

Kalibrierung eines Interferometers in streifender Inzidenz

Klaus Mantel, Jürgen Lamprecht, Norbert Lindlein, Johannes Schwider
Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg
Max-Planck-Forschergruppe

mailto: Klaus.Mantel@optik.physik.uni-erlangen.de

In diesem Beitrag werden Kalibrierverfahren für die Interferometrie in streifender Inzidenz untersucht. Die Verfahren beruhen auf dem Mehrstellungstest, wie er in senkrechtem Einfall etwa bei der Sphärenprüfung zum Einsatz kommt, sowie einer Übertragung des Verfahrens der Drehmittelungen auf die streifende Inzidenz.

1 Motivation

Interferometrie in streifender Inzidenz ist ein flexibles Meßverfahren für die optische Metrologie stabförmiger Prüflinge [1]. Das Licht fällt dabei nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel α auf die Oberfläche ein (Abb. 1).

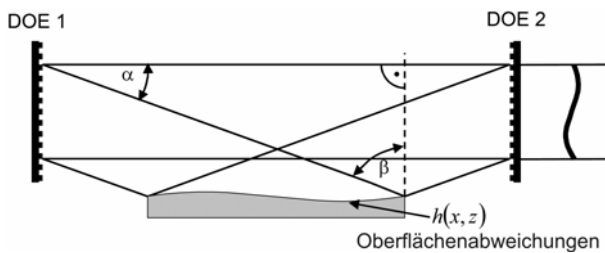


Abb. 1 Das Prinzip der Interferometrie in streifender Inzidenz. Die beiden DOE verwirklichen zusammen einen Nulltest. Die nullte Beugungsordnung wird dabei als Referenzwelle verwendet; die erste Ordnung dient als Objektwellen und enthält nach der Reflexion am Prüfling Information über die Oberflächenfehler $h(x,y)$.

Da somit mehrere Flächen eines Testobjekts gleichzeitig vermessen werden können, kann nicht nur die Qualität, sondern auch die relative Lage und Orientierung dieser Einzelflächen in einem Meßschritt bestimmt werden. Insbesondere bei Zylinderlinsen eignet sich das Verfahren, um die Qualität der Linsen mit wenig Aufwand möglichst vollständig zu charakterisieren [1].

Die absolute Genauigkeit, mit der das Abweichungsprofil der Oberfläche rekonstruiert werden kann, wird jedoch von den systematischen Fehlern des Interferometers begrenzt. In streifender Inzidenz ist dabei – neben der Qualität der verwendeten Optiken und der DOE – die Qualität der Eingangswellenfront wichtig, da die Objektwellen durch die Reflexion am Prüfling invertiert wird. Es liegt nun nahe, bekannte und bewährte Kalibrierverfahren auf die streifende Inzidenz zu übertragen, wie etwa den 3-Stellungstest der Sphärenprüfung [3]. Wie sich zeigt, sind in streifender Inzidenz allerdings mindestens 4 Positionen nötig [4].

2 Der 4-Stellungstest für die streifende Inzidenz

Die Positionen für den 4-Stellungstest sind in Abb. 2 zu sehen. Das Verfahren beruht auf der Idee, die Prüflingsfehler in gerade und ungerade Anteile aufzuteilen und beide durch geeignete Positionierung des Prüflings relativ zum Interferometer zu bestimmen.

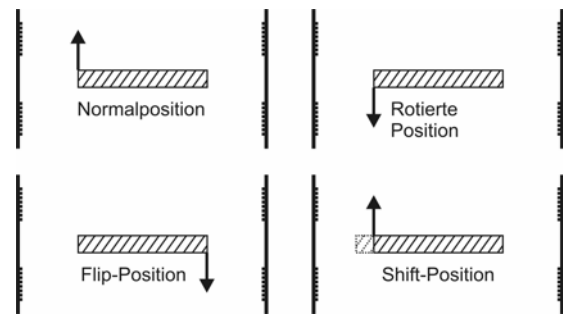


Abb. 2 Der 4-Stellungstest ist analog zum 3-Stellungstest der Sphärenprüfung.

Durch Kombination von rotierter und Normalposition erhält man bereits den ungeraden Fehleranteil, für den geraden sind zusätzlich Flip- und Shift-Position nötig. Beide bilden den Ersatz für die Katzenaugen-Position des 3-Stellungstests, die in streifender Inzidenz nur für einen Teil der Prüflingsfläche einstellbar ist.

Im Vergleich zur senkrechten Inzidenz steigt dadurch allerdings der numerische Aufwand erheblich an [5]. Um die Rechenzeit in praktikablen Grenzen zu halten, wurde der 4-Stellungstest deshalb mit dem Verfahren der Drehmittelungen [6] kombiniert.

3 Der 4-Stellungstest mit Drehmittelungen

Beim Verfahren der Drehmittelungen werden in einer Position insgesamt N Messungen durchgeführt, wobei der Prüfling jedesmal um einen Winkel von $2\pi / N$ rotiert wird. Eine solche Mittelung der Meßergebnisse eliminiert die nicht-rotationssymmetrischen Fehler des Prüflings, mit Ausnahme von Restaberrationen der Periodizität

nN , $n = 1, 2, 3 \dots$ Unter der Annahme, daß diese Restaberrationen nur unwesentlich zum Oberflächenprofil beitragen, liegen in den gemittelten Positionen effektiv rotationssymmetrische Abweichungsbilder der Prüflingsfläche vor. Die Mittelungen werden in der Normalposition, der Flip- und der Shiftposition vorgenommen, wobei die rotierte Position weggelassen und stattdessen die ungemittelte Normalposition verwendet wird (Abb. 3).

