

Hochpräzise Messung flacher spiegelnder Freiform-Oberflächen mit Experimental Ray Tracing

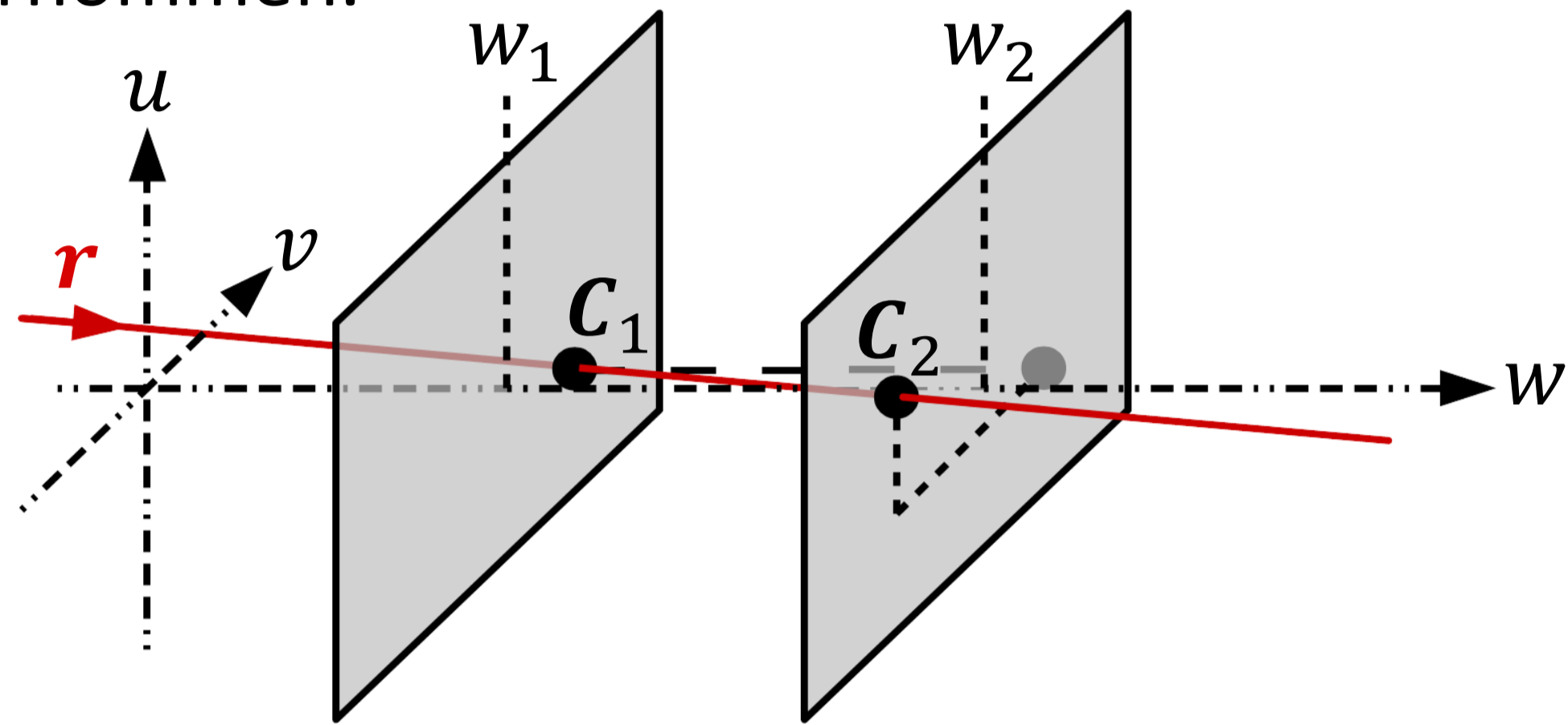
Tobias Binkele, David Hilbig, Mahmoud Essameldin, Jannes Rase, Thomas Henning, Friedrich Fleischmann

Einführung

Nach sphärische und asphärische Oberflächen bilden Freiform-Oberflächen den nächsten Schritt in der Entwicklung optischer Komponenten. Zur Überprüfung der Qualität dieser Komponenten muss die Messtechnik in gleichem Maße weiterentwickelt werden. Dazu haben wir eine neue Gradienten-basierte Messtechnik, auf der Basis von Experimental Ray Tracing, entwickelt.

