

# Parallelisierte chromatisch-konfokale Mikroskopie mit einem Mehrkanalspektrometer

Robert Weiß, Matthias Hillenbrand, Adrian Grewe, Stefan Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, IMN MacroNano<sup>®</sup>, Technische Universität  
Ilmenau

<mailto:robert.weiss@tu-ilmenau.de>

Die konfokale Mikroskopie ist ein weit verbreitetes Verfahren der industriellen Messtechnik. Wir präsentieren ein chromatisch-konfokales Messsystem, das sich eines Farblängsfehlers zur parallelen Erfassung der Tiefeninformationen an mehreren lateralen Messpunkten bedient. Die Auswertung der Messdaten erfolgt mit einem Mehrkanalspektrometer.

## 1 Einleitung

Die konfokale Mikroskopie ist ein optisches, non-taktiler Verfahren der Oberflächenmesstechnik. Es wird in vielen Bereichen der Industrie, wie der Qualitätssicherung und in der Produktionsüberwachung, eingesetzt. Dabei wird bei der konventionellen konfokalen Mikroskopie die Tiefeninformation sequentiell mit einer axialen Scanbewegung erfasst [1,2].

Ein wesentliches Ziel der im Bereich der konfokalen Mikroskopie besteht in der Parallelisierung der Messung um eine höhere Messgeschwindigkeit zu erreichen.

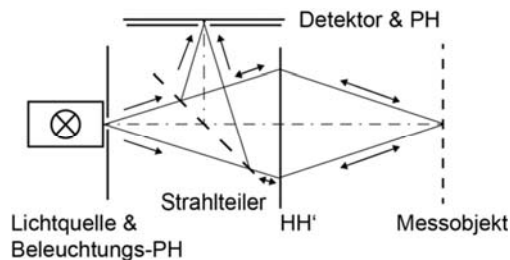


Abb. 1 Konfokales Messprinzip

## 2 Konfokales Prinzip

Ein konfokales Mikroskop besteht aus einer monochromatisch beleuchteten Beleuchtungs-Lochblende (Pinhole, PH), das mit einer Optik auf das Messobjekt in den Objektraum abgebildet wird (Abb. 1). Das Licht wird am Messobjekt reflektiert bzw. gestreut und durchläuft die Optik erneut. Steht das Messobjekt dabei exakt im Fokus der Optik, wird das reflektierte Licht im Rücklauf genau auf das Detektions-Pinhole abgebildet und die transmittierte Intensität ist maximal [1]. Bei einer Defokussierung kommt es zu einem rapiden Abfall der Intensität des transmittierten Lichtes. Durch

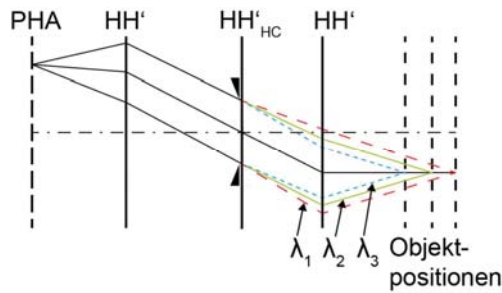
eine axiale Scanbewegung kann die Position der maximalen Intensität und somit der Objektstand bestimmt werden (Abb. 1).

## 3 Chromatisch-konfokales Messprinzip

Der beim konfokalen Prinzip erforderliche axiale Scan kann durch den Einsatz einer polychromatischen Lichtquelle und der Erzeugung eines definierten Farblängsfehlers im Objektraum eliminiert werden. Der Farbfehler wird häufig über ein speziell ausgelegtes hyperchromatisches (HC) Element generiert. Dieses Verfahren wird als chromatisch-konfokale Mikroskopie bezeichnet. Es erzeugt einen axial ausgedehnten Fokus im Objektraum. In jede axiale Tiefe wird eine andere Wellenlänge fokussiert. Daher wird an jeder Objektposition eine andere Wellenlänge im Rücklauf durch das Detektions-Pinhole transmittiert. Das Pinhole dient als spektraler Filter und die spektrale Auswertung des transmittierten Lichtes liefert dabei die Höhe des Messobjektes. Ein axialer Scan ist nicht mehr erforderlich.

## 4 Parallelisierung mit Pinholearrays

Zur weiteren Erhöhung der Messgeschwindigkeit kann der von einer Einzelmessung lateral untersuchte Bereich vergrößert und die erforderliche Scanbewegung verkleinert bzw. vermieden werden. Der von uns verfolgte Ansatz besteht in der Verwendung eines Arrays von Pinholes (PHA) und somit der gleichzeitigen Erfassung und Auswertung mehrerer lateraler Messpunkte mit einer Einzelmessung und einer einzelnen Optik. Eine derartige Anordnung erfordert Telezentrie für einen großen Wellenlängenbereich, andernfalls würde es zu einer lateralen Verschiebung der Messpunkte bei unterschiedlichen Objektständen kommen.