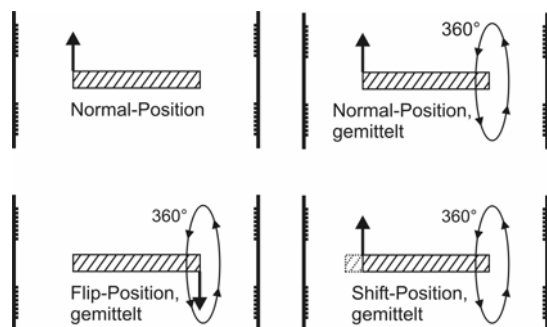


Abb. 3 Der 4-Stellungstest mit Drehmittelungen.

Die Differenz zwischen Normalposition und gemittelter Normalposition ergibt direkt die nicht-rotationssymmetrischen Fehler, da die Interferometerfehler sich bei Bewegungen des Prüflings nicht ändern und bei der Differenzbildung herausheben. Die Differenz zwischen den gemittelten Messungen in der Shift- und der Normalposition führt zum Differenzenquotient der rotationssymmetrischen Fehler, der numerisch integriert werden kann. Die Information über einen Konusfehler des Prüflings geht allerdings verloren: ein solcher linearer Term führt im Differenzenquotient zu einer Konstanten, die in der Interferometrie allerdings wegen der Willkürlichkeit des Phasennullpunkts grundsätzlich unbestimmt ist. Mit Hilfe der gemittelten Flip-Position läßt sich der Konusfehler jedoch rekonstruieren.

4 Meßaufbau

Eine Skizze des zentralen Interferometerbaus ist in Abb. 4 zu sehen.

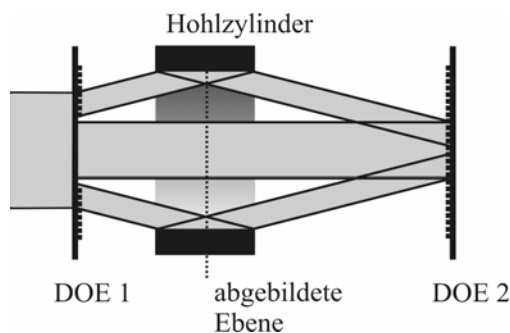


Abb. 4 Die Nulltestkonfiguration, der zentrale Teil des Interferometers.

Der Versuchsaufbau wurde für die Messung von Hohlzylinder-Innenflächen ausgelegt. Die Innen-

zylinderprüfung ist für die Halterung des Prüflings bei den notwendigen Positionswechseln günstiger, da keine Meßwerte ausfallen. Der asymmetrische Aufbau sowie der unstrukturierte Bereich in der Mitte des ersten DOE verhindern Dreistrahlinterferenzen. Eine Teleskopoptik bildet die Mittenebene des Hohlzylinders scharf auf den Detektor ab.

5 Ergebnisse

Für die Diskussion des 4-Stellungstests (ohne Drehmittelungen) sei auf [5] verwiesen. Erwähnenswert ist, daß zwar die Trennbarkeit von Interferometerfehlern und Oberflächenabweichungen gezeigt werden konnte, die Reproduzierbarkeit des Verfahrens allerdings hinter den Erwartungen zurückblieb.

Ein Ergebnis einer Drehmittel-Messung ist in Abb. 5 gezeigt. Die Reproduzierbarkeit des Verfahrens beträgt etwa $\lambda_{\text{eff}} / 70$ und entspricht damit ebenfalls noch nicht den Erwartungen. Die Gründe für dieses Verhalten sind Gegenstand aktueller Forschung.

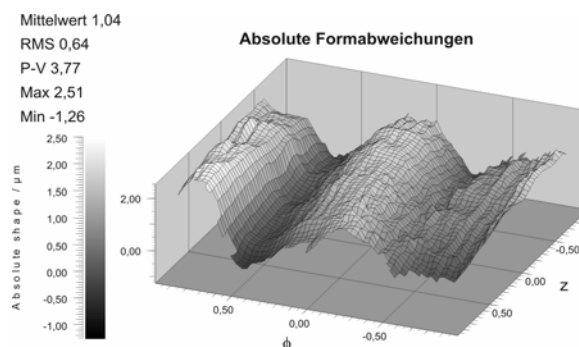


Abb. 5 Meßergebnis an einem Hohlzylinder. Die pv- und rms-Werte sind in μm angegeben.

Literatur

- [1] T. Dresel et al.: „Testing of rod objects by grazing incidence interferometry: theory“, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 15, No. 11 (1998), p. 2921
- [2] K. Mantel et al.: „Simultaneous measurement of the surfaces of cylindrical lenses by grazing incidence interferometry“ in: VDI Kompetenzfeld Opt. Techn. (Hrsg.), International Symposium on Photonics in Measurement, VDI Verlag (2002), p. 29
- [3] K.-E. Elßner et al.: „Absolute sphericity measurement“, Appl. Opt. Vol. 28 (1989), p. 4649
- [4] T. Blümel et al.: „Absolute interferometric calibration of toric and conical surfaces“, SPIE Vol. 3134 (1997), p. 370
- [5] R. Schreiner: „Interferometrie in streifender Inzidenz mit computer-generierten Hologrammen für optische und technische Oberflächen“, Dissertation, Erlangen (2003)
- [6] C. J. Evans et al.: „Test optics error removal“, Appl. Opt. Vol. 35 (1996), p. 1015