

Refraktive Strahlformungsoptik mittels direkt schreibender Grautonlaserlithographie



D. Leroch¹, I. Harder², N. Lindlein¹

¹Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Optik, Information und Photonik, Erlangen

²Max Planck Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

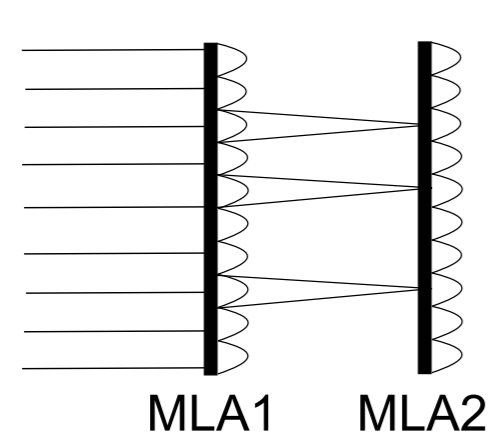
dominik.leroch@physik.uni-erlangen.de

ZUSAMMENFASSUNG

Strahlhomogenisierung und Strahlformung sind für viele aktuelle Anwendungen in den Bereichen der Lasermaterialbearbeitung, Fotolithographie, Messtechnik und Analytik wichtig. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde ein abbildender Homogenisator basierend auf zwei identischen Mikrolinsenarrays (MLAs) in einem Messaufbau zur Homogenisierung einer LED realisiert. Die hierfür benötigten Mikrolinsenarrays wurden mittels direkt schreibender Grautonlithographie in dickem Photolack hergestellt. Die direkt schreibende Lithographie ermöglicht hierbei eine große Flexibilität in der Linsenform, so dass beispielsweise auch Mikrolinsen mit quadratischer Apertur geschrieben werden können. Um im Weiteren zusätzlich zur Homogenisierung die Strahlformungsaufgabe zu erfüllen, werden refraktive Freiformflächen verwendet. Diese werden mittels der institutseigenen Software RAYTRACE berechnet und ebenfalls mittels Grautonlithographie hergestellt. Durch die Verwendung dieser Freiformflächen wird aus einer beliebigen Eingangsverteilung die gewünschte Ausgangsverteilung generiert.

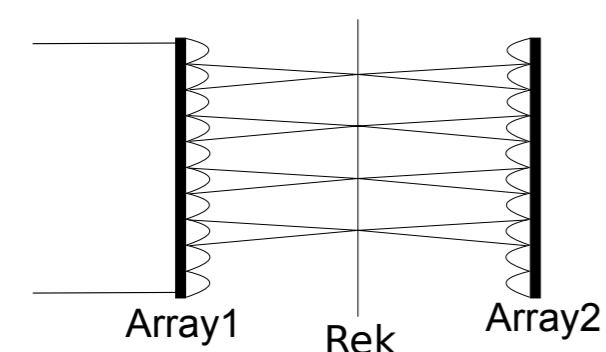
PRINZIP

Homogenisator [1]



- Abbildung der Apertur des ersten MLA in die Zielebene
→ Strahlformung

Strahlformender Homogenisator



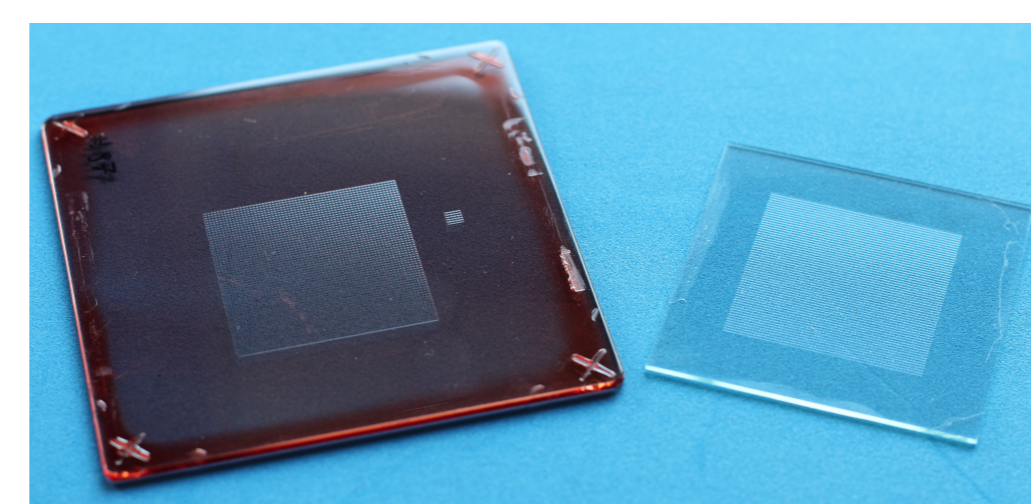
- abbildender Homogenisator mit Strahlformer-Array anstelle erstem MLA
- Abbildung der in der Bildebene geformten Einzelbilder durch das folgende MLA
- Strahlformer-Array: Freiformfläche oder hybrides Element

