

# Analyse der Designparameter von binären diffraktiven Mikrolinsenarrays in Hinblick auf den Herstellungsprozess

T. Stenau, K.-H. Brenner



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

## Motivation

Binäre diffraktive Mikrolinsenarrays unterliegen nicht den gleichen starren Bedingungen zwischen Brennweite, Periode und numerischer Apertur wie refraktive Mikrolinsenarrays. In der Praxis werden die diffraktiven Mikrolinsen als binäre Phasenstruktur mit Phasenhöhe  $\pi$  realisiert. In diesem Poster werden die Einflüsse der verschiedenen Designparameter sowie möglicher Produktionsartefakte auf das Verhalten der diffraktiven Mikrolinsen untersucht.

## Design eines diffraktiven Mikrolinsenarrays

Zuerst werden die Brennweite, numerische Apertur, Wellenlänge und Periodengröße des Mikrolinsenarrays spezifiziert. Hieraus wird ein Hologramm  $u(r)$  mit vorgegebener Pixelgröße errechnet, welches bei Beleuchtung mit einer ebenen Welle ein Punktemuster im Abstand der Brennweite erzeugt. [1,2]

$$u_{\text{Element}}(r_{\perp}) = \iint P_{\text{NA},\lambda}(\rho_{\perp}) e^{-i\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{f^2-\rho_{\perp}^2}} e^{2\pi i \rho_{\perp} \cdot r_{\perp}} d\rho_{\perp} = A e^{i\phi}$$

Das Hologramm wird anschließend in eine Amplitude und eine Phase unterteilt. Die Phase wird binarisiert und die Amplitude auf einen konstanten Wert gesetzt. Außerdem wird in der Berechnung die kleinste Pixelgröße des Hologramms festgelegt.

$$A = 1 ; \quad \phi_{\text{binär}} = \frac{\pi}{2} \text{sign}(\arg(u_{\text{Element}} e^{2\pi i \epsilon}))$$

Als freie Parameter des Designs erhält man somit die Pixelgröße des Hologramms, den Wert der Amplitude und die Binarisierungsschwelle.

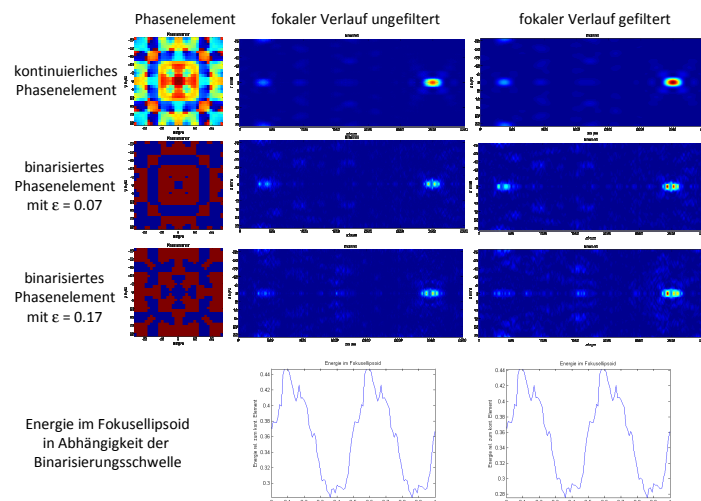
Es zeigt sich, dass die Pixelgröße proportional zur minimalen Spotgröße ist. Um eine hohe Effizienz des binären Hologramms zu erreichen wird die Amplitude konstant auf  $A = 1$  gesetzt, somit bleibt als freier Parameter nur die Binarisierungsschwelle  $\epsilon$ .

Als Gütekriterium wird die Energie im Fokusellipsoid betrachtet.

$$\text{Fokusellipsoid} : \left( \frac{x}{0.5 \frac{\lambda}{\text{NA}}} \right)^2 + \left( \frac{y}{0.5 \frac{\lambda}{\text{NA}}} \right)^2 + \left( \frac{z-f}{2 \frac{\lambda}{\text{NA}^2}} \right)^2 \leq 1$$

## Fokalverlauf bei verschiedenen Binarisierungsschwellen $\epsilon$

Es wird der fokale Verlauf ungefiltert und mit F-Nummer 8 gefiltert angezeigt. Durch die Binarisierung sinkt die Energie im Fokus und die fraktionierten Talbotebenen werden stärker betont.

