

Interferometrie in streifender Inzidenz: Simulationen und Ergebnisse



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

NATURWISSENSCHAFTLICHE
FAKULTÄT

Sergej Rothau*, Johannes Schwider*, Klaus Mantel**, Norbert Lindlein*

* Institut für Optik, Information und Photonik, FAU, Erlangen

** Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts, Erlangen

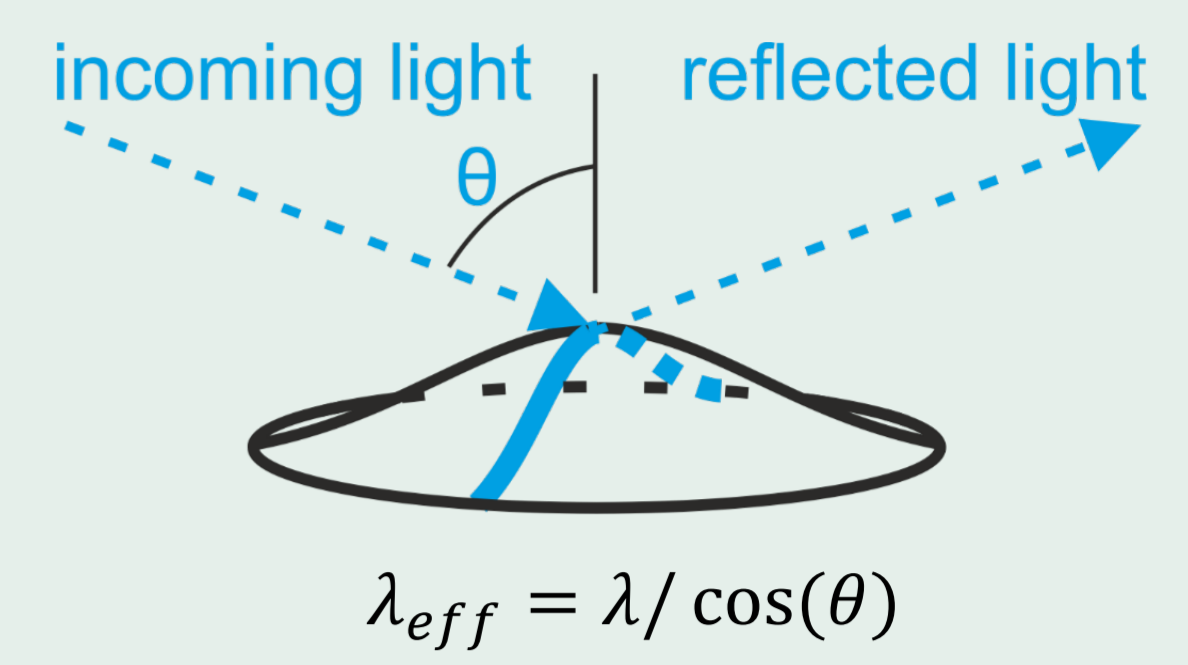
sergej.rothau@fau.de

Motivation

Ziel: Entwicklung eines Prüfverfahrens für konvexe, stark gekrümmte raue Asphären im Sichtbaren.

Idee: Interferometrische Oberflächenvermessung in streifender Inzidenz [1] im Sichtbaren.

Idealerweise sollte die Oberfläche eines optischen Elements während der ganzen Herstellungskette auf mögliche Formabweichungen überprüft werden. Im feingeschliffenen Zustand ist die Oberflächenrauigkeit ($\approx 0,5\mu\text{m}$) noch zu groß um die optischen Standardmessverfahren dafür zu verwenden, somit muss z.B. auf taktile oder spezielle Messverfahren im IR zurückgegriffen werden.



Messprinzip

- Nulltest [Abb.1], die Testwellenfront wird mit einem diffraktiv optischen Element DOE angepasst
- die 1. Beugungsordnung des DOE-Strahlteilers dient als Testwelle (probe-wave) und das ungebeugte Licht als Referenzwelle
- die Testwelle trägt die Formabweichung nach der Reflexion am Testobjekt
- als Phaseninformation in sich
- mit einem zweiten DOE werden die Teilwellen vereinigt und das resultierende Interferogramm mit phasen-schiebenden Messverfahren (PSI) ausgewertet
- Für die vollständige 3D Rekonstruktion der Oberfläche müssen mehrere Messungen in unterschiedlichen azimutalen Stellungen des Objekts erfolgen und korrekt zusammengesetzt werden.
- Als erster vereinfachter Mess-setup (Abb. 2) wurde ein Axicon-Paar mit einer Glaskugel gewählt.