DESIGN & SIMULATION

- Dünne Elemente Näherung (Propagation durch Elemente):

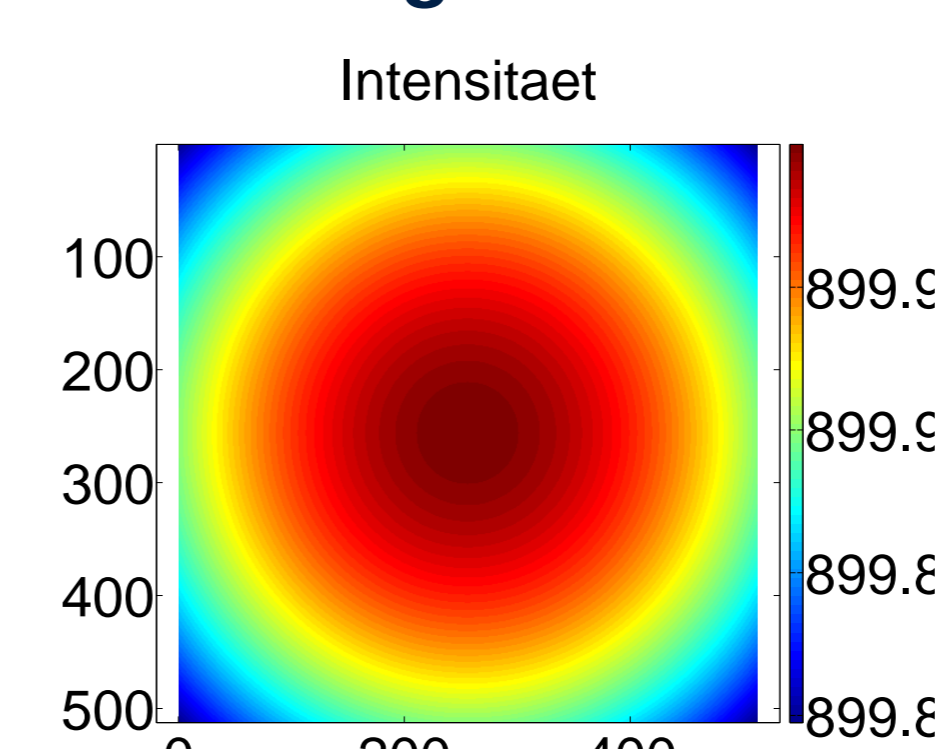
$$A_{aus} = A_{ein} \cdot T_{MLA}$$

- Simulation mittels Planwellenspektrum (Freiraumausbreitung)
max. Winkel = 0.004 rad
- Simulation mittels Programm WaveSim
- Inkohärente Beleuchtung
- Parameter MLA:
Pitch = $500 \mu\text{m}$
Brennweite $\approx 10 \text{ mm}$