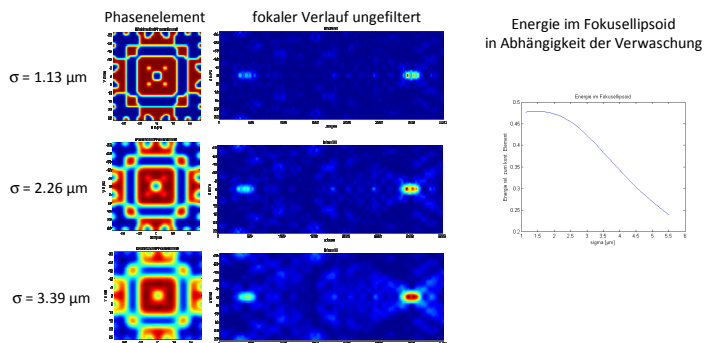


Die lokale Intensitätsverteilung ist abhängig von der Binarisierungsschwelle. Die Energie im Fokus des binären Elements schwankt stark und entspricht nur ca. 28 - 44% des kontinuierlichen Elements.

Referenzen: [1] B. Hulsken, D. Vossen, S. Stallinga, "High NA diffractive array illuminators and application in a multi-spot scanning microscope", J. Europ. Opt. Soc. Public. 7, 12026 (2012)  
[2] K.-H. Brenner, R. Buschlinger, "Talbot Focusing – a new effect of periodic structures and its utilization", 113. Jahrestagung, Eindhoven 2012

## Fokalverlauf eines Elements mit verwaschenen Kanten

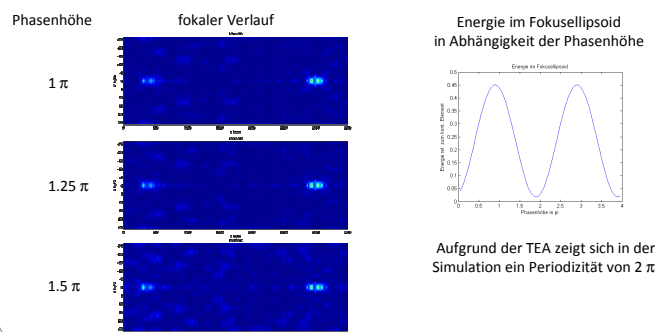
Zuerst wird das Element mit einer Gaußfunktion gefaltet und anschließend der Fokalverlauf betrachtet.



Beim schwach verwaschenen Element ist die Energie im Fokus größer als beim Element mit den harten Kanten. Je stärker die Verwaschung, desto ausgedehnter wird der Fokus und desto weniger Energie ist im Fokusellipsoid.

## Abweichung von der Design-Phasenhöhe $\pi$

Abweichungen von der Phasenhöhe bewirken eine Absenkung der Energie im Fokus. Die ideale Phasenhöhe ist nahe bei der Design-Phasenhöhe.

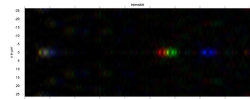


Aufgrund der TEA zeigt sich in der Simulation ein Periodizität von  $2\pi$ .

## Verwendung anderer Wellenlängen

Das diffraktive Element produziert auch bei Beleuchtung mit einer anderen Wellenlänge als der Designwellenlänge Foki, diese sind jedoch in z-Richtung verschoben:

Überlagerung des Intensitätsverlaufs von drei Wellenlängen



Lage der Foki

$$f(\lambda) = f_{\text{design}} \frac{\lambda_{\text{design}}}{\lambda}$$

$\lambda_{\text{rot}} = 578\text{nm}$   
 $\lambda_{\text{grün}} = 546\text{nm}$   
 $\lambda_{\text{blau}} = 435\text{nm}$   
 $f_{\text{design}} = 3000\mu\text{m}$   
 $\lambda_{\text{design}} = 532\text{nm}$

## Zusammenfassung

Die Wahl der Binarisierungsschwelle ist entscheidend für die Effizienz des Elements. Gegen die typischen systematischen Produktionsfehler wie eine falsche Phasenhöhe oder verwaschene Kanten sind die Elemente sehr robust. Bei Verwendung einer anderen Wellenlänge verschieben sich die Foki.