

# Untersuchung der Abweichungen zwischen skalarer und rigoroser Rechnung an CGHs in Twyman-Green-Interferometern zur Linsenprüfung

W. Iff\*, S. Glaubrecht\*, N. Lindlein\*, J. Schwider\*

\*Institut für Optik, Information und Photonik, Universität Erlangen-Nürnberg

mailto: wolfgang.iff@physik.uni-erlangen.de

Es wird untersucht, wie sich die Abweichungen zwischen skalarer dünne-Element-Näherung und rigoroser Rechnung an CGHs in Twyman-Green-Interferometern in Nulltestanordnung in der Detektorebene auswirken. Für die Simulationen wird eine Kombination von Polarisations-Raytracing und rigoroser Beugungstheorie (differenzielle Methode) verwendet.

## 1 Einführung

Zur Prüfung der Oberflächen von Linsen werden häufig Twyman-Green-Interferometer in Nulltest-Anordnung verwendet. Als Nullkompensatoren werden oft CGHs verwendet, die aus der einfallenden ebenen Welle eine Wellenfront erzeugen, die an jeder Stelle parallel zu der zu prüfenden Fläche ist.

Untersucht wird im Folgenden, wie sich Unterschiede zwischen der weit verbreiteten dünne-Element-Näherung und rigoroser Rechnung am CGH in dieser Anordnung in der Detektorebene auswirken.

## 2 Berechneter Aufbau

Zunächst wird der Aufbau auf die für diese Untersuchung wesentlichen Teile beschränkt, siehe Abb. 1.

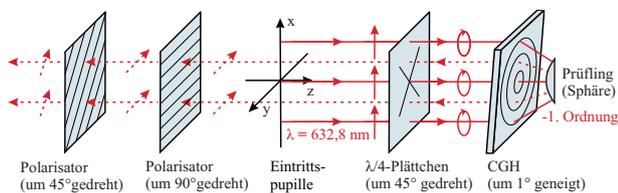


Abbildung 1 In der Simulation verwendeter Aufbau.

Da die Referenzwelle eben ist, wird nur der Objektarm betrachtet. Die Strahldurchrechnung beginnt hier nach dem ersten Durchgang durch den Polarisationsstrahlteiler mit linear polarisiertem, monochromatischem Licht. Das lokale Koordinatensystem der Eintrittspupille ist hierbei so positioniert, dass den Strahldaten bei  $(x_{EP}, y_{EP}, z_{EP}) = (0; 0; 0)$  eine unendlich große Periode zuzuordnen ist. Die polarisations-optischen Elemente werden als ideal angenommen, so z.B. das  $\lambda/4$ -Plättchen als unverkipppt und mit einem Transmissionsvermögen von 1. Das CGH (NA=0.71) ist hier mit Hilfe der dünne-Element-Näherung unter Verwendung des holographischen Prinzips entworfen worden und ist um  $1^\circ$  verkipppt. Der Prüfling wird als sphärisch angenommen. Nach Reflexion am Prüfling und Durchgang durch den Objektarm kann der Polarisationsstrahlteiler nicht mehr vernachlässigt werden. Er wird

durch einen Polarisator ersetzt, der in y-Richtung durchlässig ist. Der Polarisator ganz links in Abb. 1 ist der Polarisator im Twyman-Green-Aufbau, der Objekt- und Referenzwelle interferenzfähig macht, und ist unter  $45^\circ$  durchlässig.

## 3 Verwendete Berechnungsmethode

Die Berechnung des Aufbaus wird mit Hilfe rigoroser Strahlenoptik durchgeführt [1]. Dies ist eine Kombination aus Polarisations-Raytracing und rigoroser Beugungstheorie (Abb. 2, rechts).

