

Entwicklung von Normalen für die Charakterisierung von Asphären-Messgeräten

Gernot Blobel*, Axel Wiegmann*, Susanne Quabis*, Michael Schulz*,
Andreas Müller**, Eberhard Manske**

*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

**TU Ilmenau, Ehrenbergstraße 29, 98693 Ilmenau

<mailto:gernot.blobel@ptb.de>

Zur Charakterisierung optischer und taktiler Asphären-Messgeräte sind Oberflächen notwendig, deren Formen weitestgehend bekannt sind. Dazu werden zum einen Normale mit typischen asphärischen Oberflächenanteilen verwendet. Zur Charakterisierung wichtiger Eigenschaften der Messgeräte werden Normale mit zusätzlichen Formanteilen benötigt.

1 Einführung

Für die Charakterisierung von Messgeräten, die in der industriellen Oberflächenmesstechnik von Asphären eingesetzt werden, sind metrologische Vergleichsgegenstände (Normale) notwendig. Deren Form sollte dabei weitestgehend bekannt und mit unterschiedlichen Messgeräten und Messverfahren, wie z.B. punktuell und flächig messenden Systemen, messbar sein. Als applikationsnahe Normale kommen vor allem handelsübliche Asphären zum Einsatz. Zur genauen Charakterisierung wichtiger Eigenschaften der Messgeräte, wie z.B. laterale Auflösung, Abweichungen bei der Höhenmessung, benötigt man darüber hinaus Oberflächen, die sich von typischen Asphären unterscheiden. Wir entwickeln solche Oberflächennormale („metrologische Normale“) und stellen hier verschiedene Designideen für unterschiedliche Aufgaben vor. Bestimmte Formanteile der Normale können mit geringer Unsicherheit über spezielle Messverfahren bestimmt werden. Darüber hinaus wird die Verwendung von Markern vorgestellt, welche in Messvergleichen von Normalen die Vergleichbarkeit der Daten steigern sollen [1].

2 Asphärische Normale

Applikationsnahe Normale sind handelsübliche asphärische Oberflächen, die auch in optischen Systemen verwendet werden könnten. Eine Herausforderung ist die genaue Messung einer solchen Oberfläche. Eine Möglichkeit hierfür ist, die gleiche Oberfläche mit verschiedenen Messsystemen zu messen und den gewichteten Mittelwert (gewichtet entsprechend der für jedes Messsystem angegebenen Messunsicherheit) zu bestimmen. Mit Hilfe solcher Asphärennormale können Messabweichungen bei anderen Messgeräten bestimmt und insbesondere geprüft werden, ob die Abweichungen mit den angegebenen Messunsicherheiten kompatibel sind. Nicht zuletzt können damit Asphären-Messgeräte kalibriert werden.

3 Metrologische Normale

Die sich derzeit im Entwicklungsstadium befindlichen metrologischen Normale haben eine sphärische Basisfunktion. Auf die Kugelsegmente werden zusätzliche Formanteile aufgebracht, z.B. verschiedene Ortsfrequenzen, unterschiedlich starke Steigungen und Abweichungen von einer Sphäre oder nicht-rotationssymmetrische Anteile. Dadurch entstehen rotationssymmetrische Oberflächen und nicht-rotationssymmetrische Freiformflächen.

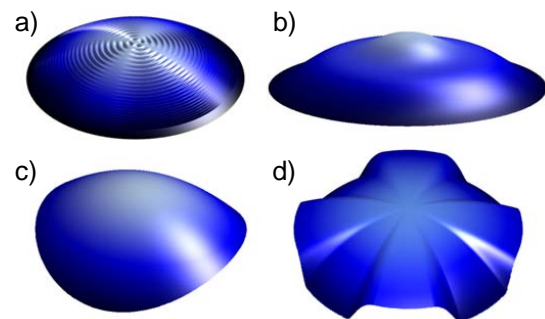


Abb. 1 3D Oberflächenplots der entwickelten Normale mit a) moduliertem Chirp b) eingearbeiteten Plateaus c) Abweichungen in Form von Abbildungsfehlern (Zernike) und d) verschiedenen Sphärensegmenten.

In Abb. 1 sind vier verschiedene Normale dargestellt, welche allerdings für die Sichtbarkeit der Charakteristika in der Abbildung stark überzeichnet sind. Das erste dargestellte Normal (Abb. 1.a) besteht aus einem Kugelsegment mit einer Chirp-Struktur, in radialer Richtung mit variabler Ortsfrequenz. In Azimutalrichtung ist die Amplitude der Topografie ebenfalls moduliert. Mit diesem Normal kann die laterale Auflösung eines Messgeräts bestimmt werden. Das zweite Normal (Abb. 1.b) ist rotationssymmetrisch und hat durch eine zusätzliche Funktion eingebrachte Plateaus und dient zur Bestimmung der Höhengenaugigkeit. Das dritte und vierte Normal (Abb. 1.c und 1.d) sind spezielle