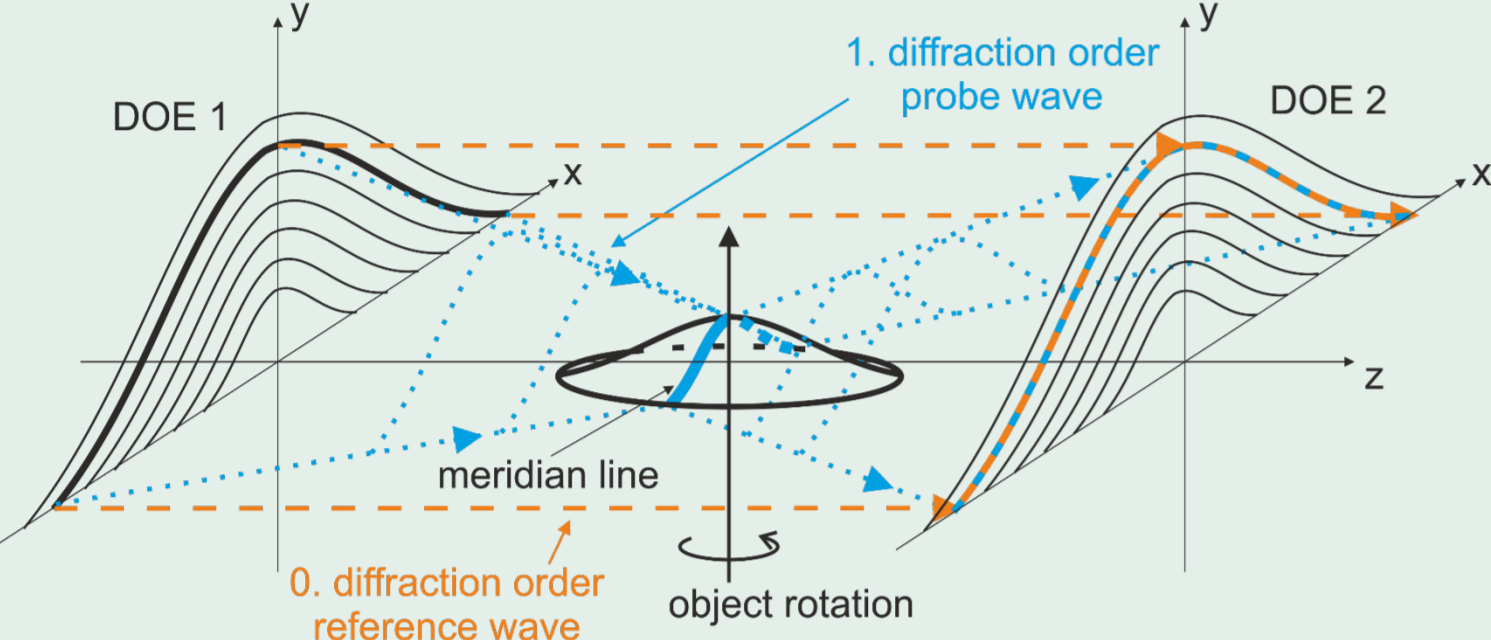


Abb. 1 Skizze des Interferometer Kerns für eine Asphäre

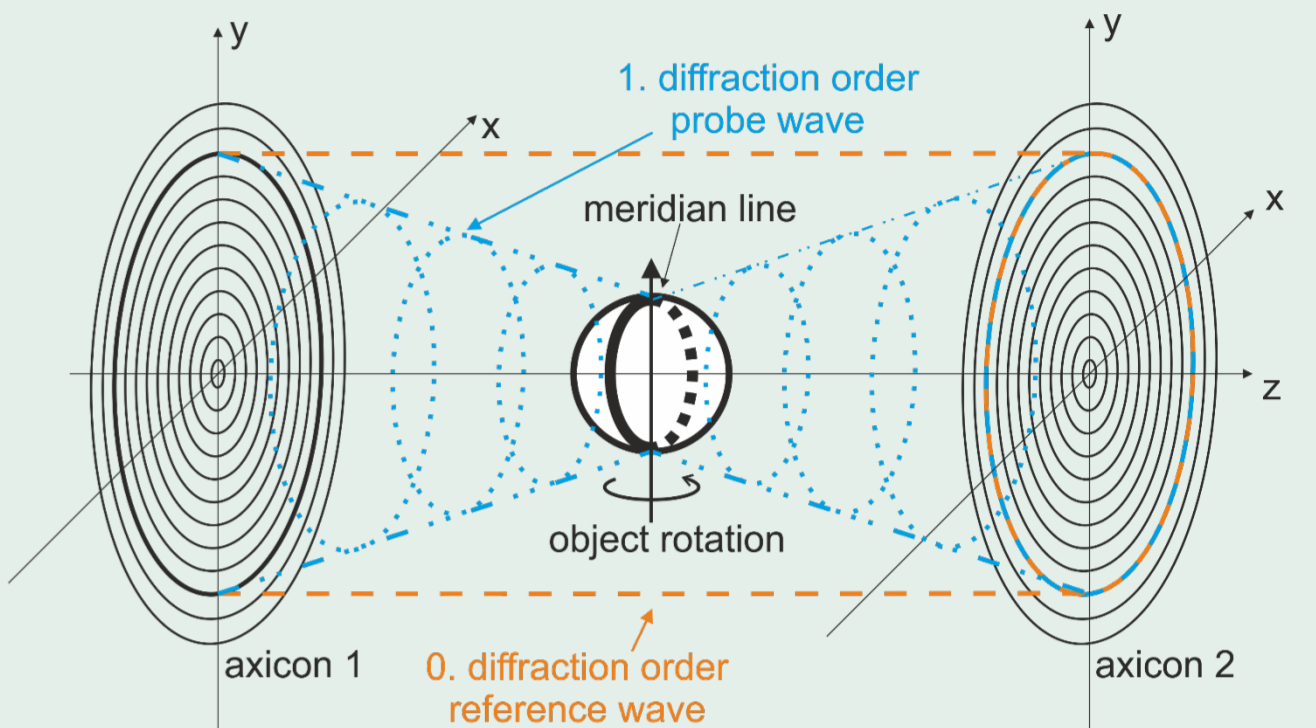


Abb. 2 Skizze des Interferometer Kerns für ein sphärisches Messobjekt

Simulation

Der Messaufbau (Abb. 5) wurde mit einem Ray-Tracing Programm [2] simuliert. Dabei konnten u.a. folgende Fragen geklärt werden :

1. Größe der Auffächerung der Testwelle (Abb. 3) nach der Reflexion; Die Größe des Messbereichs (Abb. 4) im Meridianbereich des Prüflings;
2. Die geometrische Form und Größe sowie die Lage des resultierenden Interferogramms (Abb. 6) auf dem Detektor;
3. Die Wichtung der Objektsamplitude, die den Kontrast des Interferogramms bestimmt;
4. Die Bestimmung der Phasenanteile aufgrund von Dejustageabweichungen des Prüflings (Abb. 7);, sowie deren Elimination (Abb. 8)