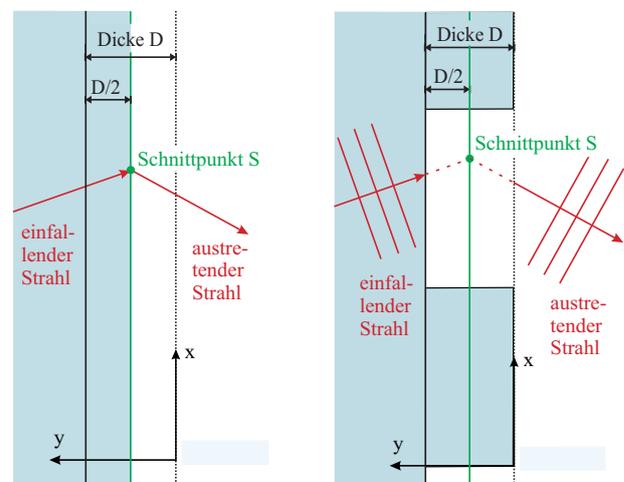


Abbildung 2 Links: dünne-Element-Näherung. Rechts: Kombination von Polarisations-Raytracing (außerhalb des Gitters) und rigoroser Beugungstheorie (im Gitter).

Im gesamten Aufbau mit Ausnahme des Gitters werden die Felder mit Hilfe von Polarisations-Raytracing im Jones-Formalismus propagiert [2]. Am Gitter wird angenommen, dass ein einfallender Strahl eine lokal ebene Welle repräsentiert und das Gitter lokal linear und streng periodisch ist [1]. Für diese Annahmen werden die Maxwellgleichungen im Gitter numerisch gelöst, wobei hier die differenzielle Methode verwendet wird [3]. Der so erhaltenen -1. transmittierten Ordnung (lokal ebene Welle) wird ein Strahl zugeordnet, wobei der Aufpunkt hier so gewählt wird,

dass der Strahlverlauf mit dem der dünnen-Element-Näherung (Abb. 2, links) übereinstimmt. Bei dieser wird angenommen, der Strahl werde in der Mitte der beugenden Schicht abgelenkt und links bzw. rechts der Mitte befindet sich das Einfallsbzw. Austrittsmedium.

#### 4 Untersuchte Gitterprofile

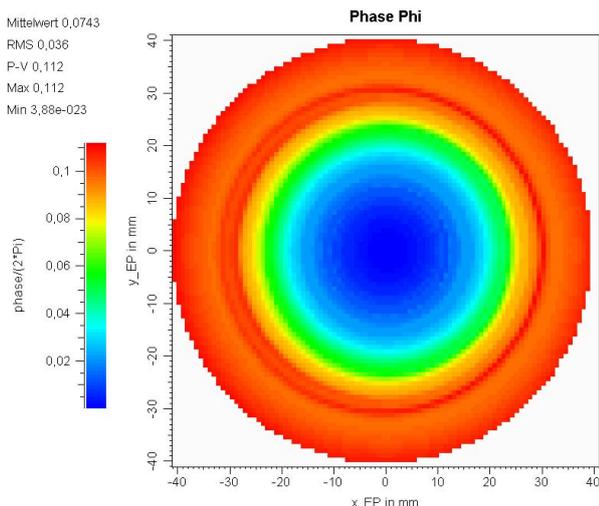
Die beiden genannten Berechnungsmethoden werden anhand der folgenden Profile miteinander verglichen:

- Ein binäres Phasengitter mit Tastverhältnis 1/2 und Phasenhub  $\pi$ .
- Ein 4-stufiges Phasengitter mit gleichen Stufenbreiten und Phasenhub 0,  $1/2\pi$ ,  $\pi$  und  $3/2\pi$ .

