

# Fokussierien-basierte Rekonstruktion von Mikroobjekten

Jan Wedekind

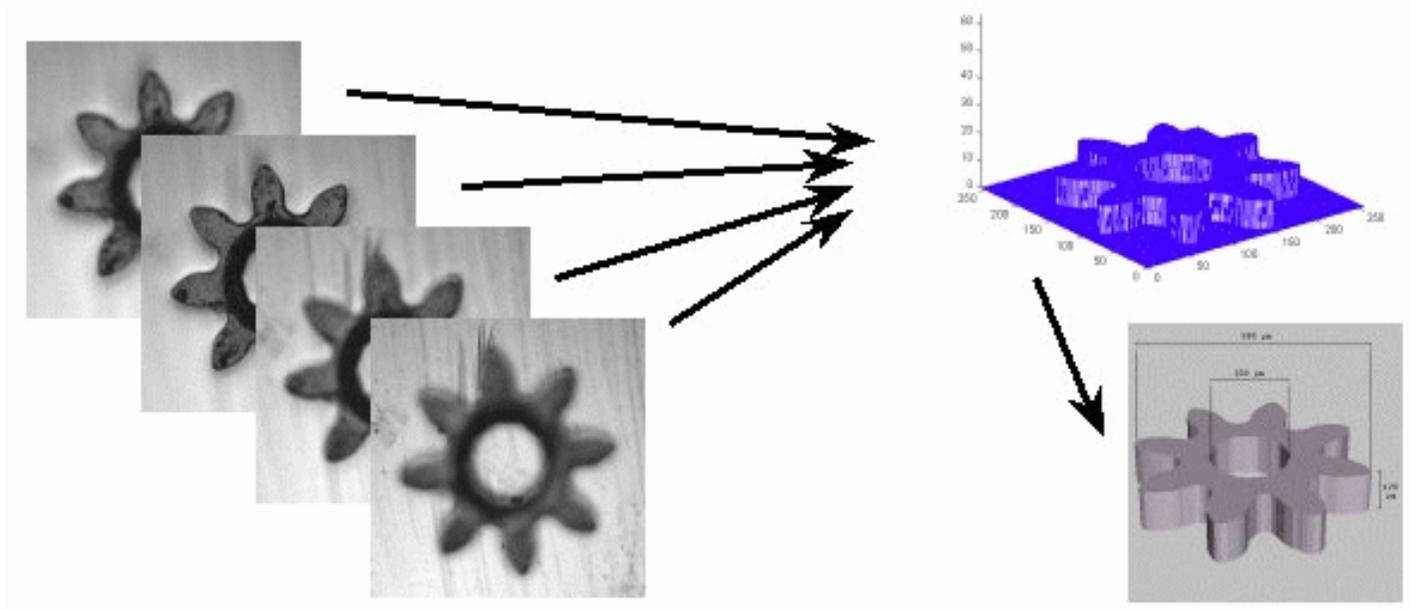
16.5.2002

Betreuer: Axel Bürkle

Referent: Prof. Heinz Wörn



## Motivation



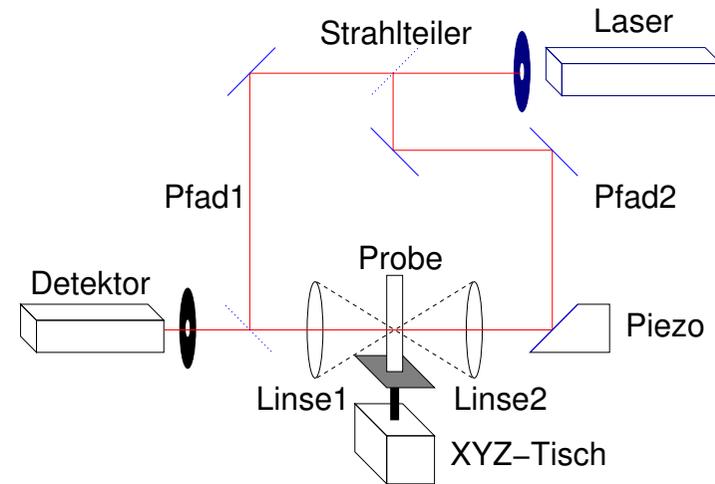
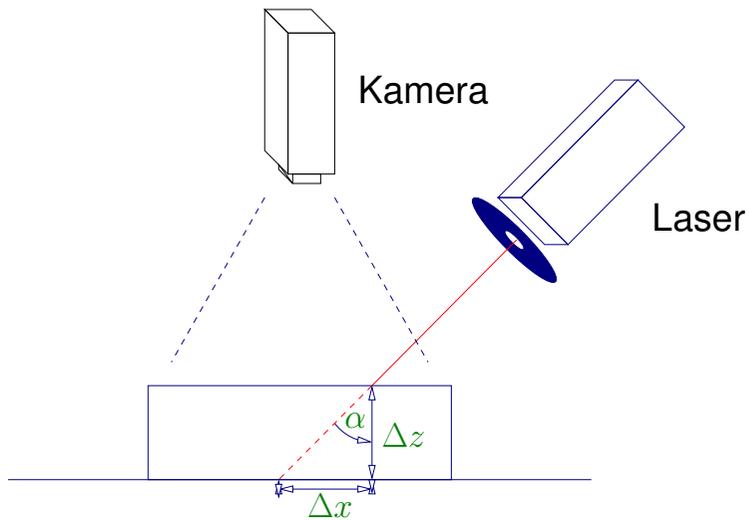
aus Fokussieren rekonstruieren:

- Oberfläche (Höhenkarte)
- Bild erweiterter Schärfentiefe

**Anwendung**

- 3-D Modelle
- Bilderkennung

### Verwandte Techniken



#### Lasertriangulation

- Vorteil: schnell, stabil