Experimental Ray Tracing

Die entwickelte Messmethode basiert auf dem Prinzip des Experimental Ray Tracing (ERT)¹. Ursprünglich wurde ERT als Durchlichtmessmethode für optische Komponenten vorgestellt. Die Idee zur Messung von Strahlrichtungen haben wir für unsere Methode übernommen.



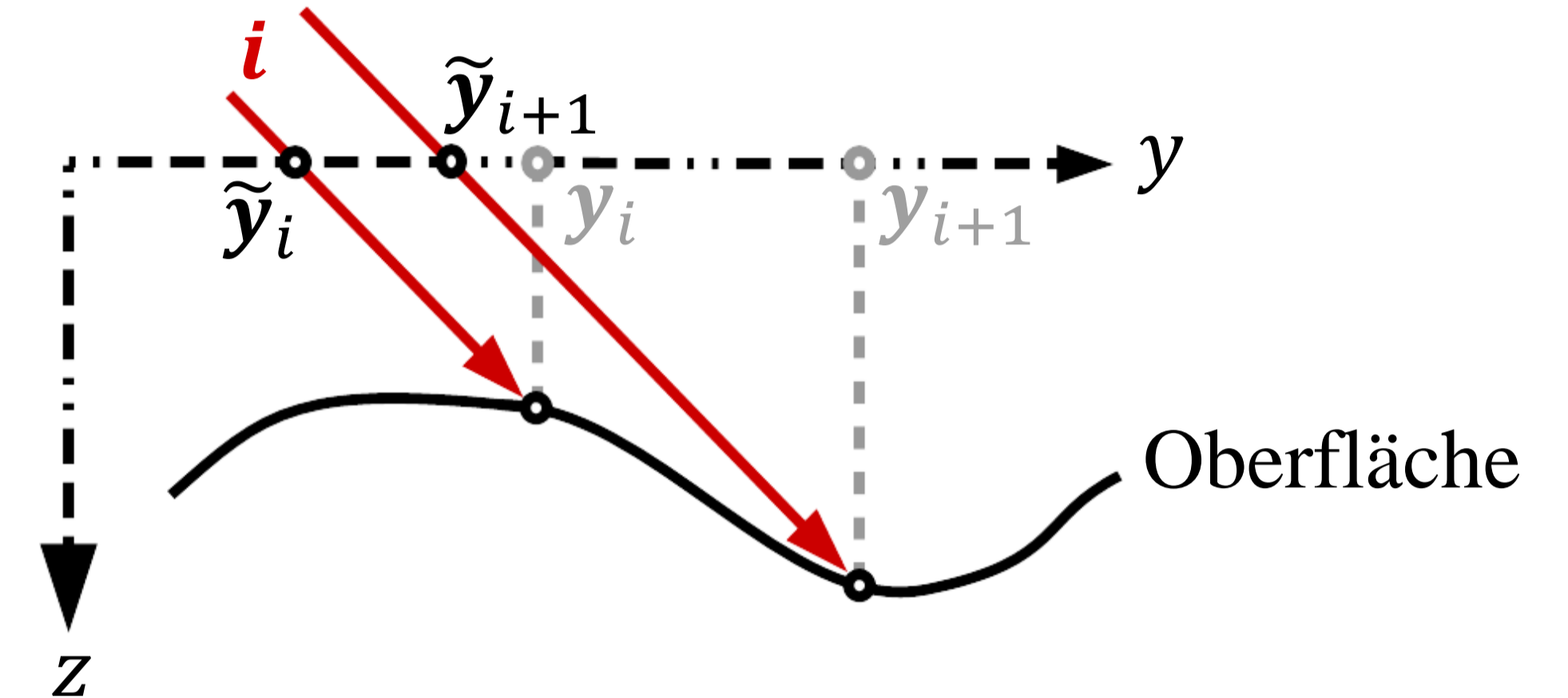
Von den beiden Punkten C_1 und C_2 kann die Strahlrichtung

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{C}_2 - \mathbf{C}_1}{w_2 - w_1} = \frac{\Delta \mathbf{C}}{\Delta w} = \begin{pmatrix} T^u \\ T^v \\ 1 \end{pmatrix}$$

bestimmt werden. Die Komponenten T^u und T^v beschreiben dabei die Strahlsteigungen entlang der w -Achse. Diese Methode wurde schon in einer Vielzahl von Anwendungen erprobt².