#### 5 Ergebnisse

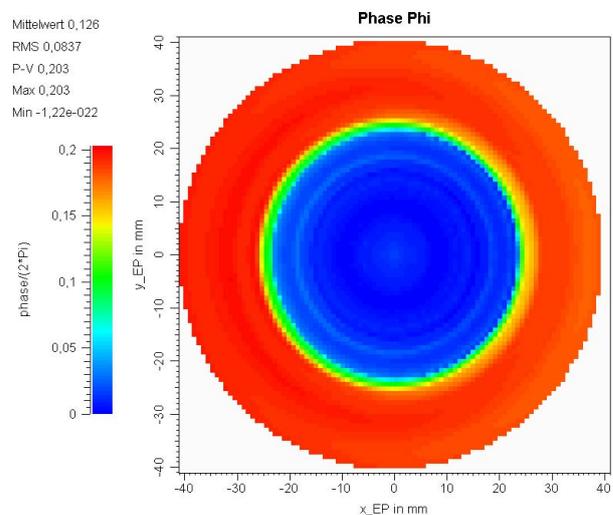
Die Anwendung der dünnen-Element-Näherung liefert in der Detektorebene eine ebene Welle konstanter Intensität. Abweichungen hiervon ergeben sich bei Anwendung der rigorosen Strahlenoptik:

Für das **binäre Profil** ist das Verhältnis von maximaler zu minimaler Strahlstärke 1.7, d.h. ein guter Kontrast im Interferogramm ist erreichbar. Die Phasenabweichungen von der dünnen-Element-Näherung in der Detektorebene zeigt Abb. 3 in Einheiten der Wellenlänge. Dargestellt sind hier die Strahlphasen als Funktion der Strahlkoordinaten in der Eintrittspupille. Die maximale Abweichung wird bei einem Ablenkwinkel von  $37^\circ$  erreicht (roter Ring, rechts), der PV-Wert beträgt 0.11. Es liegt annähernd Radialsymmetrie vor, da die Polarisation am CGH zirkular ist und das CGH mit  $1^\circ$  nur wenig verkippt ist.



**Abbildung 3** Für binäres CGH auftretende Phasenabweichungen von dünne-Element-Näherung in Detektorebene (bereinigt um Offset) in Einheiten der Wellenlänge. Die Werte sind als Funktion der Strahlkoordinaten in der Eintrittspupille dargestellt.

Für das **4-stufige Profil** ist das Verhältnis von maximaler zu minimaler Strahlstärke 12 - also recht ungünstig -, wobei das Minimum für einen Ablenkwinkel von  $34^\circ$  am CGH auftritt. Sollte ein 4-stufiges Profil in der Praxis eingesetzt werden, erscheint daher die Optimierung des Profils im Hinblick auf die Beugungseffizienz ratsam [1]; ohne Optimierung ist das binäre Profil für hochaperturige CGHs die bessere Wahl. Für die Phasenabweichungen in der Detektorebene (Abb. 4) beträgt der PV-Wert beim 4-stufigen Profil 0.20 Wellenlängen. Zu dem Bereich, in dem die Phase am schnellsten veränderlich ist, gehören Ablenkwinkel von  $34^\circ$  bis  $35^\circ$ . Dass die Abweichungen von der dünnen-Element-Näherung hier wesentlich größer als im Fall des binären Gitters sind, liegt u.a. daran, dass die beugende Schicht hier dicker ist.



**Abbildung 4** Für 4-stufiges CGH auftretende Phasenabweichungen von dünne-Element-Näherung in Detektorebene (bereinigt um Offset) in Einheiten der Wellenlänge. Die Werte sind als Funktion der Strahlkoordinaten in der Eintrittspupille dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass für hochaperturige Linsen für eine hochpräzise Messung das Nulloptik-CGH rigoros berechnet werden sollte und die so erhaltenen Abweichungen von der dünnen-Element-Näherung in das CGH codiert werden sollten.

#### Literatur

- [1] Yunlong Sheng, Dazeng Feng, Simon Larochelle, „Analysis and synthesis of circular diffractive lens with local linear grating model and rigorous coupled-wave theory“, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 14, No. 7, 1562-1568 (1997).
- [2] Eugene Waluschka: „Polarization ray trace“, Optical Engineering, Vol. 28, No. 2, 86-89 (1989).
- [3] Michel Nevière / Evgeny Popov: „Light Propagation in Periodic Media“ (Marcel Dekker, Inc., New York, 2003).