



## Motivation

Bei deflektometrischen Verfahren tritt im Allgemeinen eine Mehrdeutigkeit bei der Bestimmung der Normalen auf. Es gibt verschiedene Methoden diese Mehrdeutigkeit aufzulösen, dazu zählt beispielsweise die Stereo-Deflektometrie. Für glatte Oberflächen ist diese Mehrdeutigkeit nur lokal und somit die Normalenberechnung global eindeutig. Das hier vorgestellte selbstkonsistente Verfahren nutzt diese globale Eindeutigkeit aus, indem iterativ die Normalen bestimmt werden. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass nur eine Kamera benötigt wird.

Anwendung findet dieses Verfahren beispielsweise in der biologischen Mikroskopie, bei der Objekte durch den Glasboden eines Objektträgers beobachtet werden. Für die Abbildungsqualität ist es erforderlich, dünne Glasschichten zu verwenden, die aber zu Deformationen führen. Dies macht eine aufwendige Fokussuche erforderlich. Durch die gewonnenen Oberflächendaten entfällt diese Fokussierung.

## Selbstkonsistentes iteratives Verfahren

### Ablauf:

1. Betrachtung eines vom Substratboden reflektierten Musters
2. Bestimmung des Kamerastrahls  $\vec{s}_C$  durch Schwerpunktsuche der Marker in der Kameraebene
3. Iteration
  1. Ray-Tracing mit Kamerastrahl und Modell des Substrats liefert Auftreffpunkt auf Substrat
  2. Bestimmung des Markerstrahls  $\vec{s}_M$
  3. Berechnung der Normalen und des Gradienten am Auftreffpunkt aus Kamera- und Markerstrahl:

$$\vec{N} = \frac{\vec{s}_C - \vec{s}_M}{|\vec{s}_C - \vec{s}_M|} \Rightarrow \vec{\nabla}h = - \begin{pmatrix} N_x & N_y \\ N_z & N_z \end{pmatrix}$$

4. Höhenrekonstruktion aus Gradienten mit neuem Verfahren\*

### Approximationsmodell

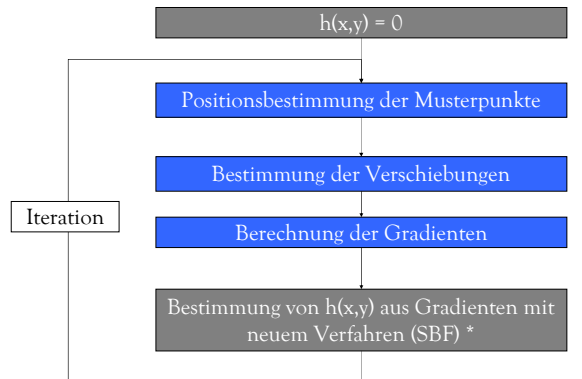
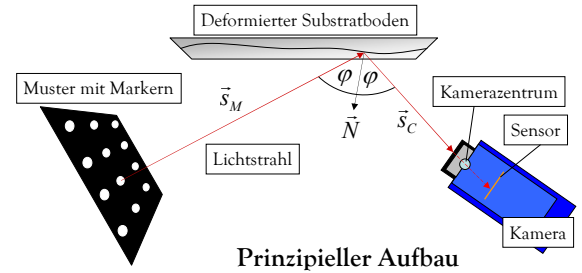
$$f_j(\mathbf{r}) = \sum_{k=0}^{B-1} c_k \psi(\mathbf{r} - \mathbf{r}_k, \sigma)$$

### Bestimmung der Koeffizienten

$$\sum_{k=0}^{B-1} c_k M_{k,k'} = V_k$$

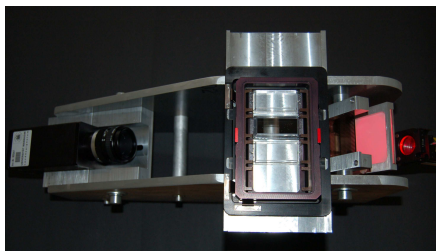
wobei:

$$M_{k,k'} = \sum_{j=0}^{D-1} \sum_{i=0}^{M-1} \psi_j(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k) \psi_j(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{k'}) \quad V_k = \sum_{j=0}^{D-1} \sum_{i=0}^{M-1} y_{j,i} \psi_j(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_k)$$

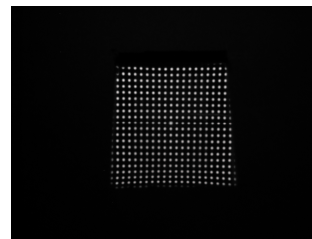


Flussdiagramm

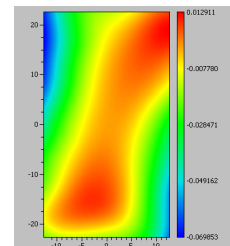
## Aufbau



## Messung mit experimentellen Daten



Kamerabild (1360 x 1024)

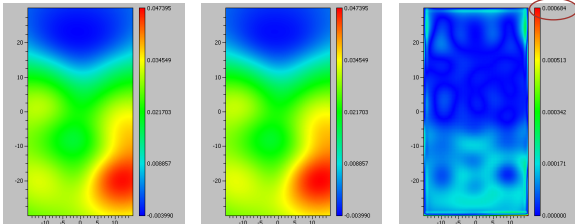


Rekonstruierte Oberfläche  
Höhenvarianz: ~83 µm

## Ergebnisse

### Rechnerisch ermittelte Voruntersuchung

#### Statistische Testoberfläche



Höhenvarianz: ~50 µm

Rekonstruktion

|Differenz|

Maximale Abweichung: ~0,7 µm

## Fazit

- Aus rechnerisch ermittelten Voruntersuchungen
  - Genauigkeit kommt an den interferometrischen Bereich heran
  - Fehler in der Höhenverteilung (RMS): < 100 nm
  - Maximale Abweichung von der Vorgabe:
    - Im Randbereich: ~0,7 µm
    - Im inneren Bereich: ~0,3 µm
  - 5 bis 8 Iterationsschritte genügen

\* K.-H. Brenner, „Shifted Base Functions: An Efficient and Versatile New Tool in Optics“, to appear in WIO 2008, Annecy