

Telezentrischer Linienscanner auf Basis eines Ringflächenspiegels zur Oberflächenanalyse von Bauteilen

F. Loosen*, W. Iff*, N. Lindlein*, K. Donner**

* Institut für Optik, Information und Photonik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

** alfavision GmbH & Co. KG, Hutthurm

mailto:florian.loosen@physik.uni-erlangen.de

Heutzutage werden in der Inline-Vermessung von Oberflächen, wie z.B. bei der Deformations- und Kratzererkennung bei Aluminiumwalzblechen, telezentrische Objektive eingesetzt, um „unabhängig“ von der Dicke und der Position des Materials zu sein. Dieses telezentrische Prinzip wird durch folgenden Aufbau mit einem Linienscanner vereint.

1 Einführung

Damit Schadstellen an Oberflächen sichtbar werden, benötigt man eine hohe laterale Auflösung sowie einen hohen Schärfentiefebereich. Um diese beiden Kriterien zu erfüllen, wurde von der Firma alfavision GmbH & Co. KG ein telezentrischer Scanner konzipiert [1], der aus einem Ringflächenspiegel, einem Abbildungssystem und einer Zeilenkamera besteht. Im Folgenden sollen deshalb Simulationen eines kostengünstigen optischen Systems vorgestellt werden, das eine ringförmige Scanlinie auf eine Zeilenkamera abbildet und dabei die Abbildungsfehler des Systems minimiert.

2 Scanneraufbau

Das Grundkonzept des Linienscanners besteht aus drei optischen Elementen, die in der Prinzipskizze in Abbildung 1 graphisch dargestellt sind. Dabei wird jeder Hauptstrahl eines Objektstrahlenbündels am Ringflächenspiegel um 90° (45° Tangentialwinkel) abgelenkt. Je nachdem welche Spiegelgeometrie für den Ringflächenspiegel gewählt wird, entsteht somit ein (reelles oder virtuelles) Zwischenbild des Objekts in der horizontalen Spiegelebene, welches durch ein Abbildungssystem auf eine Zeilenkamera abgebildet werden kann.

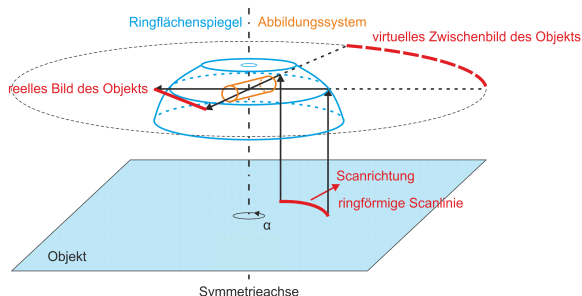


Abbildung 1 Prinzipskizze des telezentrischen Scanneraufbaus mit Ringflächenspiegel, Abbildungssystem und Detektorebene, die sich an der Position des reellen Bildes des Objekts befindet.

3 Design

Die Abbildung des Zwischenbilds durch den Ringflächenspiegel erfolgt nach der paraxialen Abbildungsgleichung und es entsteht folgender Zusammenhang:

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{g} = \frac{1}{f} \rightarrow b = \frac{fg}{g+f} \quad (1)$$

mit b = Bildweite, g = Gegenstandsweite und f = Brennweite des Ringflächenspiegels, wobei aufgrund des Einfallwinkels von 45° die Brennweite gleich dem Radius des Spiegels ist.

Als Querschnittskurve des Spiegels wurde für die Anwendung ein hyperbelförmiger Kegelschnitt (Abbildung 2) verwendet, da dieser für Strahlen in der Ebene des Kegelschnitts ein aberrationsfreies Zwischenbild erzeugt. Dazu macht man sich den geometrischen Zusammenhang zu nutze, dass alle Strahlen, die von einem Brennpunkt des Kegelschnitts ausgehen, sich im anderen schneiden. Im Fall des hyperbelförmigen Kegelschnitts entsteht so ein virtueller Bildpunkt.

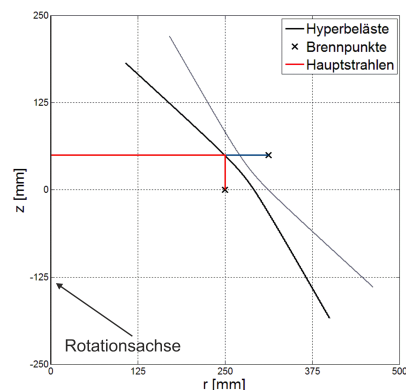


Abbildung 2 Schnittebene der Rotationshyperbel

Aus dem negativen Hyperbelast (Rotationshyperbelsegment) kann nun der Ringflächenspiegel geformt werden, indem dieser um die vertikale Achse um

einen definierten Feldwinkel α rotiert (Abbildung 1). Die sphärischen Aberrationen in der Rotationsebene sind aufgrund kleiner numerischer Aperturen der Objektstrahlenbündel minimal.

Die Abbildung des durch den Ringflächenspiegel entstandenen virtuellen Zwischenbilds auf den Detektor (Zeilenkamera) erfolgt durch ein Triplet [2], da dieses sowohl relativ kostengünstig als auch einfach zu justieren ist und eine angemessene Abbildungsqualität besitzt. Um die Telezentriebedingung zu erfüllen, muss die Eintrittspupille des Triplets an der Position der Telezentrieblende (Rotationsmittelpunkt) des optischen Systems stehen. In Abbildung 3 ist das Gesamtsystem des Scanners in der Simulation (mit 5 Objektstrahlenbündeln) ersichtlich.