- Grenze: Linienbreite, Schärfentiefe

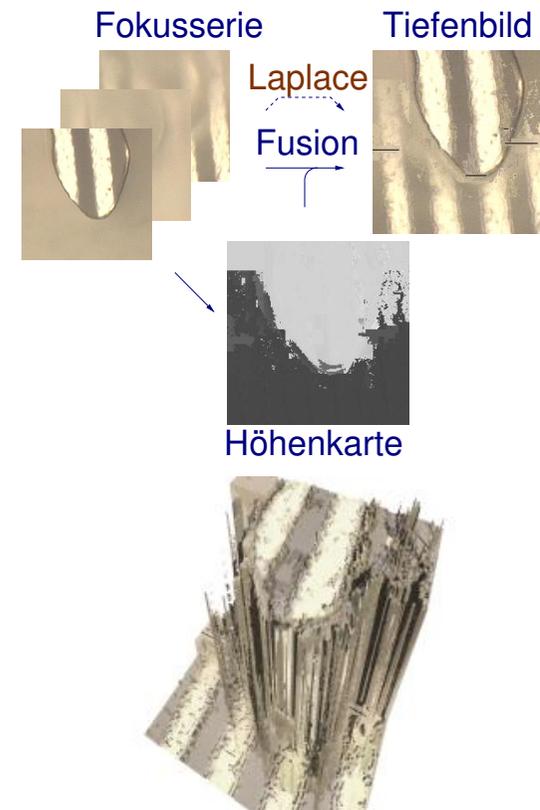
#### Konfokales

#### Laserscanningmikroskop

- hohe Auflösung, 3-D
- teuer

## Stand der Technik

- Höhenkarte  $d(x, y)$  aus
  - Maximierung eines Schärfemaßes
    - \* Gradientenbetrag
    - \* lokale Grauwertvarianz
    - \* Wavelet, 2. Ableitung
  - Vergleich der Unschärfe
- Bild erweiterter Schärfentiefe
  - $v(x, y) = g_{d(x,y)}(x, y)$