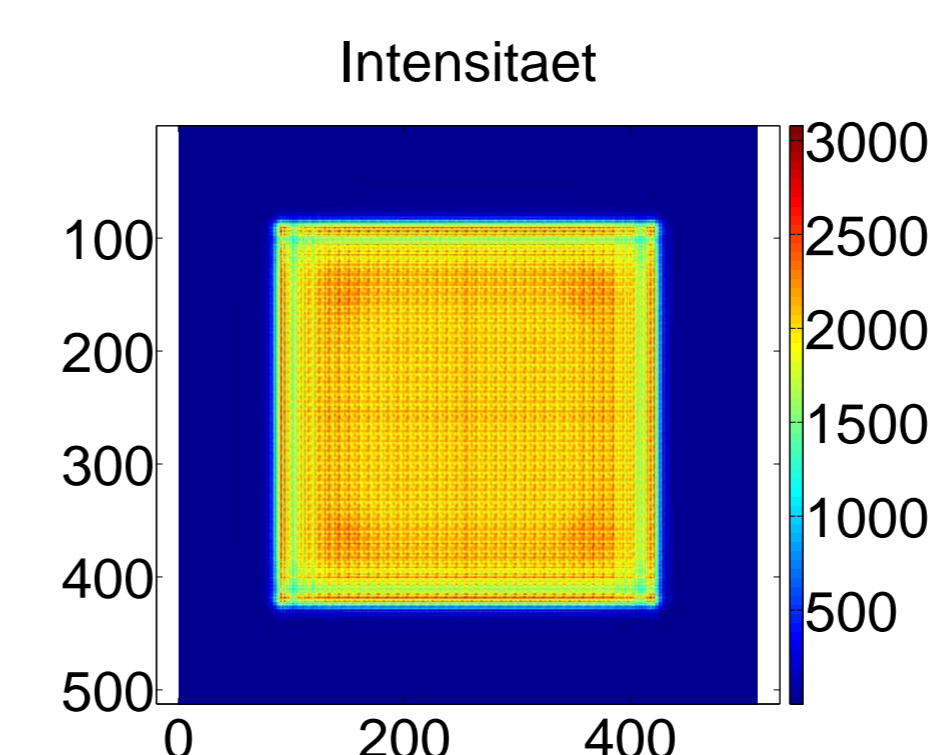


Hergestelltes MLA in
Lack/UV-Kleber

Homogenisator

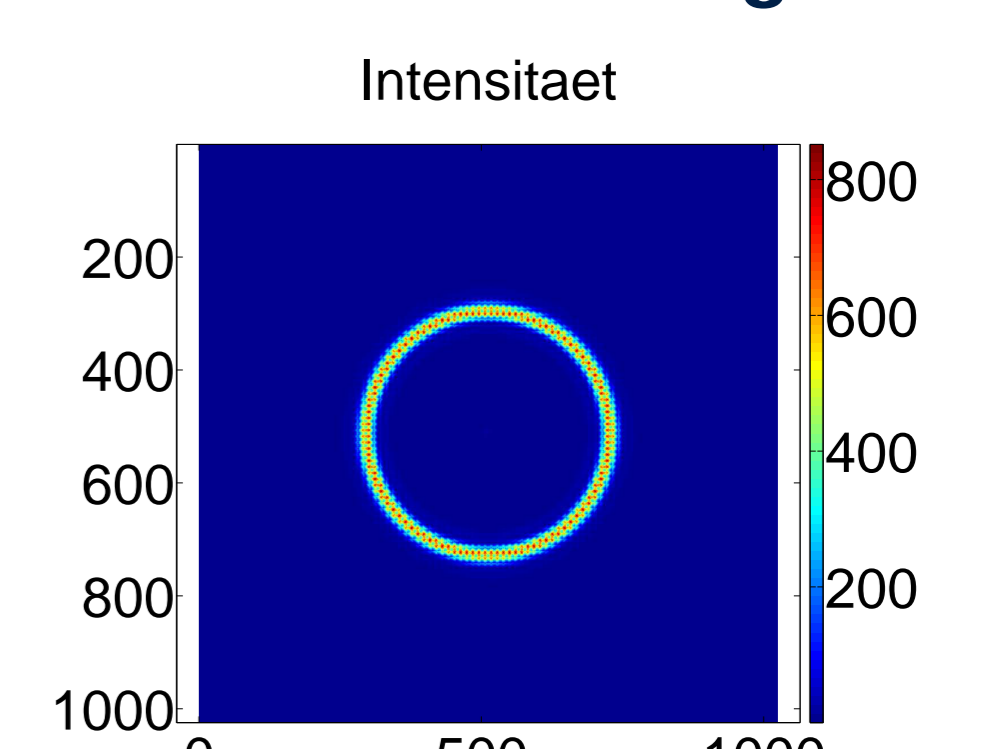


Intensitätsverteilung Eingang

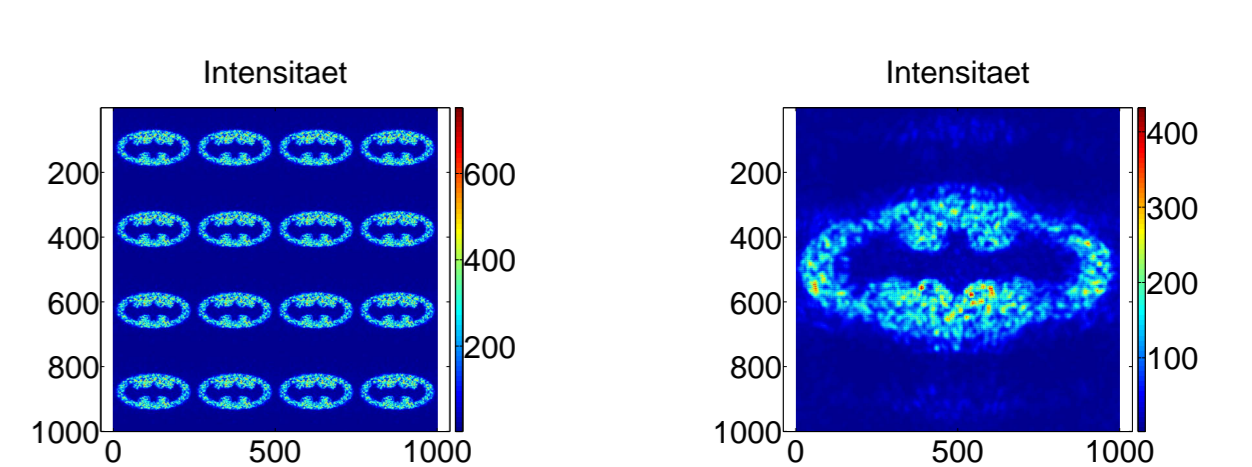


Intensitätsverteilung Ausgang

Strahlformender Homogenisator



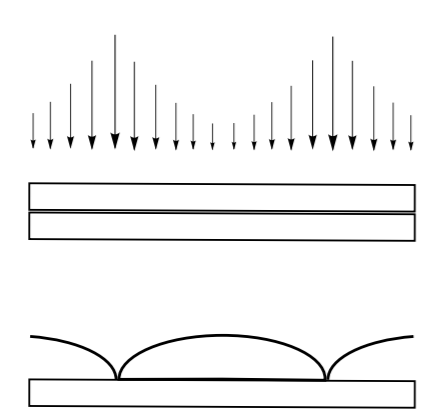
Freiformfläche Ringstrahlformer = Axicon + Linse
 $F(r) = -\frac{2z}{\lambda} [s \cdot r + \sqrt{r^2 - f^2} - f]$



Zwischenbilder in der Rekonstruktionsebene des Strahlformerarrays
Hybrides Element, DOE mittels IFTA [2] erzeugt, Zahl der Stützstellen = 1000