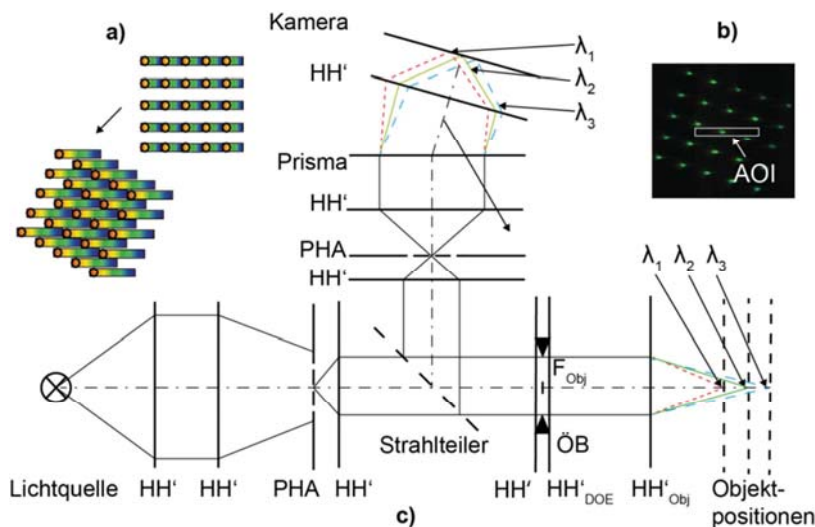


**Abb. 2** Parallelisierung mit Pinholearray und breitbandiger Telezentrie.

Eine telezentrische Messung für alle Messpunkte und Wellenlängen wird durch das Einbringen einer hyperchromatischen Linsegruppe in die Öffnungsblende und den Fokus der objektseitigen Linsegruppe erreicht (Abb. 2). Diese Linsegruppe besteht aus einer refraktiven Linse und einem diffraktiven optischen Element mit entgegengesetzten Brechkraften, die nur für eine einzelne Wellenlänge den gleichen Betrag besitzen. Der Farblängsfehler kann durch den Austausch dieses Elements auf die jeweilige Messaufgabe angepasst werden.

## 5 Messsystem

Das vollständige Messsystem ist in Abb. 3c schematisch dargestellt. Eine breitbandige Lichtquelle wird mit angepasster numerischer Apertur auf das Beleuchtungs-Pinholearray abgebildet. Über den Objektarm erfolgt eine Abbildung des PHAs auf das Messobjekt und die Erzeugung des Farblängsfehlers. Nach der Reflexion am Messobjekt durchlaufen die Lichtbündel das optische System erneut und werden auf das Detektions-Pinholearray fokussiert [6]. Die räumliche Trennung von Beleuchtungs-Pinholearray und Detektions-Pinholearray dient der Reflex- und Störlichtminimierung im System. Zur Auswertung des transmittierten Lichtes kommt ein Mehrkanalspektrometer zum Einsatz, welches aus einem Prisma



**Abb. 3** Schematischer Aufbau des Messsystems

und einer CCD besteht. Durch das Verdrehen der PHAs gegenüber dem Prisma, kann eine bessere Ausnutzung des CCD-Chips erreicht werden (Abb. 3a) [2]. Die Auswertung der Messsignale erfolgt anhand der lateralen Position der einzelnen Messpunkte innerhalb einer festgelegten area of interest (AOI) für jeden Messpunkt (Abb. 3b) [4,5]. Zunächst wurde ein proof of concept System aufgebaut. Dieses wurde anschließend modifiziert und optimiert. Dabei konnte eine spektrale Halbwertsbreite des gefilterten Lichtes von 5 nm, ein Messfeld von 8,3 mm Durchmesser und ein maximaler Spotradius 5  $\mu\text{m}$  realisiert werden. Außerdem kann der Messbereich durch den Austausch des hyperchromatischen Elements von 2,5 bis 12,5 mm variiert werden.

## 6 Zusammenfassung / Ausblick

Es wurde ein Messsystem vorgestellt, welches das chromatisch-konfokale Prinzip auf eine Array lateraler Messpunkte erweitert, die parallel ausgewertet werden. Die Integration eines Mikromechanischen Systems zur Aktuierung der Pinholearrays ist Gegenstand weiterführender Arbeiten.

## 7 Danksagung

Die Autoren danken dem TMWAT und dem Europäischen Sozialfonds (FKZ: 2012 FGR 0014), dem BMBF (FKZ: 16SV5575K, 16SV5384), der DFG (FKZ: 2667/1-1, SI 573/9-1) und dem TMBWK (FKZ: B514-10062) für die Förderung.

## 8 Literatur

- [1] Wilson, T.; Sheppard, C.: *Theory and Practice of Scanning Optical Microscopy* Academic Press, 1984
- [2] Courtes, G.: *An Integral Field Spectrograph (IFS) for Large Telescopes, Instrumentation for Astronomy with Large Optical Telescopes*, Proceedings of IAU Colloq. 67, Reidel, Astrophysics and Space Science Library, v. 92, 198
- [3] Kino, G. S.; Corle, T. R.: *Confocal Scanning Optical Microscopy and Related Imaging Systems*. Academic Press, 1996
- [4] Körner, K.: *Verfahren und Anordnung zur schnellen, ortsauflösenden, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging oder zur 3D-Erfassung mittels Spektroskopie*, DE102006007172 B4, 2006
- [5] Körner, K.: *Verfahren und Anordnung zur schnellen und robusten chromatisch konfokalen 3D-Messtechnik*, DE102007007172 B4, 2007
- [6] Graser, R.: *Messanordnung sowie Verfahren zum dreidimensionalen Messen eines Objektes*, DE102009025815 A1, 2009