## Meßaufbau

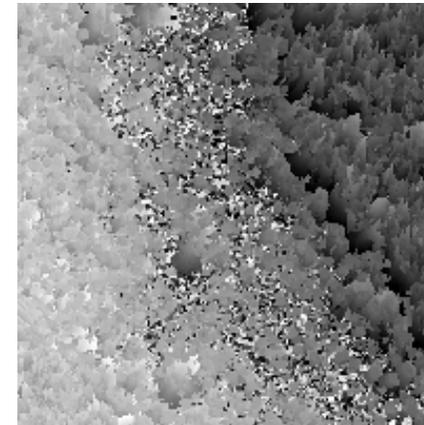
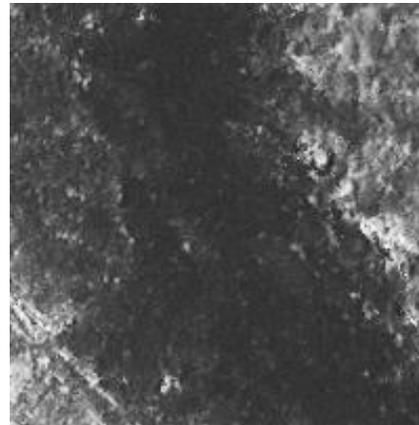
- Leica DM RXA Mikroskop
  - 2 Kanal Beleuchtung mit Filtereinsatz
  - Motorisierter Z-Tisch (Schrittweite  $0.1 \mu\text{m}$ )
- Dual Pentium III mit 1GHz Prozessoren
- $768 \times 576$  CCD-Kamera 8-Bit
  - ⇒ Auflösung bis zu  $0.74 \mu\text{m}/\text{Pixel}$



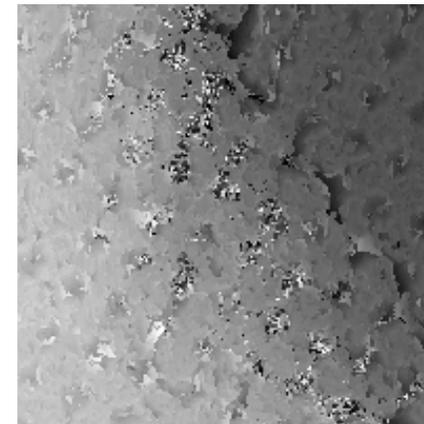
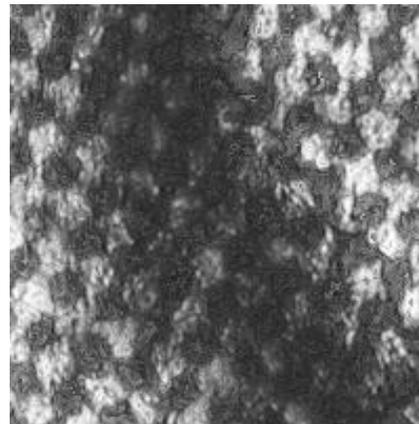
## Projektion von Hilfsmustern



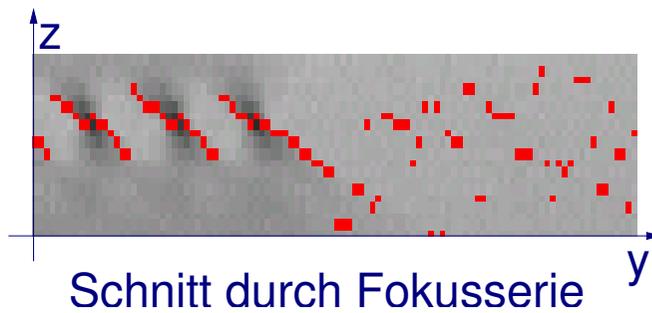
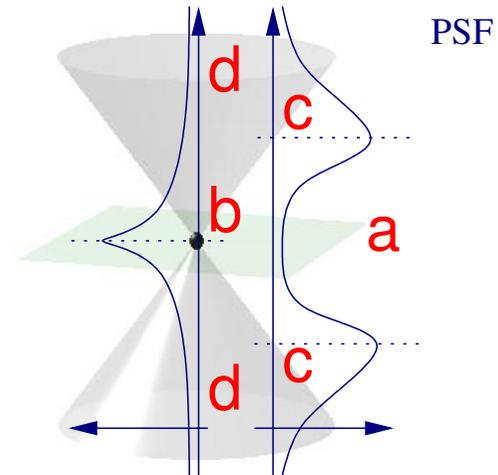
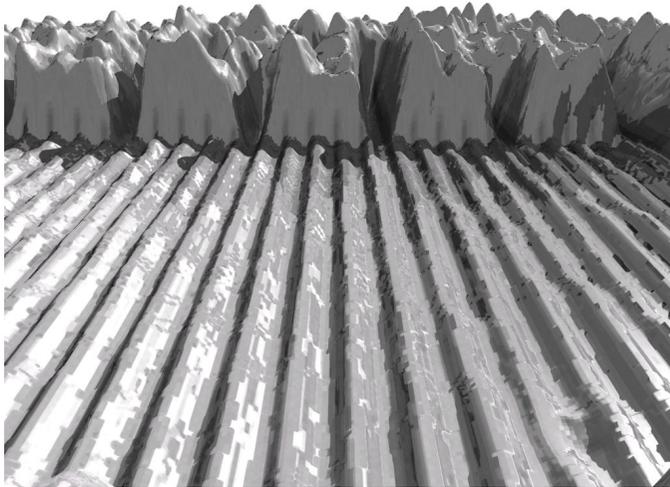
Ohne Verwendung von  
Hilfsmustern