Oberflächen Rekonstruktion

Die zu untersuchende Oberfläche des Messobjekts wird vermessen indem das Objekt an vorbestimmte Punkte $\tilde{\mathbf{y}}_i = (\tilde{x}, \tilde{y})_i^T$, $1 \leq i \leq M$ positioniert wird. Durch den schrägen Einfallswinkel weichen der tatsächliche Reflexionspunkte \mathbf{y}_i allerdings von $\tilde{\mathbf{y}}_i$ ab.



Nun kann die Oberfläche durch Integration rekonstruiert werden.

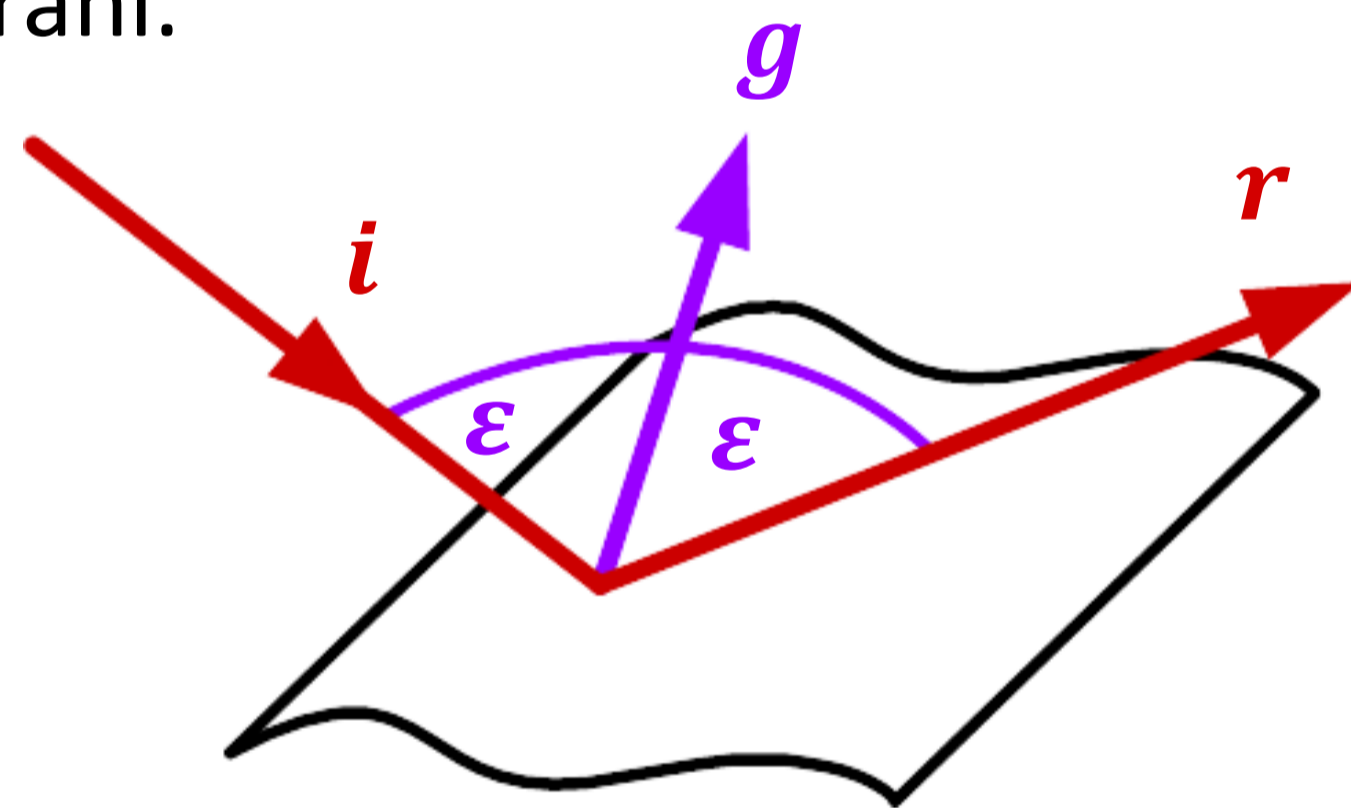
Wir nutzen dabei eine Technik basierend auf Radial Basis Functions mit der Summe der partiellen Ableitung der Wendland-Funktion Φ als Basis. Mit Hilfe der best-fit Koeffizienten α und β , kann die Oberfläche

$$s(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^M \alpha_i \Phi_x(\mathbf{x} - \mathbf{y}_i) + \sum_{i=1}^M \beta_i \Phi_y(\mathbf{x} - \mathbf{y}_i)$$

rekonstruiert werden⁴.

