

Wellenfrontmesstechnik mit hoher Auflösung und Winkeldynamik

50 Jahre F.O.M. – Konferenz

7. – 8. November 2013, Berlin

Dipl.-Phys. Niels König
Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt

© WZL/Fraunhofer IPT

 **Fraunhofer**
IPT

 **WZL**
RWTHAACHEN

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT Geschäftsfeld Optik und optische Systeme

»Das IPT entwickelt Technologien des Designs, der Fertigung und der Prüfung für die Optikproduktion«

■ Opto-mechanisches Design

- Optiks simulation mit Raytracing Software ZEMAX sowie eine Eigenentwicklung
- Mechanische Konstruktion mit FEM-Methoden
- Fertigungsgerechtes und abgestimmtes Design der Optik und der Mechanik

→ **Leistungsfähige und kosteneffektive Optiken**

■ Optikfertigung

- Schleifen und Polieren
- UP-Drehen und –Fräsen
- Optik-Replikation in Glas und Kunststoff
- Formenbau und Beschichtung für die Optik-Replikation
- Prozesssimulation

→ **Prozesse und Maschinen für neuartige Optiken**

■ Optikprüfung & Montage

- Messsystem-Entwicklung für Sonderanwendungen
- Integration von Messsystemen in Maschinen und Prozesse
- Programm-Entwicklung zur Datenverarbeitung
- Montage- und Handhabungssysteme

→ **Qualität im Produkt und in der Produktion**

Systemdesign
Analyse
Optimierung

Prozessentwicklung
Maschinenentwicklung
Kleinserienfertigung

Prozessregelung
Automatisierung
Auftragsmessung

© WZL/Fraunhofer IPT

 **Fraunhofer**
IPT

 **WZL**
RWTHAACHEN

Seite 2

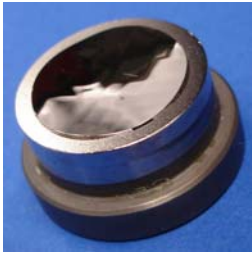
Motivation

Aktuelle Herausforderungen der Optikprüfung



- Prüfung von Asphären und Freiformflächen: Computergestütztes Optik-Design und (ultra-)präzise CNC-Maschinen führen zur einer Fertigung in hohen Stückzahlen und breiten Anwendung dieser Optiken
- Prüfung spritzgegessener Kunststoffoptiken mit hohen Formabweichungen

→ Flexible Optikprüfung mit hohem Dynamikbereich und hoher lateraler Auflösung.



Stand der Technik: Shack-Hartmann Sensoren am besten geeignet!



© WZL/Fraunhofer IPT

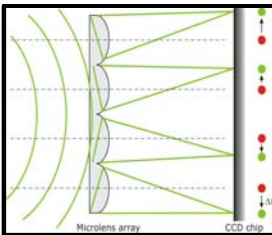
Fraunhofer
IPT

WZL
RWTHAACHEN

Seite 3

Stand der Technik

Wellenfrontmesstechnik mit Shack-Hartmann-Sensoren

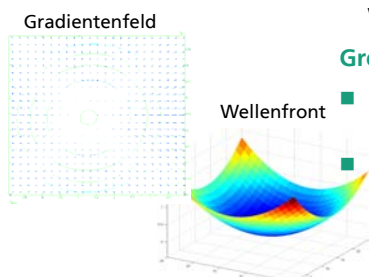


Messprinzip

- Messung der Wellenfront durch Mikrolinsen und Messung der lateralen Verschiebung der Spots auf dem Detektor
- Berechnung des Gradienten der Wellenfront am Ort der Mikrolinse aus dem Wert s_y des verschobenen Spots
- Integration der Gradientendaten zur Form der Wellenfront

Grenzen

- Erhöhung der lateralen Auflösung (typ. 150 x 150 Mikrolinsen) schränkt Winkeldynamik ein (typ. 3-4 °)!
- Maßnahmen z.B.
 - Erzeugung von Einzelaperturen durch dynamisches Blocken der Linsen (z.B. TFT)
 - Spot-Tracking über Bereichsgrenzen hinweg