Mit  
projiziertem  $13\ \mu\text{m}$ -  
Schachbrettmuster



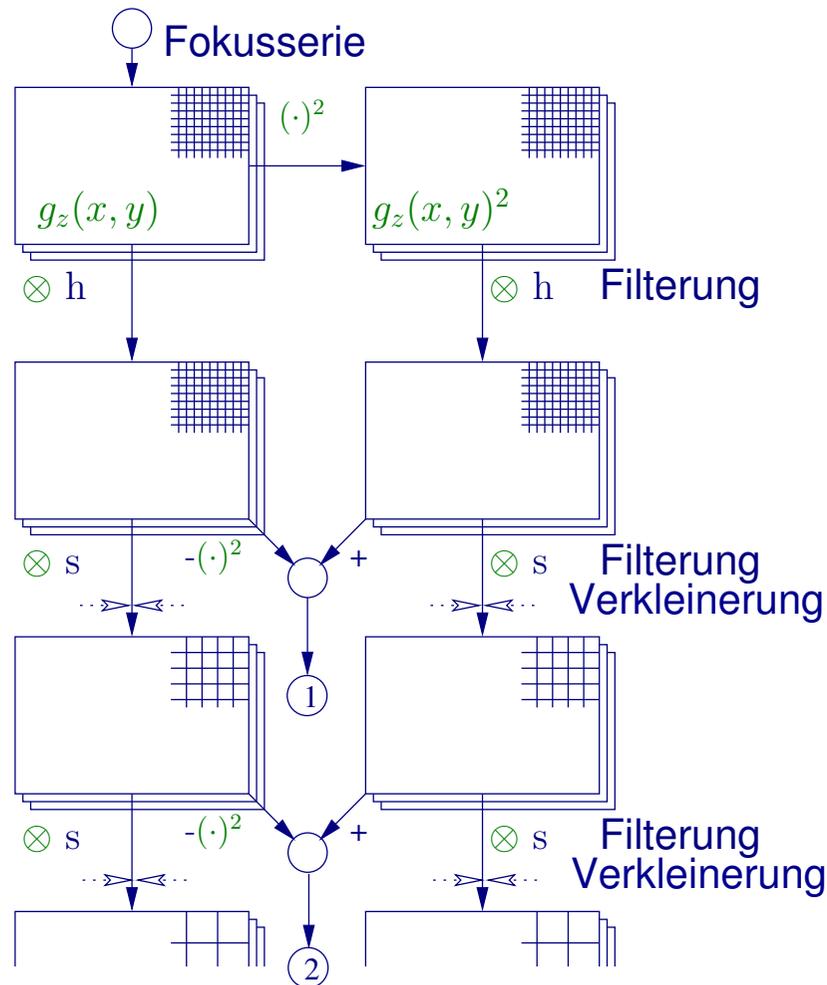
## Systematischer Fehler



## Erklärung

- $\text{Kontrast}(b) > \text{Kontrast}(d)$
- $\text{Kontrast}(a) < \text{Kontrast}(c)$