Methode

Die Messung der Oberflächensteigung basiert auf dem Reflexionsgesetz angewendet auf einen einzelnen Strahl.



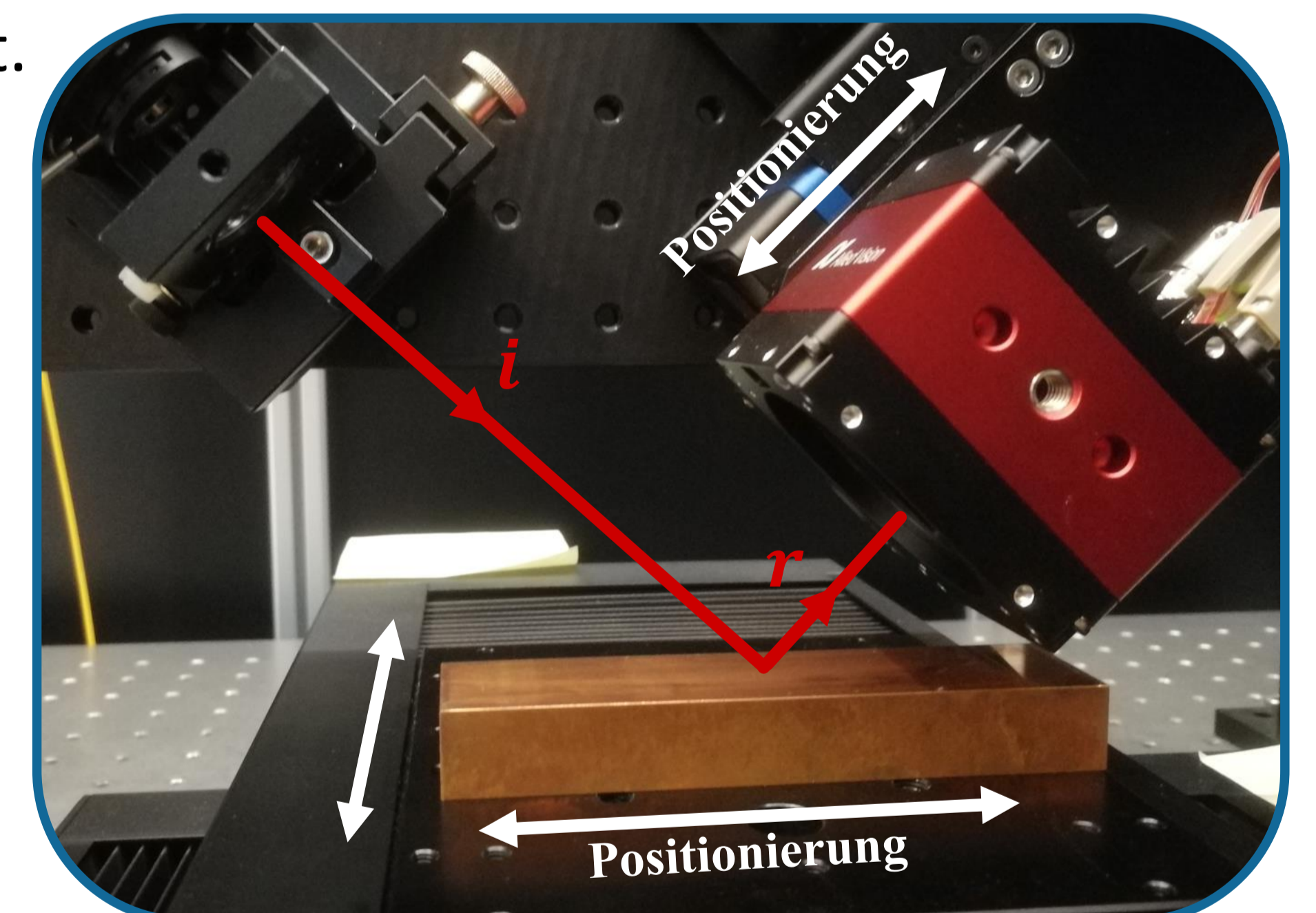
Mit Hilfe des Einheitsvektors des einfallenden Strahls $\hat{\mathbf{i}}$ und dem Einheitsvektor des reflektierten Strahls $\hat{\mathbf{r}}$ kann der Einheitsvektor der Oberflächennormalen

$$\hat{\mathbf{g}} = \frac{\hat{\mathbf{r}} - \hat{\mathbf{i}}}{\sqrt{2 \cdot (1 - \hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{r}})}} = \begin{pmatrix} g^x \\ g^y \\ g^z \end{pmatrix}$$

bestimmt werden³ und damit auch die Oberflächensteigungen am Punkt der Reflexion $s_x = -\frac{g^x}{g^z}$ und $s_y = -\frac{g^y}{g^z}$.