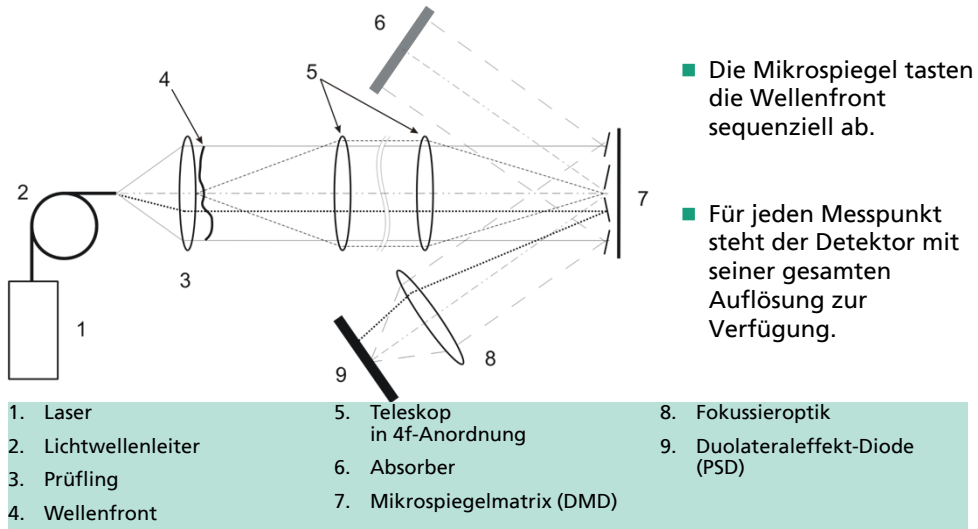
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer
IPT

WZL
RWTHAACHEN

Seite 4

Aufbau des DMD-basierten Wellenfrontsensors



© WZL/Fraunhofer IPT

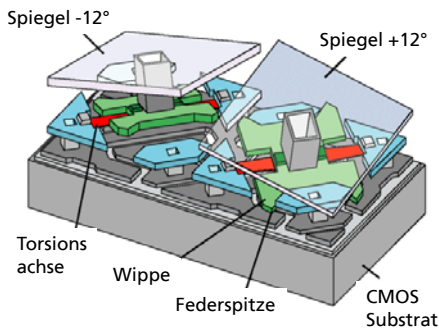


Seite 5

Geometrische Eigenschaften des DMD

Technische Daten Texas Instruments DMD

Matrixgröße	1024 x 768
Füll-Faktor	92%
Gitterperiode	13,68 µm
Kippwinkel	+/- 12°



■ Strukturgrößen des DMD ~ λ. Die Fresnelzahl F lässt eine Abschätzung über die Art der Beugungseffekte zu

$$F = \frac{r^2}{L\lambda} = \frac{(0,014 \text{ mm})^2}{100 \text{ mm} \cdot 0,0006 \text{ mm}} \approx 10^{-3}$$

$F \ll 1$ Fraunhoferbeugung
 $F > 1$ Fresnelbeugung

r = Blendenradius
 L = Abstand des Beobachtungsschirms von der Blende
 λ = Wellenlänge des verwendeten Lichtes

➔ Die Mikrospiegel verursachen starke Beugungseffekte

© WZL/Fraunhofer IPT



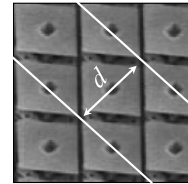
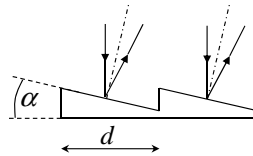
Seite 6

Beschreibung der Beugungseffekte am DMD

Das DMD als Stufengitter

- Ein Stufenreflektionsgitter (Blazed Grating) kann Licht in eine bevorzugte Beugungsordnung lenken
- Dieser Effekt ist abhängig von der Wellenlänge, vom Stufenwinkel und vom Abstand der Stufen zueinander
- Das Stufengitter bildet sich auf der Mikrospiegelmatrix entlang der Diagonalen aus
- Variabel sind die Wellenlänge und der Einfallswinkel des Lichtes auf das DMD

$$d \cdot \sin(2\alpha) = m \cdot \lambda$$



Die Lichtquelle wird so gewählt das das Intensitätsmaximum genau auf eine Beugungsordnung fällt:

Mit $d = 19,35 \mu\text{m}$, $\alpha = 12^\circ$, $m = 12 \Rightarrow \lambda = 655,7 \text{ nm}$.

© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer
IPT

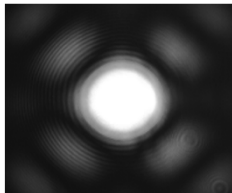
WZL
RWTHAACHEN

Seite 7

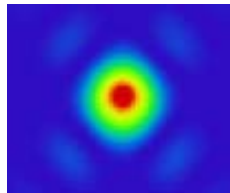
Beschreibung der Beugungseffekte am DMD

Simulation mittels Raytracing-Software

- Ein paralleles Strahlenbündel trifft auf die Mikrospiegel
- Jeder auf einem Spiegel eintreffende Strahl ist Ausgangspunkt von Sekundärstrahlen (Huygensches Prinzip)
- Superposition aller Sekundärstrahlen ergibt Beugungsmuster

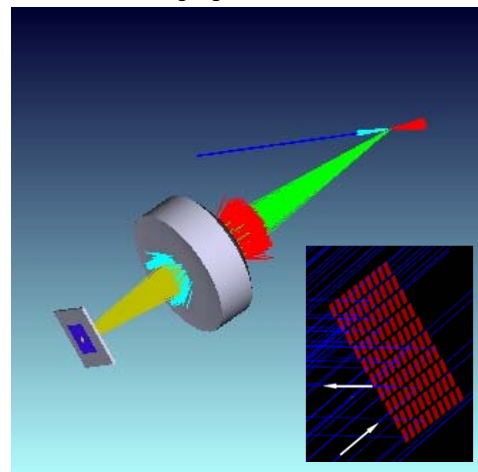


Messung von 10x10
Superpixel



Simulation

Simulation der Beugungseffekte



© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer
IPT

WZL
RWTHAACHEN

Seite 8

Ansteuerung des DMD und Messwerterfassung der PSD

OT-301DL Precision Position Sensing Amplifier

- Verstärkt die Ströme der PSD und wandelt diese in X-, Y- und eine Summen-Spannung um.

Texas Instruments DLP

- Digitales Mikrospiegel-Array mit 1024 x 786 Spiegeln und einer Schaltzeit von 10 μ s und einer Bildwiederholrate von 22 kHz

National Instruments PCI-6251

- Digitalisiert die Spannungen mit einer Auflösung von 16 Bit und einer Bandbreite von 3,4 MHz

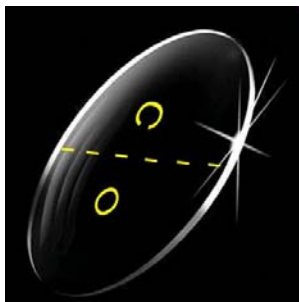
© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer IPT

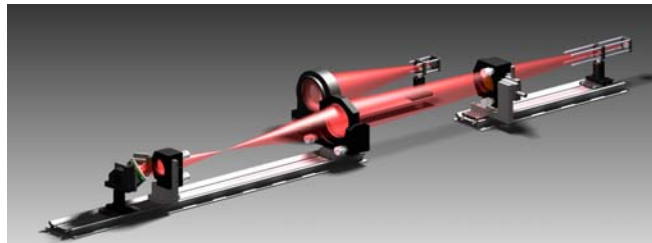
WZL RWTH AACHEN

Seite 9

Erweiterung des Konzepts für die Prüfung von Gleitsichtbrillengläser



- Vergrößerung der Apertur für Prüflinge bis Durchmesser 65 mm
- Winkeldynamik bis +/- 10°
- Laufendes Projekt im Förderprogramm KMU Innovativ: Optische Technologien
- Projekträger: VDI -TZ
- Projektpartner: Fraunhofer IPT, Trioptics, Vialux, Zeiss



© WZL/Fraunhofer IPT

Fraunhofer
IPT

WZL
RWTH AACHEN

Seite 10

Leistungsdaten

	Konventionelle Shack-Hartmann-Sensoren	WaveSense
Aperturdimension	< 15 x 15 mm	< Ø=65 mm
Anzahl Lenslets/Stützstellen	< 150 x 150	Variabel
Dynamikbereich (Tilt)	< 1.500 λ bzw. < $\pm 4^\circ$	< 3.800 λ bzw. < $\pm 10^\circ$
Messdauer	< 0,01 s	6s für 64 x 48er-Superpixel 1,5s für 32 x 24er-Superpixel
RMS-Wiederholunsicherheit	< $\lambda/200$	< $\lambda/500$

© WZL/Fraunhofer IPT



Seite 11

Danksagung

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

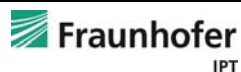
- Die hier vorgestellten Ergebnisse entstanden im Projekt »WaveSense« (Förderkennzeichen: N 12638-07, Laufzeit 12/2008 – 12/2010)
- Gefördert durch das BMWi mit Unterstützung der F.O.M. und der AiF



Projektbegleitender Ausschuss:



© WZL/Fraunhofer IPT



Seite 12