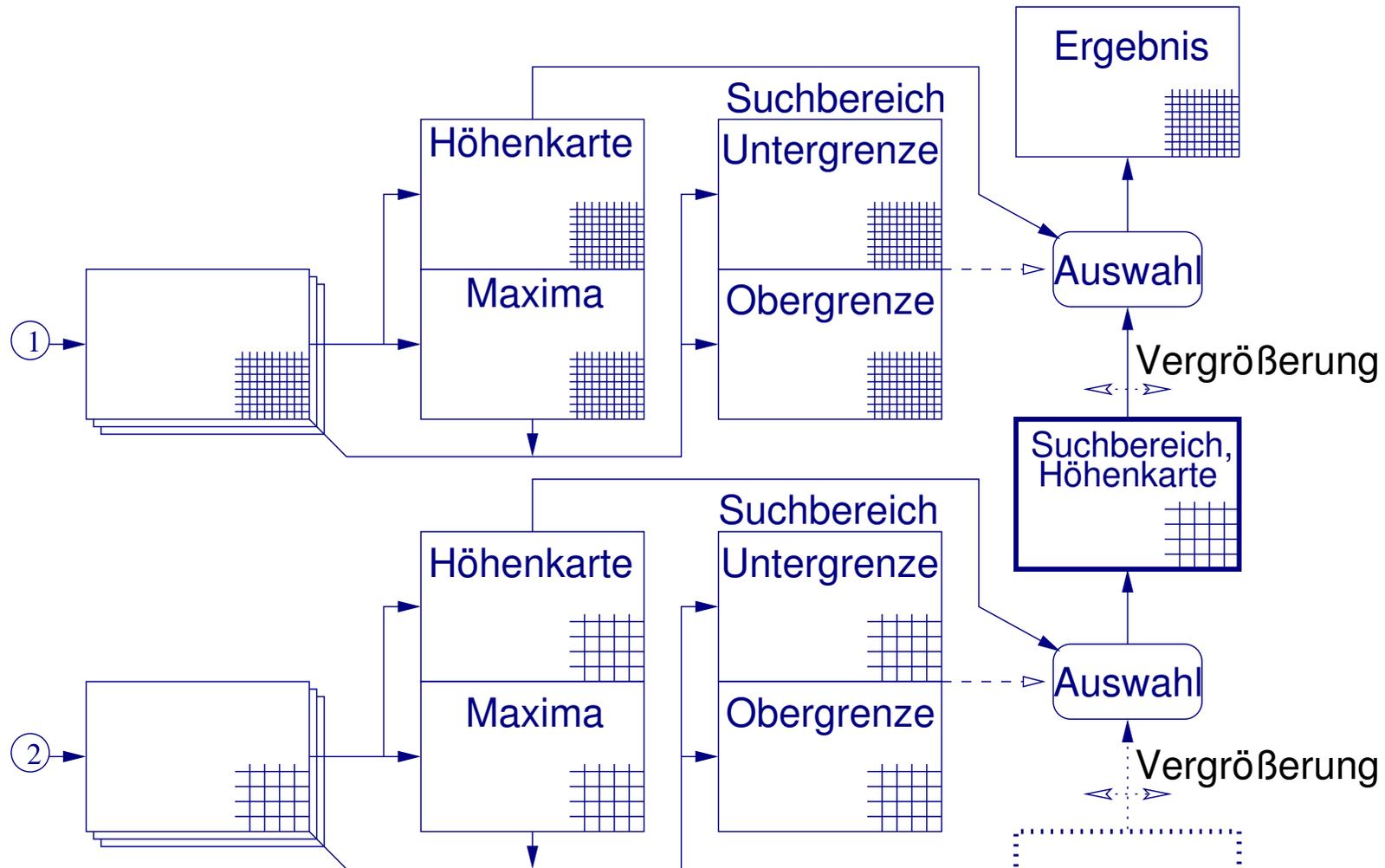
adaptives Schärfemaß



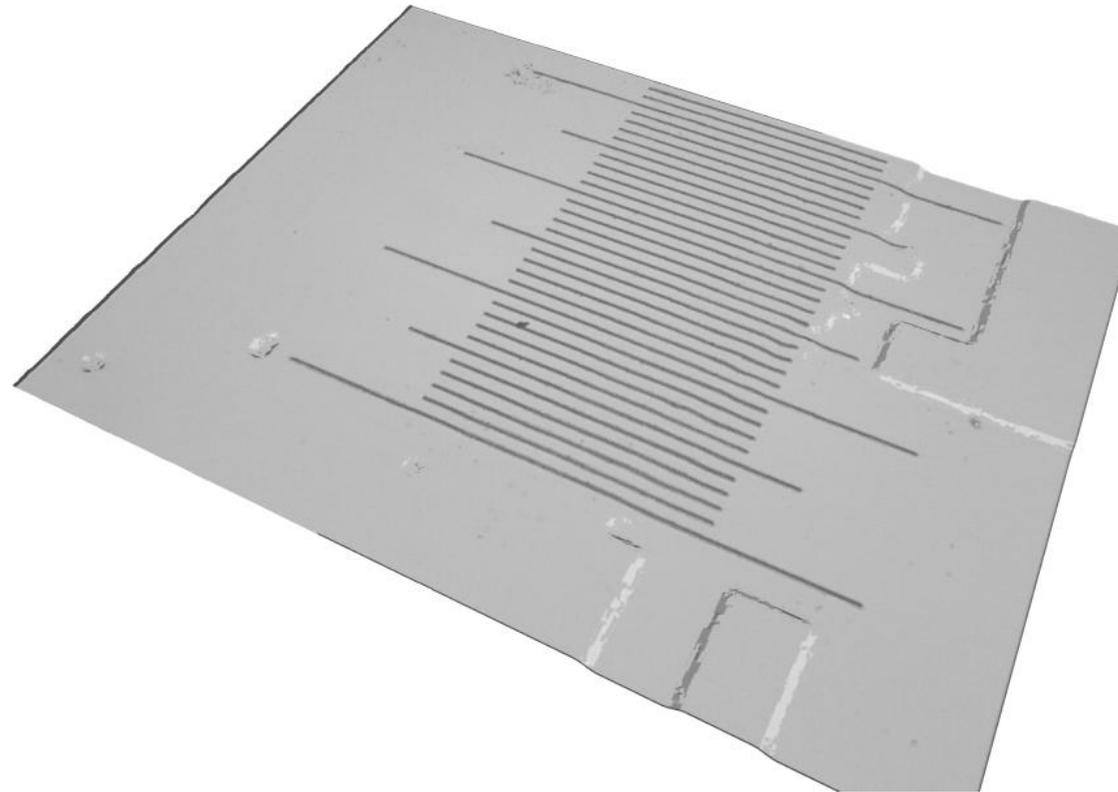
Schärfemaß für verschiedene Auflösungen

- hier lokale Grauwertvarianz
- Komplexität  $O(N)$

### Adaptive Bestimmung der Höhenkarte



Ergebnis

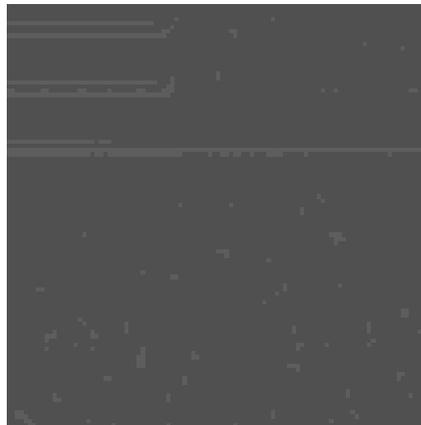


### Auflösungsverbesserung I

Approximation der Punktantwort durch  $h_z(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi(zk)^2} & \sqrt{x^2 + y^2} \leq |zk| \\ 0 & \text{sonst} \end{cases},$

