

**ilmedia**

  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

---

*Polte, Galina; Rennert, Klaus-Jürgen; Linß, Gerhard:*

***Korrektur von Abbildungsfehlern für optische Messverfahren***

---

*Publikation entstand im Rahmen der Veranstaltung:*

Workshop "Flexible Montage", Ilmenau, 09. - 10.03.2010

Polte, G.; Rennert, K.-J.; Linß, G.

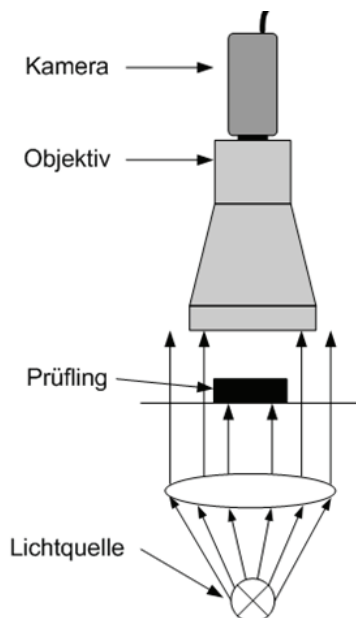
## Korrektur von Abbildungsfehlern für optische Messverfahren

### Einleitung

Dieser Beitrag behandelt die Qualität und Genauigkeit von Bildverarbeitungssystemen zur Messung von Objekten. Eine Hauptursache von systematischen Abweichungen von Bildverarbeitungsmesssystemen wird näher beschrieben. Anhand der Untersuchung der Bilder wird die Verzeichnung des optischen Messsystems gemessen, mathematisch beschrieben und anschließend korrigiert. Hierbei ist das Ziel die Korrektur der Bildfehler, um somit die Genauigkeit von Messungen zu erhöhen.

Diese Arbeit ist im Rahmen des Michail Lomonosov Stipendiumprogramms mit Unterstützung des DAAD und des Russischen Ministeriums für Forschung und Bildung entstanden.

### Optische Messsysteme



Es gibt verschiedene Messverfahren, die sich in taktile und kontaktlose Messverfahren unterteilen. Durch taktile Messverfahren werden hohe Genauigkeiten erreicht, aber die Einsatzmöglichkeiten sind begrenzt. Da ein Kontakt zum Messobjekt hergestellt wird, sind diese Verfahren für die Messung von sehr empfindlichen Objekten (z. B. Mikrolinsen) nicht geeignet. Wenn man für die flexible Montage genaue Messwerte benötigt, z. B. für die Montage von Mikroskopobjektiven, ist es sinnvoll, nur kontaktlose Messverfahren zu verwenden.

Hauptkomponenten des optischen Messsystems sind Kamera, Objektiv, Beleuchtung, Positioniersystem und Software zur Bildverarbeitung (Bild 1).

Bild 1: Optisches Messsystem

Jede dieser Komponenten kann Ursache für systematische Abweichungen des Messergebnisses sein.

Anhand des Gesamtfehlers des Messsystems ist nicht eindeutig zu sehen, welche Komponente die Messabweichungen verursacht hat. Aus diesem Grund gibt es hohe Anforderungen an jede Komponente und an das gesamte System, wenn eine hohe Genauigkeit der Messung erreicht werden soll. Das führt zu hohen Kosten des gesamten Messsystems.

### Korrektur der systematischen Abweichungen des optischen Messsystems

Zur Ermittlung der systematischen Abweichungen des optischen Messsystems wurde ein kalibriertes Etalon (Bild 2) und die Bildverarbeitungssoftware „Osprey“ benutzt. Das Etalon besteht aus Glas mit aufgedampften Chromstrukturen. Die Koordinaten der Kreismittelpunkte sind mit einer Unsicherheit von  $0,15 \mu\text{m}$  bekannt.

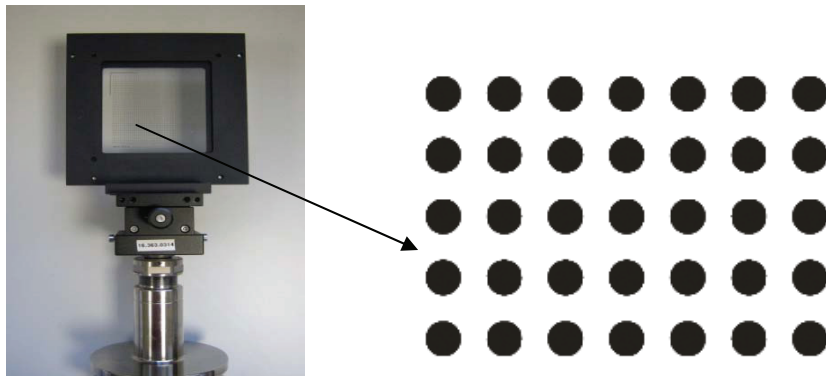


Bild 2: Etalon

Die Software des Bildverarbeitungssystems „Osprey“ wurde an der Fakultät Maschinenbau der TU Ilmenau, Fachgebiet Qualitätssicherung unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß entwickelt [1]. Die numerische Messunsicherheit der Software „Osprey“ beträgt weniger als ein Mikrometer. Als Beispiel werden die Standardabweichungen und die Spannweiten für 10 Messungen an einem Etalon mit 280 Punkten im Bild 3 dargestellt.