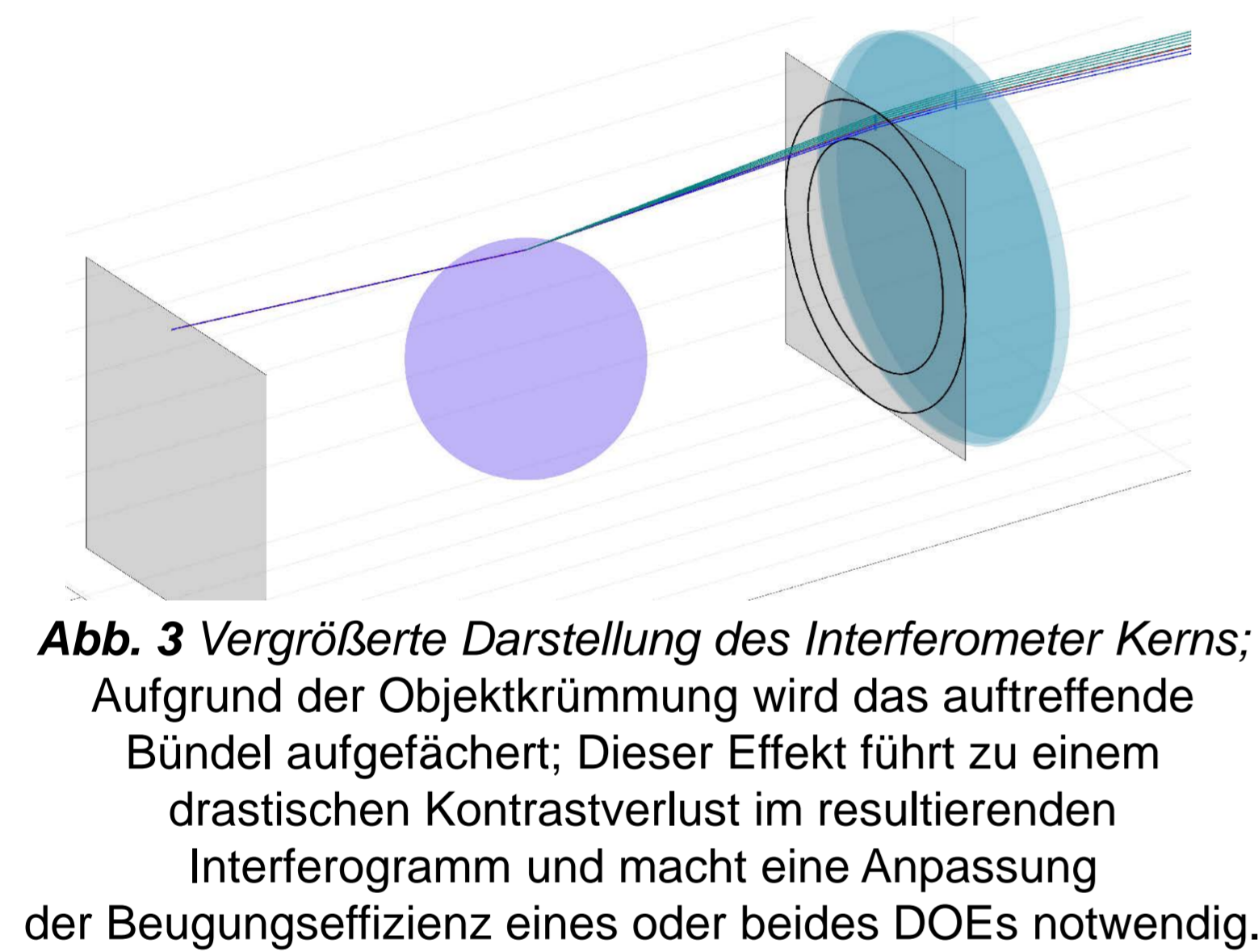


Abb. 3 Vergrößerte Darstellung des Interferometer Kerns; Aufgrund der Objektkrümmung wird das auftreffende Bündel aufgefächert; Dieser Effekt führt zu einem drastischen Kontrastverlust im resultierenden Interferogramm und macht eine Anpassung der Beugungseffizienz eines oder beides DOEs notwendig.