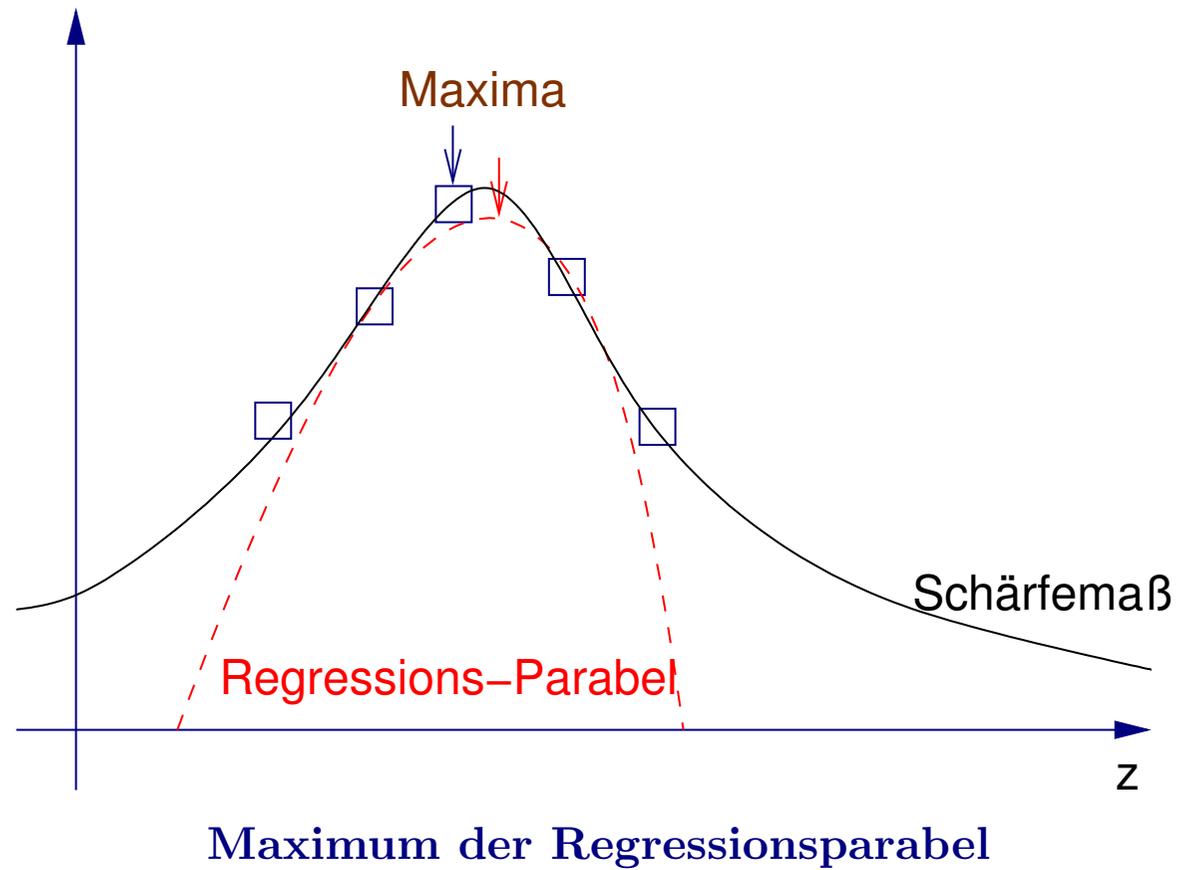
$k$  kalibriert

$$(d' - d)(x, y) = \frac{1}{M} \operatorname{argmin}_{j \in \{-M, \dots, +M\}} \left\| \begin{cases} g_2 - g_1 [\otimes] h_{2j/(cM)} & j < 0 \\ g_1 - g_2 [\otimes] h_{2j/(cM)} & j \geq 0 \end{cases} \right\|$$



Verschlechterung

## Auflösungsverbesserung II

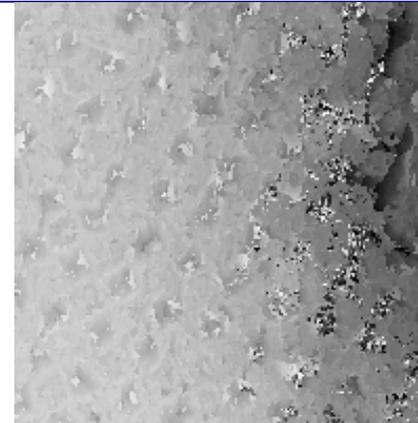
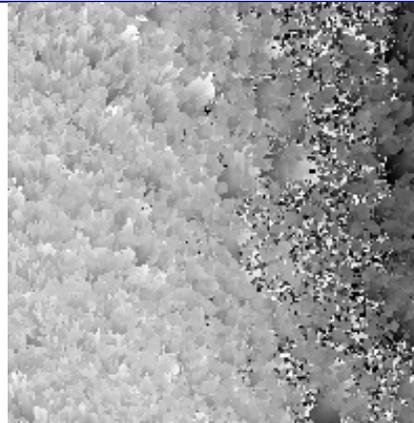


