung [4]. Das Lambda-s-Filter dient der Entfernung hoher Ortsfrequenzen.

Die optisch erfassten Messdaten wurden, je nach Beschaffenheit der gemessenen Oberfläche, vor der Auswertung der Rauheitskenngrößen mit einem Medianfilter vorverarbeitet. Ein Medianfilter ist ein nichtlineares Filter, welches den aktuellen Wert durch den Median der Umgebung des Werts ersetzt. Dies entfernt vereinzelt auftretende Ausreißer, die die Kennwerte verfälschen könnten. Diese können etwa durch die begrenzte Winkelakzeptanz von optischen Sensoren entstehen. Bei einer geeigneten Breite des Medianfilters ist die Gefahr der Geometrieverfälschung nur sehr gering.

In der Industrie werden vor allem die Kenngrößen  $Ra$  und  $Rz$  zur Charakterisierung von Oberflächen verwendet und entsprechend toleriert. Folglich ist es entscheidend, dass die berechneten Kennwerte unabhängig vom Messprinzip bzw. Messgerät sind. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass für die untersuchten Proben die Kennwerte für  $Ra$  und  $Rz$ , die aus den taktil und optisch gemessenen Profilen ermittelt wurden, eine sehr gute Übereinstimmung haben. Tendenziell werden dabei beide Kennwerte vom optischen System als etwas kleiner ermittelt. Bezüglich der Stabilität der Kennwerte liegen beide Systeme in vergleichbaren Größenordnungen. Die Lambda-s-Filterung in der Auswertung der Datensätze reduziert die Streuung der Kennwerte.

In Tabelle 2 sind neben  $Ra$  und  $Rz$  auch die  $Rk$ -Parameter sowie  $M_{r1}$  und  $M_{r2}$  für das superfeine Raunormal der Stufe 1

### Literatur

- 1 Depiereux, F.: Faseroptisches Distanzmesssystem zur hochgenauen interferometrischen Messung. In: VDI-Berichte 2133, 4. Fachtagung Metrologie in der Mikro- und Nanotechnik 2011, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf
- 2 Bichmann, S.; Depiereux, F.; König, N.: Berührungslos durch Berg und Tal. QZ 57 (2012) 9, S. 54–56  
[www.qz-online.de/392650](http://www.qz-online.de/392650)
- 3 Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAKks): Richtlinie DKD-R 4-2 Blatt 2 2010: Kalibrieren von Messgeräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik.
- 4 DIN EN ISO 5436-1 November 2000: Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale Teil 1: Maßverkörperungen. Beuth Verlag, Berlin
- 5 Krüger-Sehm, R.; Seewig, J.: Messunsicherheit bei der Bestimmung von Rauheitskennwerten mit Tastschnittgeräten. tm – Technisches Messen 74 (2007) 10, S. 529–537

### Autoren

**Dipl.-Ing. Felix Ströer**, geb. 1988, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik an der TU Kaiserslautern.

**Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig**, geb. 1962, leitet den Lehrstuhl.

**Dr.-Ing. Frank Depiereux**, geb. 1973, ist Geschäftsführer der fionec GmbH, Aachen.

### Kontakt

**Frank Depiereux**  
T 0241 8949-8840  
f.depiereux@fionec.de

**Felix Ströer**  
T 0631 205-3964  
stroer@mv.uni-kl.de

### QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:

[www.qz-online.de/732320](http://www.qz-online.de/732320)

aufgeführt. Die  $Rk$ -Parameter beschreiben die Materialanteile der gemessenen Oberfläche. Diese Parameter dienen, neben  $Ra$  und  $Rz$ , zur funktionsgerechten Charakterisierung der gemessenen Oberfläche. Der Vergleich der optischen »

Messungen auf dem Planspiegel mit den Ergebnissen des Tastschnittgeräts zeigt, dass das Grundrauschen in ähnlichen Bereichen liegt. Es lag für das optische und das taktile System in der Größenordnung kleiner ein Nanometer für  $R_a$  und kleiner fünf Nanometer für  $R_z$ . Die Messungen

auf den Tiefeneinstellnormalen weisen die Linearität des optischen Systems nach und belegen, dass das faseroptische Messgerät bezüglich der Rauheitskennwerte für die untersuchten Proben mit einem Tastschnittgerät vergleichbare Ergebnisse liefert. Einzig die Tatsache, dass bedingt

durch das Messprinzip die erfassten Messdaten abhängig vom Messobjekt mediangefiltert werden müssen, stellt einen Unterschied zu den taktilen Messgeräten dar. Für eine bestimmte Messaufgabe reicht es jedoch, die Größe des Medianfilters einmal an die Messaufgabe anzupassen. □