nicht-rotationssymmetrische Freiformflächen. Beim dritten werden Oberflächenanteile eingebracht, die einzelnen Zernike Polynomen entsprechen, um typische Justage- und Abbildungsfehler charakterisieren zu können. Beim vierten Normal (Abb. 1.d) handelt es sich um Multi-Sphären-Oberflächen, bei der Kugelsegmente mit unterschiedlichem Radius kombiniert sind. Diese können 2-, 3- oder 4-teilig rotationssymmetrisch angeordnet sein. Die verschiedenen Kugelsegmente haben alle denselben Scheitelpunkt. Die Höhenunterschiede zwischen den Kugelsegmenten werden über eine stetig und differenzierbare Funktion miteinander verbunden. Die unterschiedlichen Krümmungsradien des Multi-Sphären-Normals werden mit geringer Unsicherheit über ein hochgenaues interferometrisches Messverfahren bestimmt. Das Prinzip ist in Abb. 2 gezeigt. Die Entfernung zwischen einer sphärischen Fläche und dem entsprechenden Krümmungsmittelpunkt entspricht dabei dem Radius einer Sphäre. Für die unterschiedlichen Radien wird der gemeinsame Scheitelpunkt für die „cat’s-eye“ Position, im Fokuspunkt des vom Interferometer ausgehenden Strahlenbündels, verwendet. Durch Verschieben des Normals entlang der optischen Achse werden die verschiedenen konfokalen Positionen angefahren. Mit einem Längensmessinterferometer können die Krümmungsradien anhand der Entfernung bestimmt werden [2].

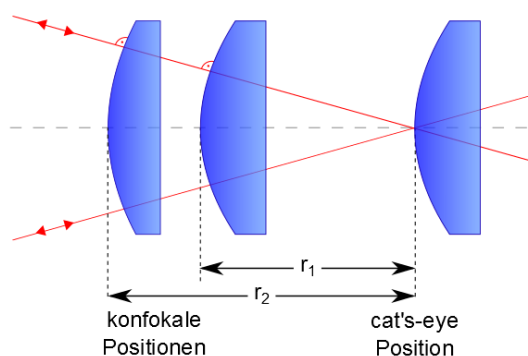


Abb. 2 Interferometrisches Messverfahren zur absoluten Radiusmessung sphärischer Oberflächen für zwei unterschiedliche Radien.

Für die Prototypenfertigung der metrologischen Normale wird ein Grundkörper aus Kupfer mit einer ultrapräzisen Diamantdrehbearbeitung gefertigt. Dieser wird in einem weiteren Schritt mit einer NiP-Schicht beschichtet und darin wird die Form nachgedreht.

4 Anwendung von Markern

Marker auf den Normalen sollen die Justierung des Normals relativ zum Messsystem verbessern und damit bei Messvergleichen die Vergleichbarkeit der Daten steigern. Diese Messmarken sollen für verschiedene Messsysteme sichtbar und messbar sein. Jeder Marker referenziert eine Position auf der Oberfläche. Um solche Marker auf die optische

Oberfläche zu bringen, wurden mit der Nanopositionier- und Nanomessmaschine NMM-1 Chrom-Beschichtungen mittels scannender Lithographie belichtet und nach herkömmlichen lithografischen Verfahren prozessiert [3]. Ein Beispiel ist in Abb. 3 zu sehen.

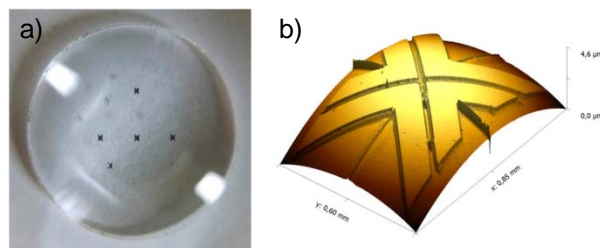


Abb. 3 Chrom-Messmarken a) Anordnung auf einer Linse b) Messung einer Marke

5 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Charakterisierung von Asphären-Messgeräten in Industrie und Forschung wurde die Anwendung von Normalen vorgestellt. Mit asphärischen Normalen, deren Topografie mit geringer Unsicherheit bekannt ist, können Messgeräte kalibriert und die angegebenen Messunsicherheiten überprüft werden. Die vier vorgestellten metrologischen Normale haben spezielle Eigenschaften, mit denen spezifische Fehlereinflüsse der Messgeräte aufgedeckt und quantifiziert werden sollen. Eine Weiterentwicklung der Herstellung von metrologischen Normalen ist beabsichtigt. Die Applikation von Messmarken soll die Anwendung bei Messvergleichen und die Auswertung der Daten erleichtern.

Danksagung

Wir danken dem EMRP für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Projekt »Optical and tactile metrology for absolute form characterization«. Das EMRP wird von den im EMRP teilnehmenden Staaten innerhalb von EURAMET und der Europäischen Union gemeinschaftlich gefördert.

Literatur

- [1] M. Schulz, G. Blobel, C. Elster, G. Baer, U. Nehse, R. Meeß, H. Klawitter, „Asphären – Warum Messtechnik so wichtig ist“, in: *nanoTECHNOLOGIE aktuell*, ISSN 1866-4997, (2013)
- [2] Lars A. Selberg, „Radius measurement by interferometry“, in *Optical Engineering* 31(9), 1961-1966, (1992)
- [3] E. Manske, G. Jäger, T. Hausotte, R. Füßl, „Recent developments and challenges of nanopositioning and nanomeasuring technology“ in: *Measurement Science and Technology*, Vol. 23, 074001 (10pp), (2012)