

# Untersuchung zum Zusammenhang von spektraler Abtastung und erreichbarer Messunsicherheit bei der chromatisch-konfokalen Mikroskopie an rauen Objekten

D. Fleischle\* \*\*, W. Lyda\*\*, F. Mauch\*\*, W. Osten\*\*

\*GSaME - Graduate School for advanced Manufacturing Engineering, Universität Stuttgart

\*\*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

mailto: david.fleischle@gsame.uni-stuttgart.de

Die chromatisch konfokale Mikroskopie ist ein optisches Messverfahren, das vor allem in der Fertigungsmesstechnik durch die Möglichkeit der Erfassung eines Höhenwertes mit nur einer Aufnahme, als vielversprechender Ansatz gilt. Allerdings werden bei diesem Messverfahren bei der Inspektion von rauen Oberflächen Signaldeformationen beobachtet. Hier sollen die Gründe für diese Fehlereinflüsse näher untersucht werden.

## 1 Einführung

Die chromatisch-konfokale Mikroskopie ist aufgrund der Möglichkeit zur Erfassung eines Höhenwertes ohne mechanischen Scan ein vielversprechendes Verfahren für den Einsatz in der optischen Profilmesstechnik. Vor allem im fertigungsnahen Einsatz ist es bei Vibrationen durch die Produktionsumgebung aufgrund der schnellen Tiefenmessung robuster im Vergleich zu anderen Messverfahren, die mehrere Aufnahmen für ein Höhenprofil benötigen. Die Messung erfolgt bei diesem Messprinzip durch die Erfassung und Auswertung des Spektrums einer breitbandigen Lichtquelle. Bei der Messung von rauen Oberflächen werden allerdings starke Signaldeformationen beobachtet. In dieser Arbeit werden die möglichen Fehlereinflussquellen untersucht. Dazu wird ein chromatisch-konfokaler Punktsensor mit veränderbarer Spektrometer-konfiguration verwendet und das Signalverhalten bei verschiedenen Bandbreiten und Rauheitsprofilen bestimmt.

## 2 Chromatisch konfokale Mikroskopie

Das chromatisch konfokale Prinzip basiert auf der spektralen Aufspaltung durch chromatische Längsaberrationen im Objektraum einer breitbandigen Lichtquelle [1]. Somit wird für jede Wellenlänge eine andere Fokuspunktlage auf dem Objekt generiert. Durch eine konfokale Diskriminierung des reflektierten Lichts kann der Höhenwert durch die Auswertung der Intensitätswerte im Spektrum bestimmt werden. Somit erhält man mit nur einer Aufnahme ohne einen mechanischen Scan einen Höhenwert für einen Objektpunkt [2].

Dies ist ein Grund, weshalb die chromatisch konfokale Mikroskopie (CCM) sich als ein sehr vielversprechendes Messverfahren für die Fertigungsmesstechnik etabliert hat. Da in diesem Umfeld aber vorrangig technische Objekte mit rauen Oberflächen als Messobjekte auftreten, müssen die Fehler, die bei diesem Messverfahren aufgrund

der Oberflächeneigenschaften auftreten, näher untersucht werden.

Für die Untersuchung des Einfluss von rauen Oberflächen auf das Sensorsignal wird der in Abb. 1a abgebildete Sensoraufbau verwendet. Zur spektralen Aufspaltung wird ein diffraktives optisches Element (DOE) als Kollimator verwendet. In Tab. 1 sind die wichtigsten Daten des Sensors zusammengefasst. Für die Aufzeichnung des Signals wird der Spektrometeraufbau aus Abb. 1b verwendet. Das Licht wird achromatisch kollimiert, mit einem Gitter (600 Linienpaare/mm) aufgespalten und auf die CCD Kamera achromatisch abgebildet.

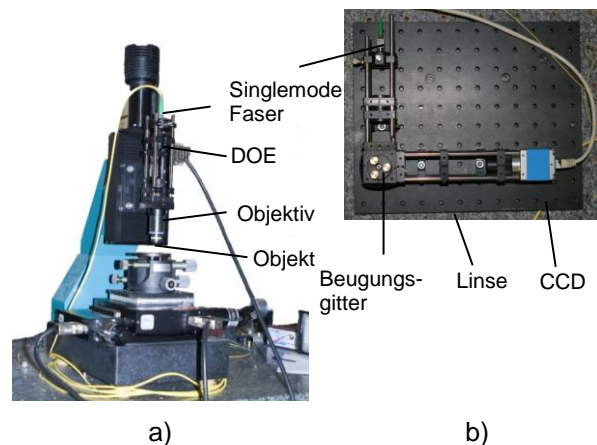


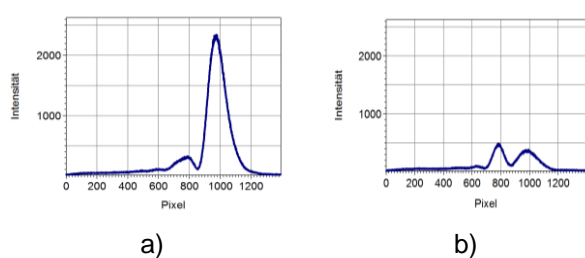
Abb. 1 a) Chromatisch-konfokaler Sensor b) Spektrometer zur Aufzeichnung des Signals

Lichtquelle	Super Lumineszenz Diode (fasergekoppelt)
Wellenlängenbereich	800-860 nm
Vergrößerung des Objektivs	63x
Numerische Apertur	0,95
Brennweite DOE (830nm)	24 mm

Tab. 1: Daten des chromatisch konfokalen Sensors

### 3 Messungen an rauen Oberflächen

Bei der Messung von rauen Oberflächen mit chromatisch konfokalen Sensoren werden starke Signaldeformationen beobachtet. In Abb. 2 sind beispielhaft zwei Signale des Sensors bei der Vermessung einer rauen Oberfläche an zwei verschiedenen Punkten dargestellt. Während in Abb. 2a ein konfokales Signal mit einer gaußähnlichen Intensitätsmodulation über den Wellenlängenbereich erkennbar ist, existiert in Abb. 2b eine starke Deformation des Signals. Es ist offensichtlich, dass dies zu einer Verschlechterung der Messzuverlässigkeit führt. In ersten experimentellen Untersuchungen wurde festgestellt, dass eine unvollständig ausgeleuchtete Pupille nicht die alleinige Ursache ist.