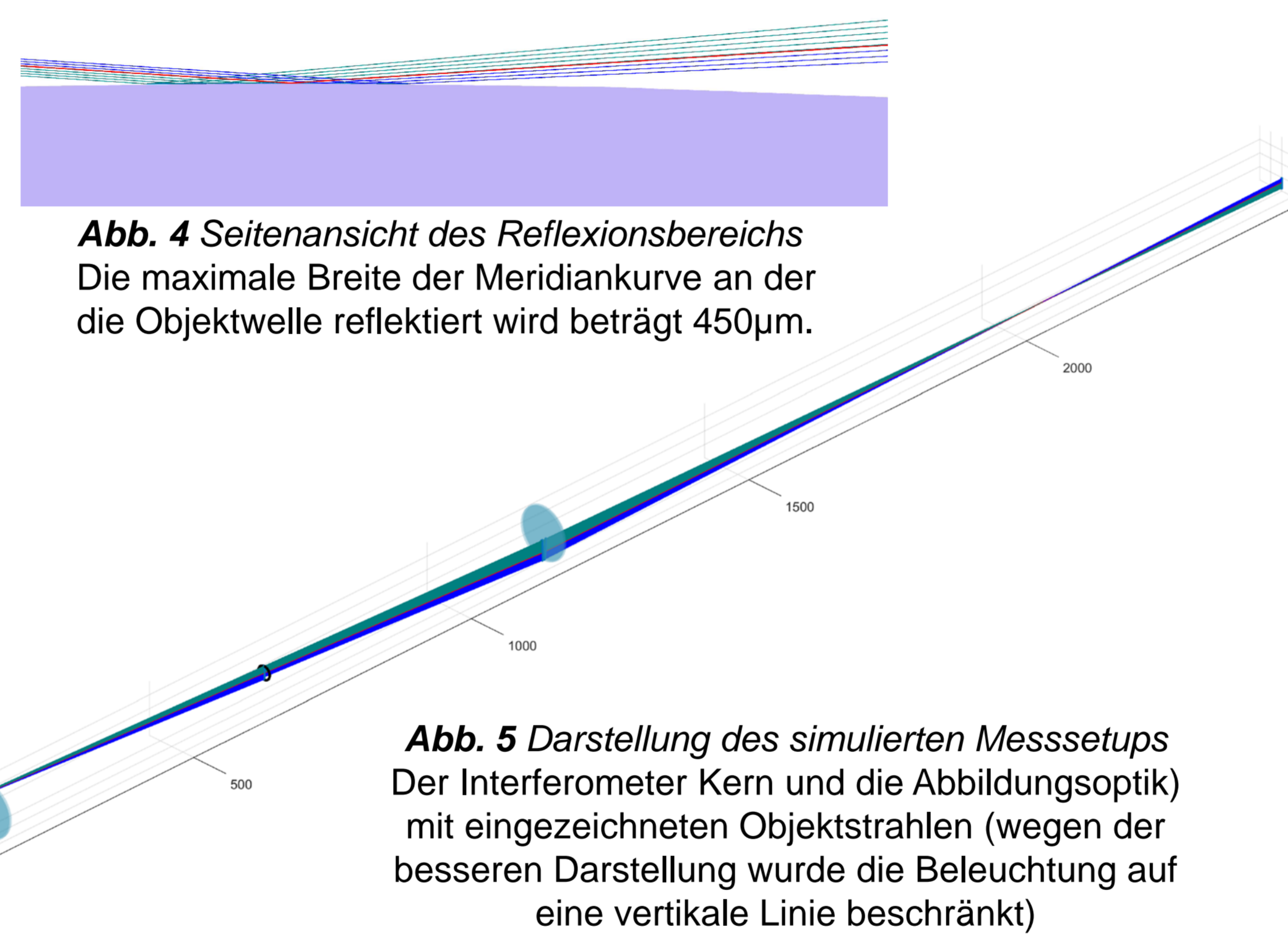


Abb. 4 Seitenansicht des Reflexionsbereichs Die maximale Breite der Meridiankurve an der die Objektwelle reflektiert wird beträgt 450µm.

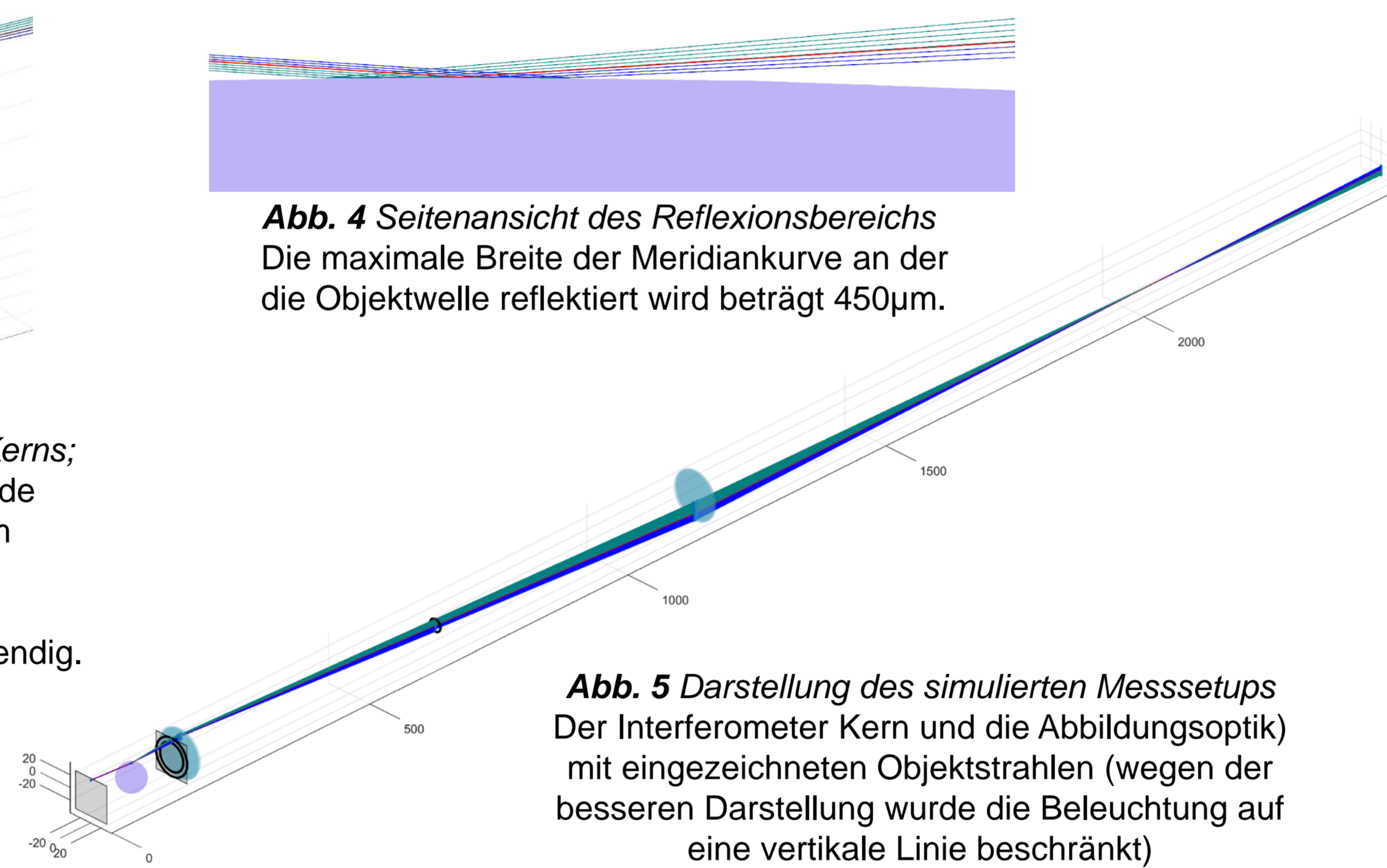


Abb. 5 Darstellung des simulierten Messsetups Der Interferometer Kern und die Abbildungsoptik mit eingezeichneten Objektstrahlen (wegen der besseren Darstellung wurde die Beleuchtung auf eine vertikale Linie beschränkt)