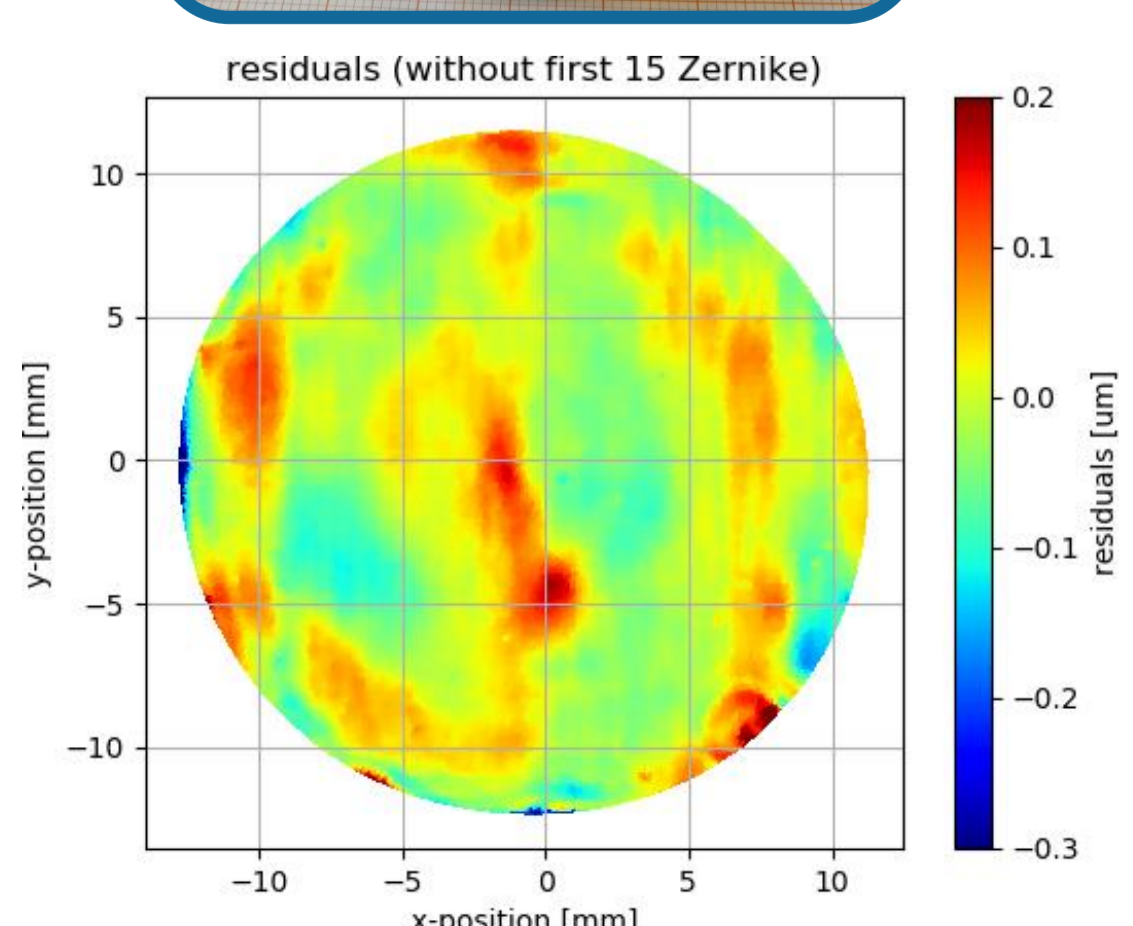
Messaufbau

Im Messaufbau wird der einfallenden Strahl durch einen sehr schmalen Laserstrahl realisiert ($\approx 100 \mu\text{m}$). Mit Hilfe eines xy -Tisches kann das Messobjekt an die gewünschten Positionen $\tilde{\mathbf{y}}_i$ gefahren werden. Um die Position des reflektierten Strahls in zwei parallelen Ebenen zu messen, wird eine Kamera mit blankem Chip auf einer Linearachse befestigt. Unter Verwendung einer Schwerpunktbestimmung wird die Strahlposition bestimmt.