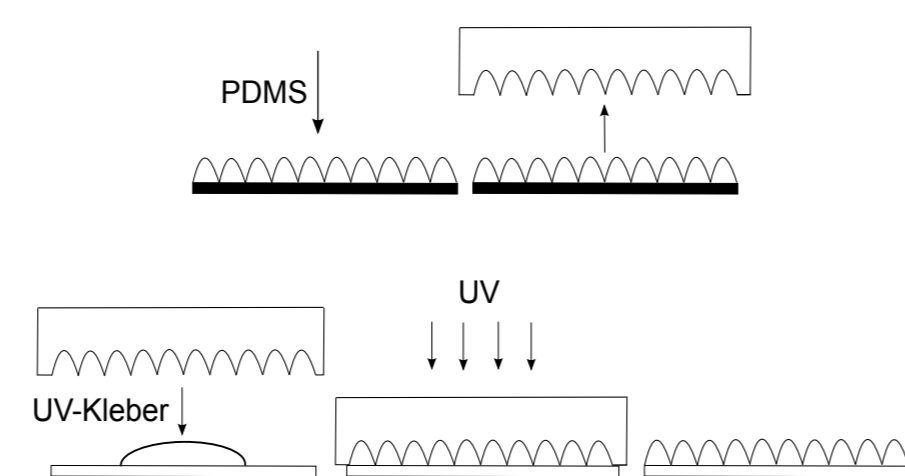
HERSTELLUNG

1. Belichtung



- Direkt schreibende Grautonlithographie (Laser $\lambda = 364 \text{ nm}$)
- Fotolack AZ 4562
 - Schichtdicke $10 \dots 50 \mu\text{m}$
 - Kein Softbake → nahezu lineare Schwärzungskurve
 - Belichtung in Streifen → periodische Fehler

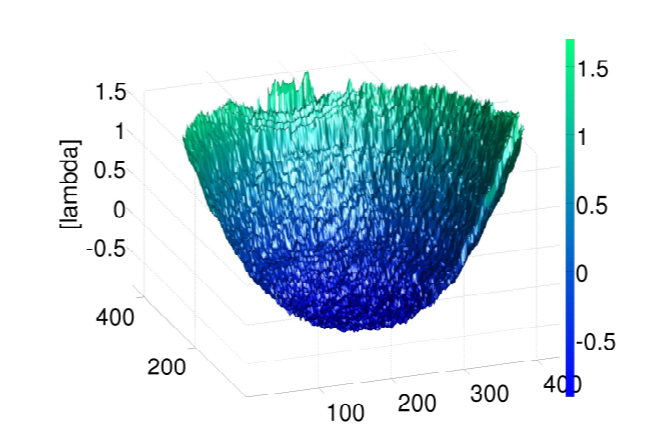
2. Abformung



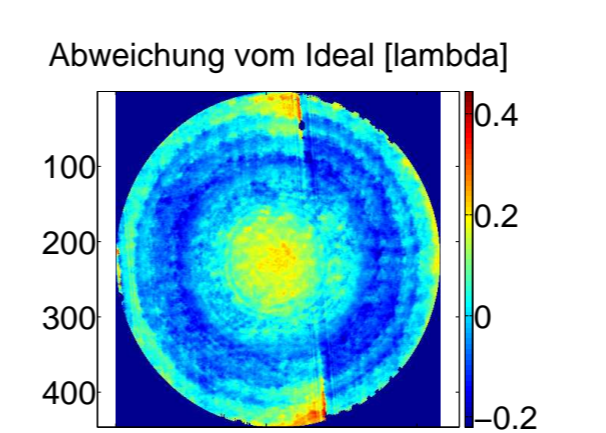
- Abgeformt in Norland Optical Adhesive 61
- Erhöhte mechanische und chemische Stabilität
- bessere optische Eigenschaften
- schnellere Reproduktion