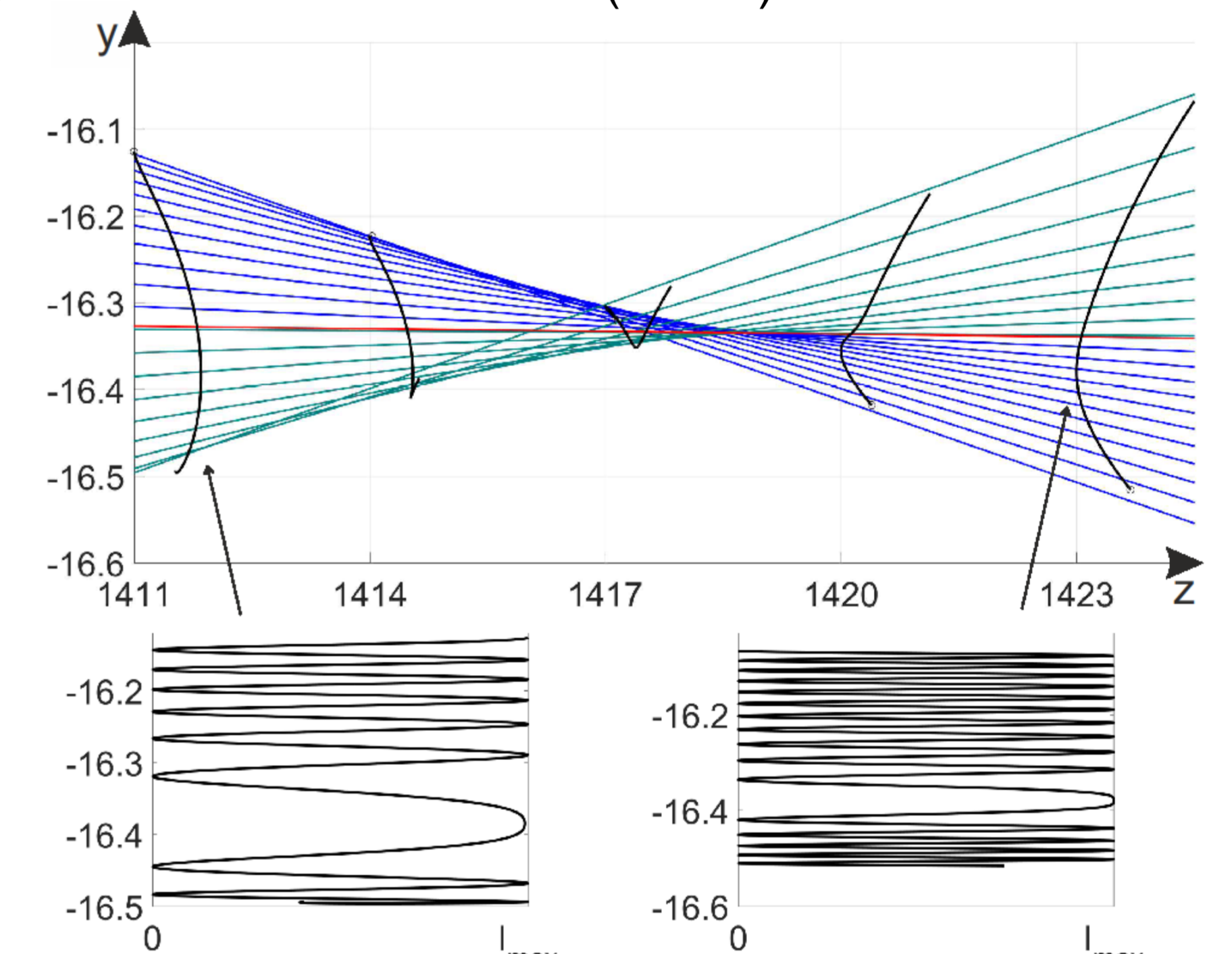


Abb. 6 Strahlenpropagation um die Fokusebene des abbildenden Teleskops Eine intra- oder extra-fokale Stellung des Detektors ist für eine aufgelöste Darstellung des resultierenden Interferogramms notwendig.

Dejustage Simulation

- Die Deplatziierung des Messobjekt von der idealen Position führt zur Abweichungen im gemessenen Phasenergebnis, dieses kann als Summe der gesuchten Objektphase und der Dejustagephase ausgedrückt werden: $\Phi_{MEAS} = \Phi_{OBJ} + \Phi_{MIS}$
- Aufgrund der Kugelsymmetrie des sphärischen Objekts sind nur die drei möglichen Verschiebungen des Messobjekts (Abb. 7) von Interesse: $\Phi_{MIS} = \Delta_x \Phi^x + \Delta_y \Phi^y + \Delta_z \Phi^z$
- Die Wirkung einzelner Dejustagen $\Phi^{x/y/z}$ kann simuliert werden (Abb. 9), dabei wird die Größe einzelner Dejustagen durch den Vektor $\vec{x} = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)^T$ angegeben.