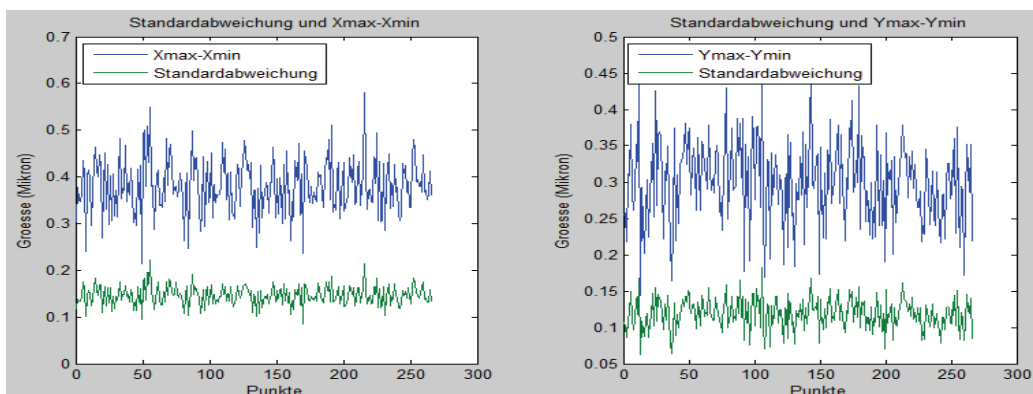


Bild 3: Die Standardabweichungen und die Spannweiten

Durch die Abbildung des Messobjekts mit dem optischen Messsystem verfügt das

digitale Bild der Messszene über systematische Messabweichungen von z. B. 20-50  $\mu\text{m}$ . Theoretisch können Prüfmerkmale im Bild mit einer wesentlich geringeren Unsicherheit ( $<1 \mu\text{m}$ ) bestimmt werden, aber durch optische Unstetigkeiten hat das aufgenommene Bild einen größeren Fehler.

Für die Berechnung des systematischen Fehlers wurden Mittelpunkte der Kreise des Etalons (Bild 2) gemessen und mit den Sollwerten verglichen. Beispiele von systematischen Abweichungen von verschiedenen optischen Messsystemen sind in Bild 4 dargestellt.

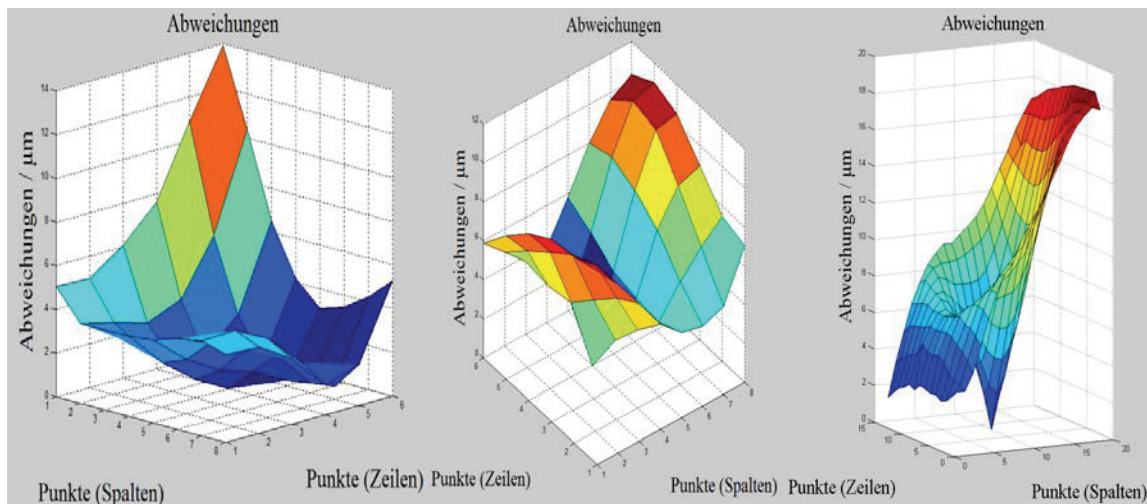


Bild 4: Darstellung der systematischen Abweichungen verschiedener optischer Systeme

Es ist zu vermuten, dass ein großer Anteil der Gesamtabweichung des Messsystems durch das optische System verursacht wird. Die Verzeichnung bestimmt einen großen Anteil an der Gesamtabweichung. Auch die Berechnung des Pixelfaktors hat Bedeutung, d. h. welches Gebiet des Bildes für die Pixelfaktorberechnung gewählt wurde. Im Allgemeinen hat das Bild in der Mitte ein Minimum an Abweichungen gegenüber den Randgebieten, aber diese Tatsache wird kaum für die Pixelfaktorberechnung berücksichtigt.