		mit Lambda-s-Filter		ohne Lambda-s-Filter	
<b>Raunormal KNT 4070/03 Stufe 1</b>	Kalibrierschein	Taktil	<b>Optisch</b>	Taktil	<b>Optisch</b>
$R_a$ / nm	24,000	23,917	<b>23,833</b>	24,583	<b>24,000</b>
Standardabweichung / nm		0,289	<b>0,389</b>	0,515	<b>0,426</b>
$R_z$ / nm	140,000	137,917	<b>135,667</b>	155,417	<b>139,917</b>
Standardabweichung / nm		4,907	<b>6,272</b>	6,259	<b>6,855</b>
<b>Raunormal KNT 4070/03 Stufe 2</b>	Kalibrierschein	Taktil	<b>Optisch</b>	Taktil	<b>Optisch</b>
$R_a$ / nm	60,000	56,333	<b>55,917</b>	57,000	<b>56,250</b>
Standardabweichung / nm		1,497	<b>1,881</b>	1,651	<b>1,712</b>
$R_z$ / nm	317,000	307,750	<b>298,333</b>	324,833	<b>302,250</b>
Standardabweichung / nm		5,362	<b>7,451</b>	6,043	<b>7,557</b>
<b>Raunormal KNT 4070/03 Stufe 3</b>	Kalibrierschein	Taktil	<b>Optisch*</b>	Taktil	<b>Optisch*</b>
$R_a$ / nm	82,000	80,667	<b>78,500</b>	80,750	<b>78,833</b>
Standardabweichung / nm		1,775	<b>2,576</b>	1,865	<b>2,443</b>
$R_z$ / nm	457,000	447,417	<b>431,417</b>	466,083	<b>434,583</b>
Standardabweichung / nm		18,889	<b>11,501</b>	18,554	<b>12,258</b>
<b>Raunormal KNT 4058/01 Stufe 1</b>	Kalibrierschein	Taktil	<b>Optisch**</b>	Taktil	<b>Optisch**</b>
$R_a$ / $\mu\text{m}$	0,230	0,232	<b>0,229</b>	0,233	<b>0,231</b>
Standardabweichung / $\mu\text{m}$		0,001	<b>0,005</b>	0,001	<b>0,005</b>
$R_z$ / $\mu\text{m}$	1,430	1,439	<b>1,506</b>	1,482	<b>1,532</b>
Standardabweichung / $\mu\text{m}$		0,028	<b>0,061</b>	0,029	<b>0,065</b>
<b>Raunormal KNT 4058/01 Stufe 2</b>	Kalibrierschein	Taktil	<b>Optisch***</b>	Taktil	<b>Optisch***</b>
$R_a$ / $\mu\text{m}$	0,450	0,450	<b>0,453</b>	0,451	<b>0,454</b>
Standardabweichung / $\mu\text{m}$		0,003	<b>0,005</b>	0,003	<b>0,004</b>
$R_z$ / $\mu\text{m}$	2,760	2,537	<b>2,589</b>	2,583	<b>2,600</b>
Standardabweichung / $\mu\text{m}$		0,107	<b>0,090</b>	0,109	<b>0,090</b>

Tabelle 1. Für das taktile und das optische Messgerät sind die Kennwerte  $R_a$  (arithmetischer Mittenrauwert) und  $R_z$  (gemittelte Rauhtiefe) für die verschiedenen Raunormale dargestellt.

(Auswertung mit \* 3er, \*\* 5er und \*\*\* 7er Meridian)

Kennwert	Sollwert Kalibrierschein / Taktile Vergleichsmessungen	Auswertung mit Lambda-s-Filter				Auswertung ohne Lambda-s-Filter			
		Mittelwert (12 Messungen)	Standardabweichung (12 Messungen)	Prozentuale Abweichung zum Sollwert / taktilen Vergleichswert	Absolute Abweichung zum Sollwert / taktilen Vergleichswert	Mittelwert	Standardabweichung	Prozentuale Abweichung zum Sollwert / taktilen Vergleichswert	Absolute Abweichung zum Sollwert / taktilen Vergleichswert
$R_a$ / nm	24/ 23,991	23,833	0,389	0,694	0,167	24	0,426	0*	0*
$R_z$ / nm	140/ 137,761	135,667	3,088	3,095	4,333	139,917	6,855	0,06	0,083
$R_k$ / nm	74,554	74,917	1,379	0,487	0,363	76,25	3,441	2,275	1,696
$R_{pk}$ / nm	23,684	23,083	1,297	2,537	0,601	23,083	1,505	2,537	0,601
$R_{vk}$ / nm	27,501	26,417		3,944	1,085	26,5	1,567	3,641	1,001
$M_{r1}$ / %	11,771	11,229		4,604	0,542	10,896	1,268	7,43	0,875
$M_{r2}$ / %	88,171	88,335	1,288	0,185	0,163	88,568	1,464	0,45	0,397

Tab 2. Neben  $R_a$  und  $R_z$  sind auch die  $R_k$ -Parameter sowie  $M_{r1}$  und  $M_{r2}$  für das superfeine Raunormal der Stufe 1 aufgeführt.