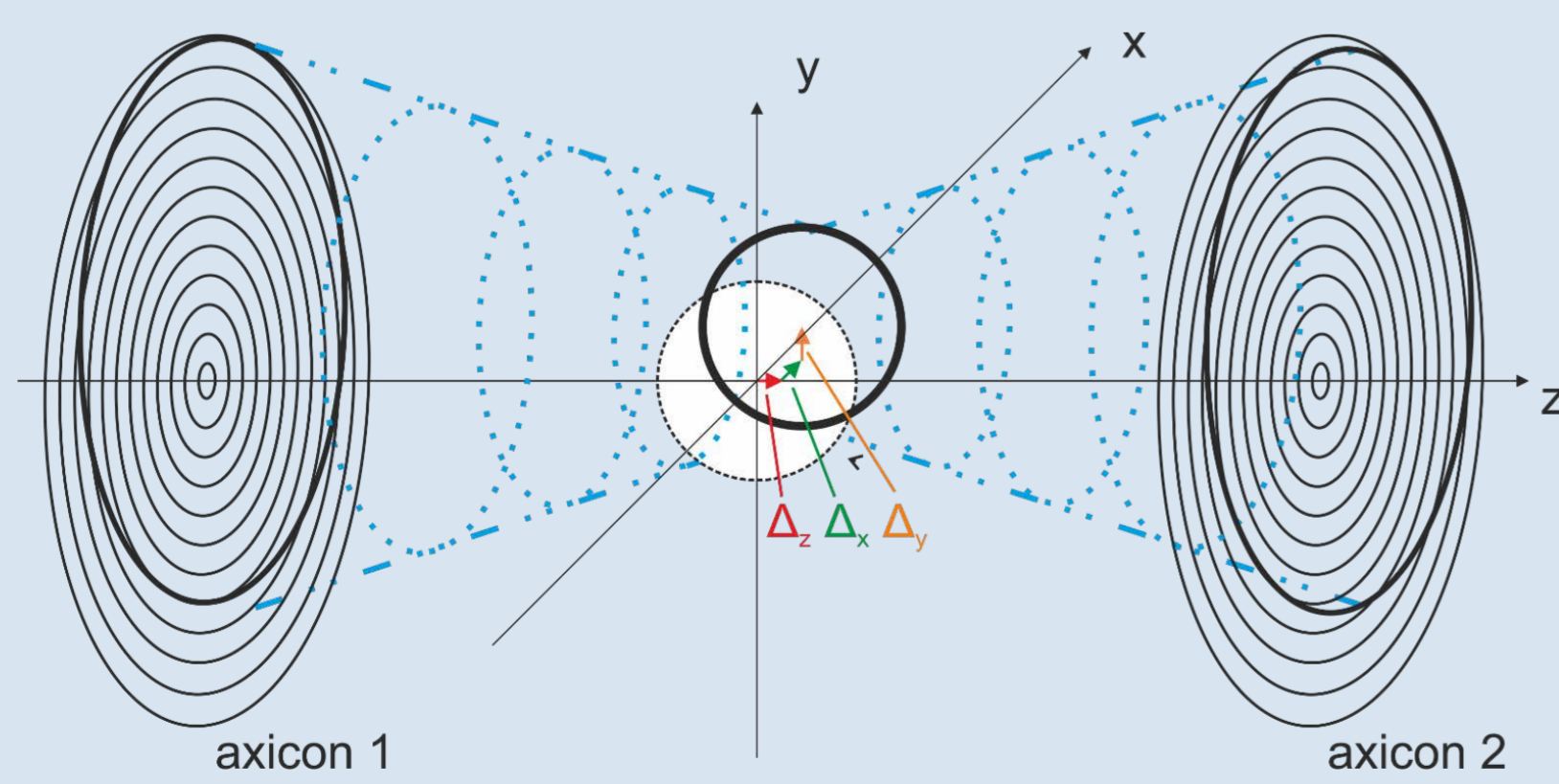


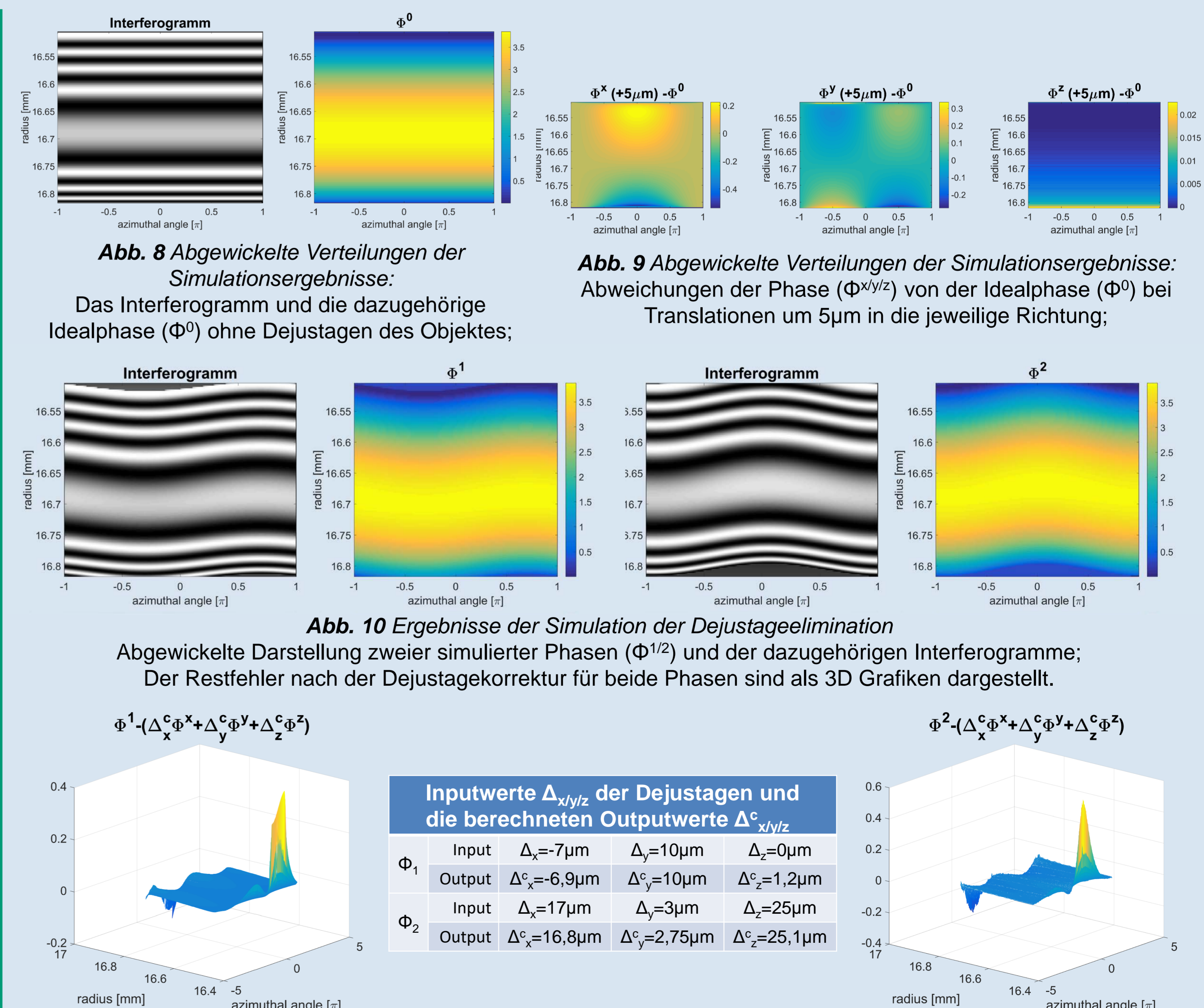
Abb. 7 Skizze der möglichen Objekt-Dejustagen

- Die Elimination der Dejustagen kann durch ein System linearer Gleichungen ausgedrückt und somit gelöst werden:

$$((\Phi^x \Phi_{MEAS}) (\Phi^y \Phi_{MEAS}) (\Phi^z \Phi_{MEAS}))^T = \begin{bmatrix} \vec{b} \\ \vec{M} \end{bmatrix} \vec{x} = \begin{pmatrix} \langle \Phi^x \Phi^x \rangle & \langle \Phi^x \Phi^y \rangle & \langle \Phi^x \Phi^z \rangle \\ \langle \Phi^y \Phi^x \rangle & \langle \Phi^y \Phi^y \rangle & \langle \Phi^y \Phi^z \rangle \\ \langle \Phi^z \Phi^x \rangle & \langle \Phi^z \Phi^y \rangle & \langle \Phi^z \Phi^z \rangle \end{pmatrix} \vec{x}$$

- Dabei steht $\langle \rangle$ für die pixelweise Summation der gegebenen Verteilungen: $\langle \Phi^x \Phi^y \rangle = \sum_{i,j} \Phi^x(i,j) * \Phi^y(i,j)$

- Das Eliminationsverfahren wurde für simulierte Phasenverteilungen mit vorgegebenen Dejustagen des Messobjekts auf die Genauigkeit überprüft (Abb. 10).



[1] J. Schwider et al., (2016), arXiv, arXiv:1612.08046

[2] S. Rothau et al., (2019), In Proc. SPIE:11056