Für die Asymmetrie der Messabweichung können verschiedene Gründe, die schwer zu bestimmen sind, verantwortlich sein. Zum Beispiel haben die Linsen in dem Objektiv Form- und/oder Zentrierfehler oder der Sensor in der Kamera ist nicht ideal eingebaut. Auch die Positionierung des Messobjektes hat eine Bedeutung. Die zu messende Fläche des Objektes und der CCD-Chip der Kamera müssen sich rechtwinklig zur optischen Achse befinden.

Unter der Leitung von Dipl.-Phys. K.-J. Rennert, Dipl.-Ing. C.-B.Nopper und auf den Grundgedanken von Dr.-Ing. Dipl.-Math. Thomas Ortlepp wurden ein mathematisches Modell und eine Software für die Korrektur von Abbildungsfehlern für optische Messsysteme entwickelt [2]. Dieses Modell kann auch für andere Messverfahren im

Bereich Bildverarbeitung genutzt werden. Für das Korrekturverfahren wurde das gesamte Bild in kleine Bereiche eingeteilt und durch Flächenapproximation mathematisch beschrieben, um Korrekturkoeffizienten zu bestimmen. Als Beispiel werden im Bild 5 die Abweichungen eines optischen Messsystems und die Restabweichungen nach der Korrektur dargestellt.

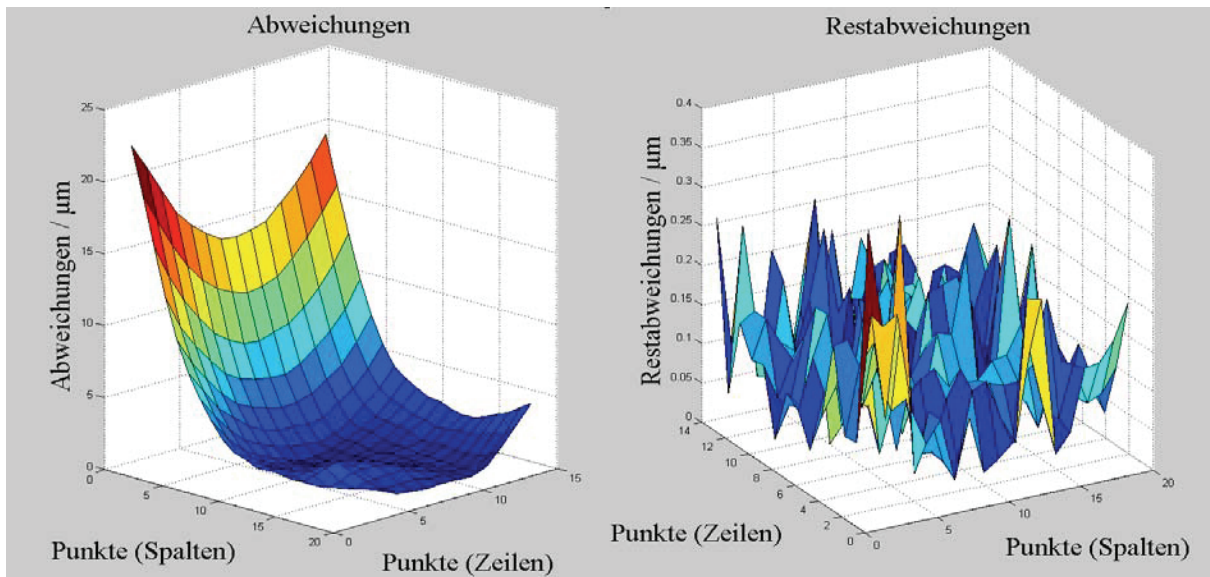


Bild 5: Abweichungen und Restabweichung nach der Korrektur

Dieses Korrekturverfahren wurde an verschiedenen optischen Messsystemen getestet und verringert die Größe der systematischen Abweichungen von 20-50  $\mu\text{m}$  auf weniger als 0,5-1  $\mu\text{m}$ . In Zukunft ist geplant, noch größere systematische Abweichungen zu korrigieren.

#### Referenzen:

- [1] OSPREY Bedienungsanleitung. OKM: Optische Koordinatenmesstechnik GmbH, Jena, November 2004
- [2] Недоцука Г.А., Rennert К.-J., Ortlepp Т., Nopper С.-В.: Тестовый метод оценки качества измерительной бесконтактной оптической системы. Находится в печати

#### Autorenangaben:

Dipl.-Ing. Galina Polte  
Dipl.-Phys. Klaus-Jürgen Rennert  
Technische Universität Ilmenau  
98693 Ilmenau  
Phone: +49 3677 69 3835  
Fax: +49 3677 69 3823  
E-mail: klaus.rennert@tu-ilmenau.de