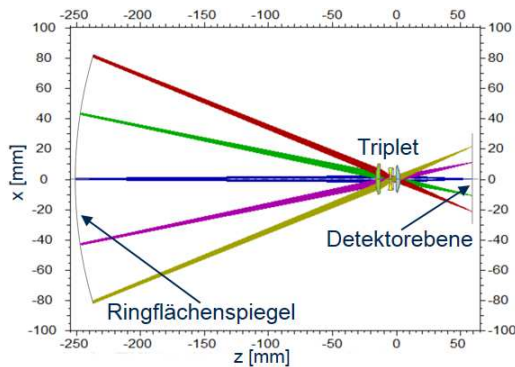


Abbildung 3 Draufsicht des Scanneraufbaus mit Ringflächenspiegel (Rotationshyperbelsegment), Triplet und Detektor. Die ringförmige Scanlinie selbst befindet sich 65 mm unter der Zeichenebene.

Der Feldwinkel des Systems beträgt hierbei $\pm 20^\circ$. Dabei sind in Abbildung 3 nur Objektstrahlenbündel bei Feldwinkeln von 0° , $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$ eingezeichnet.

4 Simulation

Für die Bestimmung der optischen Güte des Systems wurde das simulierte Triplet auf dessen Abbildungseigenschaften untersucht. Dabei muss darauf geachtet werden, dass das Triplet die Petzval-Summe so verändert, dass die Bedingung nach einem „nahezu“ ebenen Bildfeld erreicht wird. Die maximale axiale Abweichung der Bildfeldwölbung beträgt ca. $75 \mu\text{m}$ (Abbildung 4).

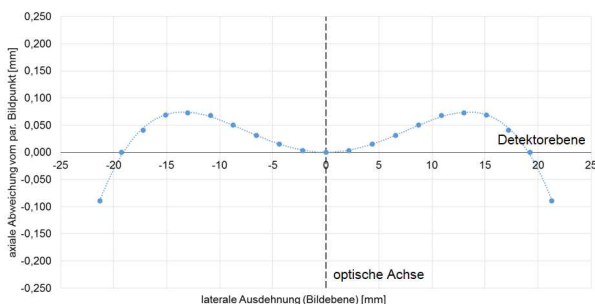


Abbildung 4 Bildfeldwölbung des Abbildungssystems

Betrachtet man sich nun das Gesamtsystem (Spiegel + Triplet) erhält man für die Wellenaberrationen (WAs) und die Punktbildfunktionen (PSFs) in der Detektorebene für Feldwinkel von 0° , 10° und 20° nachfolgende Ergebnisse (Abbildung 5).

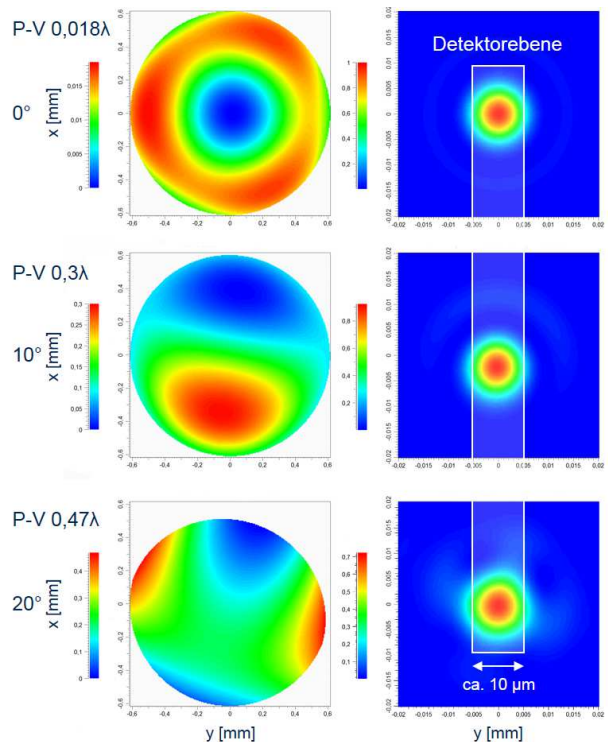


Abbildung 5 WAs (links) und PSFs (rechts) des Gesamtsystems in der Detektorebene

Die Pixelgröße des Detektors beträgt $10 \mu\text{m}$. Die Objektpunkte werden gut auf den Detektor abgebildet. Die Verzeichnung des Triplets kann nachträglich durch Bildverarbeitung korrigiert werden.

5 Zusammenfassung

Das beschriebene System hat einen sehr kompakten Aufbau und kann deshalb gut in einem Inline-Prozess eingesetzt werden. Durch Variation der Parameter Gegenstandsweite (Scanabstand) und Spiegelradius können unterschiedliche Auflösungen und Schärfentiefen in der Objektebene realisiert werden. Durch den einfachen Aufbau kann das System sehr kostengünstig hergestellt werden. Andere optische Systeme zur weiteren Verbesserung der Abbildung von Objektebene auf den Detektor sind in Arbeit.

6 Literatur

- [1] K. Donner, *Vorrichtung zur optischen Erfassung von Prüfobjekten*, EP2500716A2, Europäische Patentanmeldung (alfavision GmbH & Co. KG. Hutthurm, 2012).
- [2] G. Litfin, *Technische Optik in der Praxis*, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage (Springer-Verlag GmbH, Berlin, Heidelberg, 2005).