Ergebnisse

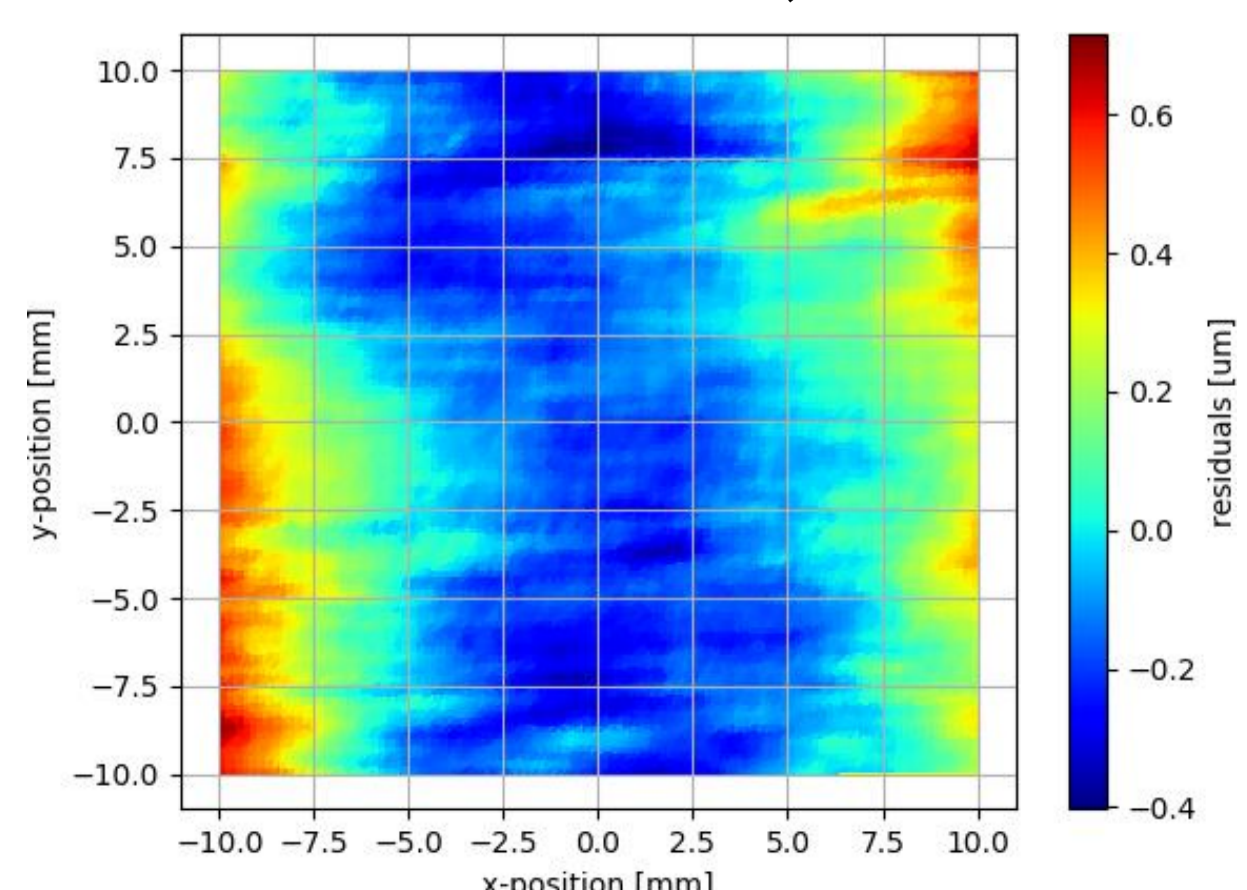
Polynomische Freiform



Zylinderspiegel ($r = 20 \text{ m}$)



measured: $r = 20,65 \text{ m}$



Quellen

- [1] G. Häusler et al., "Testing optics by experimental ray tracing with a lateral effect photodiode", OSA (1988)
- [2] T. Binkele et al., "Experimental Ray Tracing – from simulation to reality", OSA (2018)
- [3] A. Miks et al., "Determination of unit normal vectors of aspherical surfaces given unit directional vectors of incoming and outgoing rays: comment", OSA (2012)
- [4] S. Ettl et al., "Shape reconstruction from gradient data", OSA (2008)

Kontakt:

tobias.binkele@hs-bremen.de