3. Messung der hergestellten Elemente in Lack mittels Mach-Zehnder-Interferometer [3]

Linsen

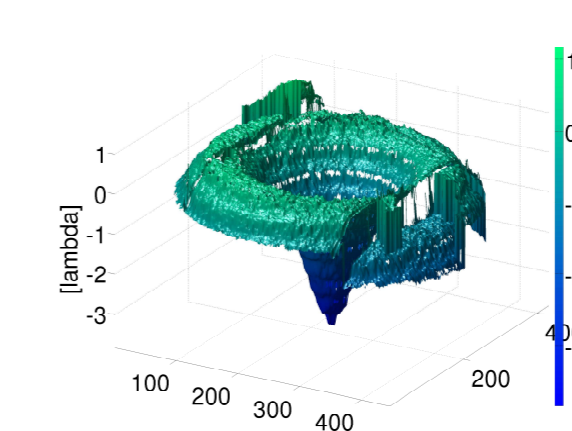


Gemessene Feinphasen einer Mikrolinse

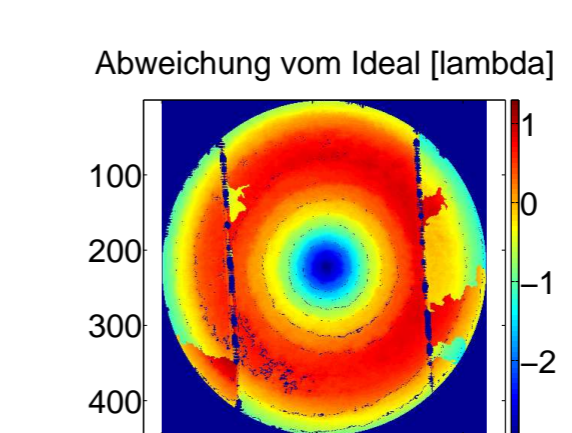


Gemessene Abweichungen von der idealen Linsenform

Ringstrahlformer

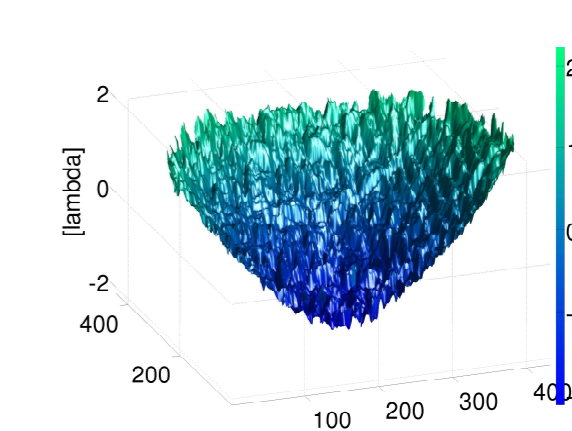


Gemessene Feinphasen eines Ringstrahlformers

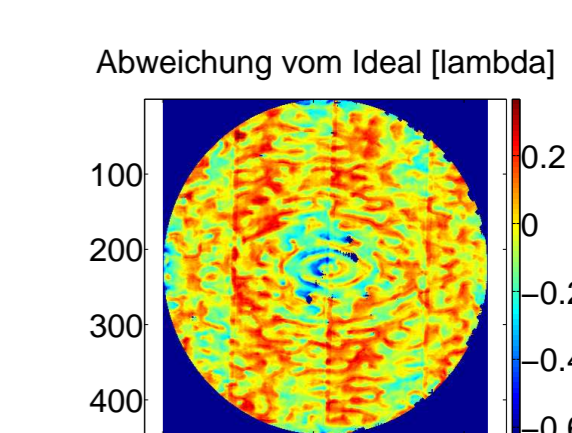


Gemessene Abweichungen von der idealen Linsenform

Hybrides Element

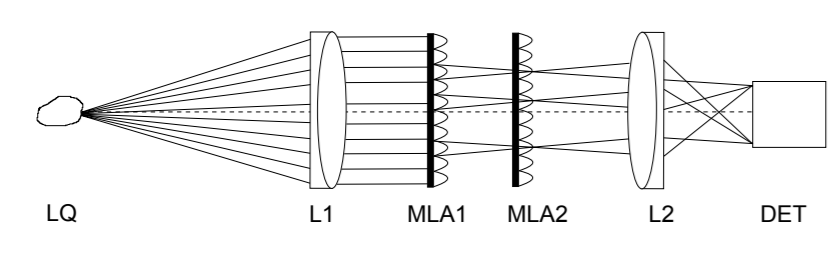


Gemessene Feinphasen eines hybriden Elements



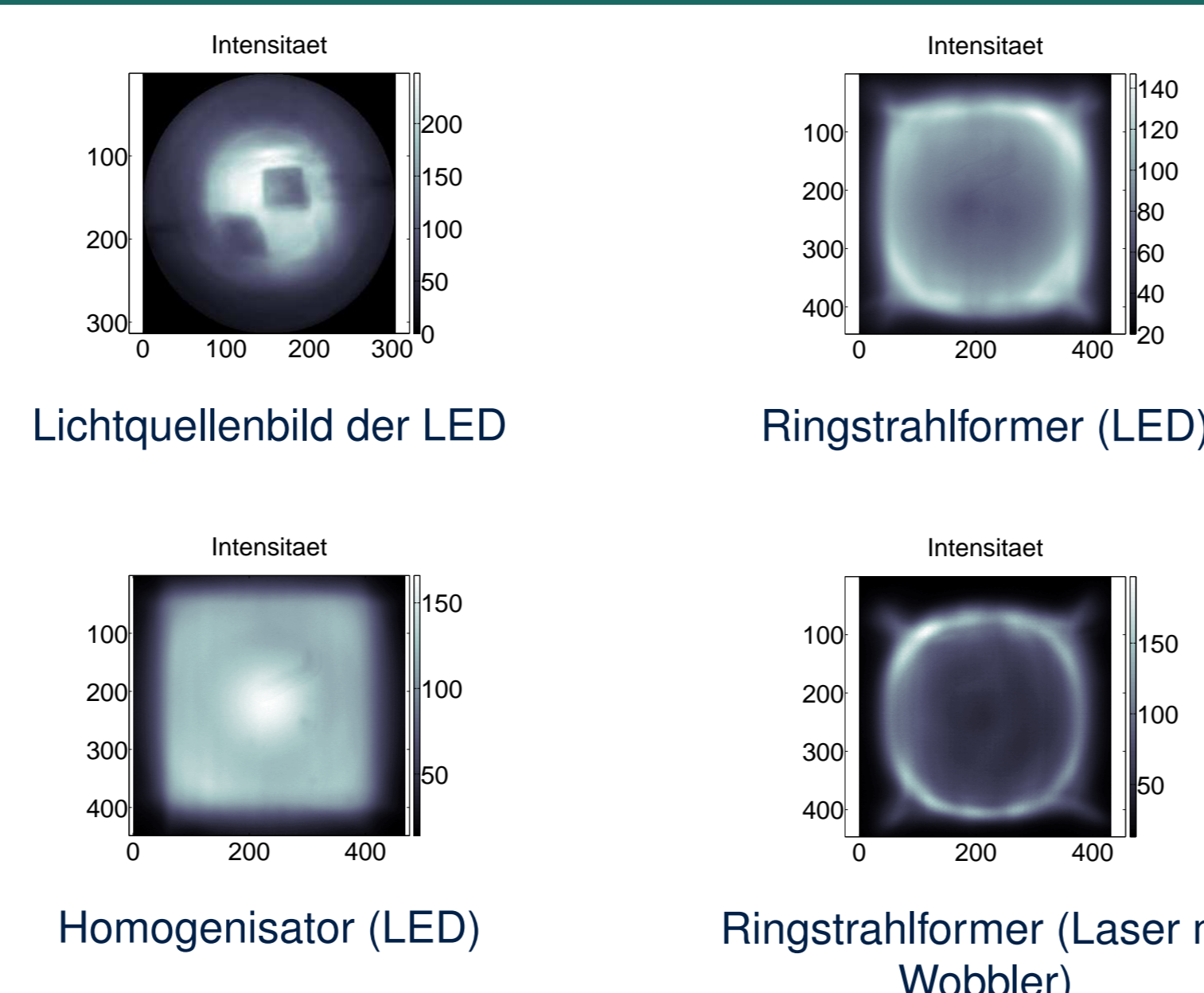
Gemessene Abweichungen von der idealen Linsenform

REKONSTRUKTION: ERSTE ERGEBNISSE



Schema des Messaufbaus

- Verwendete Lichtquellen:
 - LED ($\lambda = 520 \text{ nm}$, Quellengröße $\approx 1 \text{ mm}$, Abstrahlwinkel 15°)
 - Laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$, mit bewegter Streuscheibe zur Reduzierung der räumlichen Kohärenz/ Wobblers)



DISKUSSION

Freiformfläche

- geringe Fresnelzahl ($F = \frac{a^2}{L \cdot \lambda}$), kleine Aperturen
→ starke Beugungseffekte
- geringe Höhe
- dünne und leichte Elemente möglich

Hybride Elemente

- starker Einfluss der Prozessfehler
- starke Wellenlängenabhängigkeit
- geringe Samplingrate (IFTA)

[1] I. Harder, M. Lano, N. Lindlein, J. Schwider "Homogenization and beam shaping with microlens arrays", Photon Management Photon Management 5456, ed: Frank Wyrowski, p.99-107 (2004)

[2] R.W. Gerchberg and W.O. Saxton, "A practical algorithm for the determination of phase from image and diffraction plane pictures", Optik 35 (2), 237-246 (1972)

[3] Sickinger et al. "Fiber based Mach-Zehnder-Interferometer for measuring wave aberrations of microlenses," Optik 110(5), p.239 (1999)