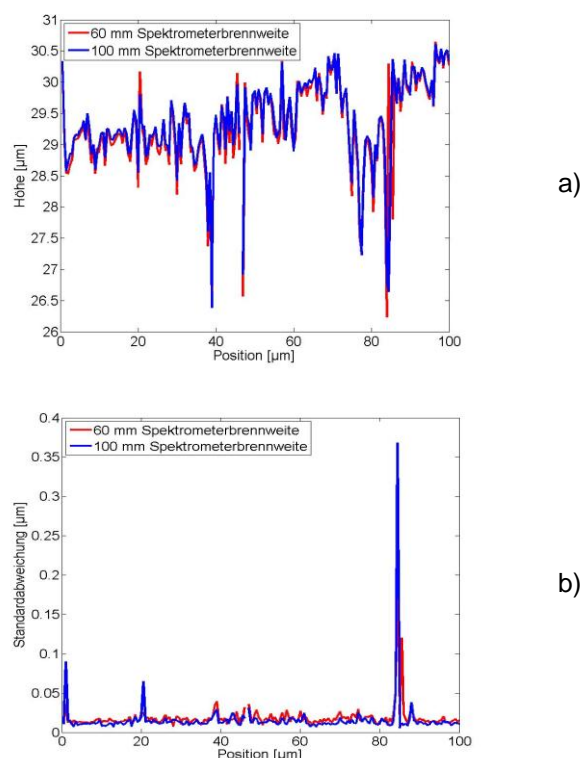


**Abb. 2** Signal eines chromatisch konfokalen Sensors an verschiedenen Positionen einer rauen Oberfläche

Eine weitere mögliche Ursache für die Signaldeformation ist das Auftreten von Speckling an der rauen Oberfläche. Dies muss vor allem bei den Messverfahren berücksichtigt werden, die eine spektrale Aufspaltung des Lichts vornehmen, da dadurch die zeitliche Kohärenz drastisch erhöht wird. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob durch eine Reduzierung der Spektrometerauflösung und der damit verbundenen Erhöhung der spektralen Bandbreite pro Pixel, eine Reduzierung des Rauschens erreicht werden kann.

In Abb. 3 sind die Ergebnisse dargestellt. Dabei sind in Abb. 3a die gemessenen Höhenwerte bei einem lateralen Scan über einen Weg von 100  $\mu\text{m}$  über ein Raunormal der Fa. Halle mit einer mittleren Rauheit von  $R_a=1,5 \mu\text{m}$  dargestellt. Durch eine Veränderung der Brennweite der Fokussierungslinse wurde die Spektrometerauflösung verändert. Allerdings ist anhand der Bestimmung der Standardabweichung (siehe Abb. 3b) erkennbar, dass diese unabhängig von der Spektrometerauflösung ist. Dies belegt auch die Berechnung des Specklekontrast in Abhängigkeit von der Bandbreite. Hier wird festgestellt, dass der Specklekontrast erst dann reduziert wird, wenn die Kohärenzlänge des Lichts kleiner als die Rauheit der Oberfläche ist [3]. Dies kann bei Messverfahren, die auf der spektralen Auswertung des Lichtes beruhen, nicht erreicht werden, da hier immer die Bandbreite des Lichts auf den einzelnen Pixel des Spektrometers betrachtet werden muss.

In dem verwendeten Demonstrator kommt eine Single-mode-Faser zum Einsatz. Dadurch weist die verwendete Lichtquelle auf Grund des geringen Kerndurchmessers eine hohe räumliche Kohärenz auf. Sollen nun bei diesem Messverfahren die kohärenten Einflüsse vermieden oder reduziert werden, so bleibt die Möglichkeit, die räumliche Kohärenz zu reduzieren. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung einer Multi-mode-Faser mit einem großen Kerndurchmesser erzielt werden. Allerdings wird dadurch das laterale Auflösungsvermögen reduziert, da in diesem Fall der Messspot auf dem Objekt deutlich größer wird. Des Weiteren kann eventuell durch die Zerstörung der Polarisation eine Reduzierung der Kohärenzeigenschaften des Lichtes erfolgen.



**Abb. 3** a) Höhenwerte der Messung eines Halle Raunormals bei einem lateralen Scan b) Standardabweichung der Messergebnisse; Bestimmung der Standardabweichung auf Basis von 23 Einzelmessungen für zwei Brennweiten im Spektrometer

### Literatur

- [1] G. Molesini, G. Pedrini, P. Poggi, F. Querciolo: "Focus-wavelength encoded optical profilometer," *Optics Communications* **49**(4), 229–233 (1984)
- [2] A. K. Ruprecht, K. Körner, T. F. Wiesendanger, H. J. Tiziani, W. Osten: "Chromatic confocal detection for high speed micro-topography measurements," *SPIE* **5302**(6), 53–60 (2004)
- [3] H. M. Pedersen: "On the Contrast of Polychromatic Speckle Patterns and its Dependence on Surface Roughness," *Optica Acta: International Journal of Optics* **22**(1), 15–24 (1975)