Vergleich I

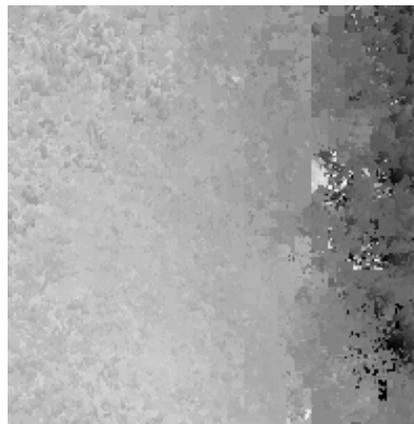
ohne Muster

mit Muster

Stand der Technik



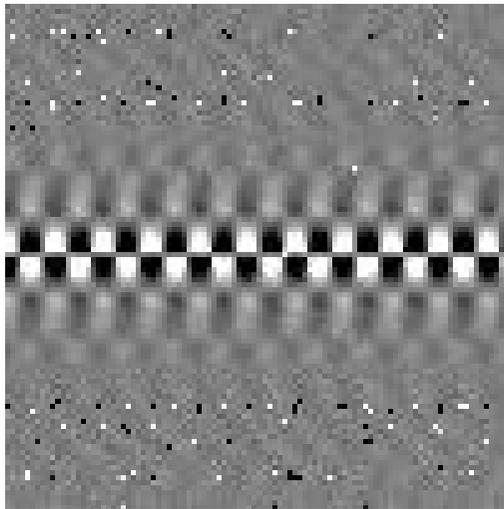
adaptiv



Vergleich II
--------------

simulierte  $100^3$ -Fokusserie: geneigte Ebene

$$\text{Gütemaß } \sigma_d^2 = \frac{1}{N^2} \operatorname{argmin}_{a_1, a_2, b \in \mathbf{R}} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (a_1 x + a_2 y + b - d(x, y))^2$$

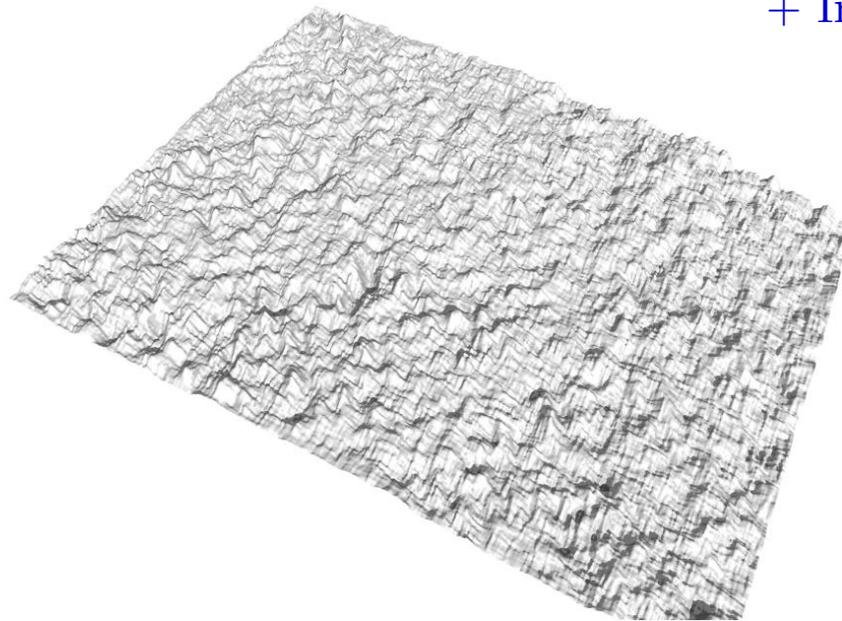


$g_{50}(x, y)$

Algorithmus	$\sigma_d$
einfach	21.6531
adaptiv	1.4135
+ Vgl. d. Unschärfe	1.4956
+ Interpolation	1.3704

Vergleich III

Algorithmus	$\sigma_d/2 \mu\text{m}$
einfach	3.66435
adaptiv	0.76254
+ Vgl. d. Unschärfe	0.97060
+ Interpolation	0.67578



## Zusammenfassung

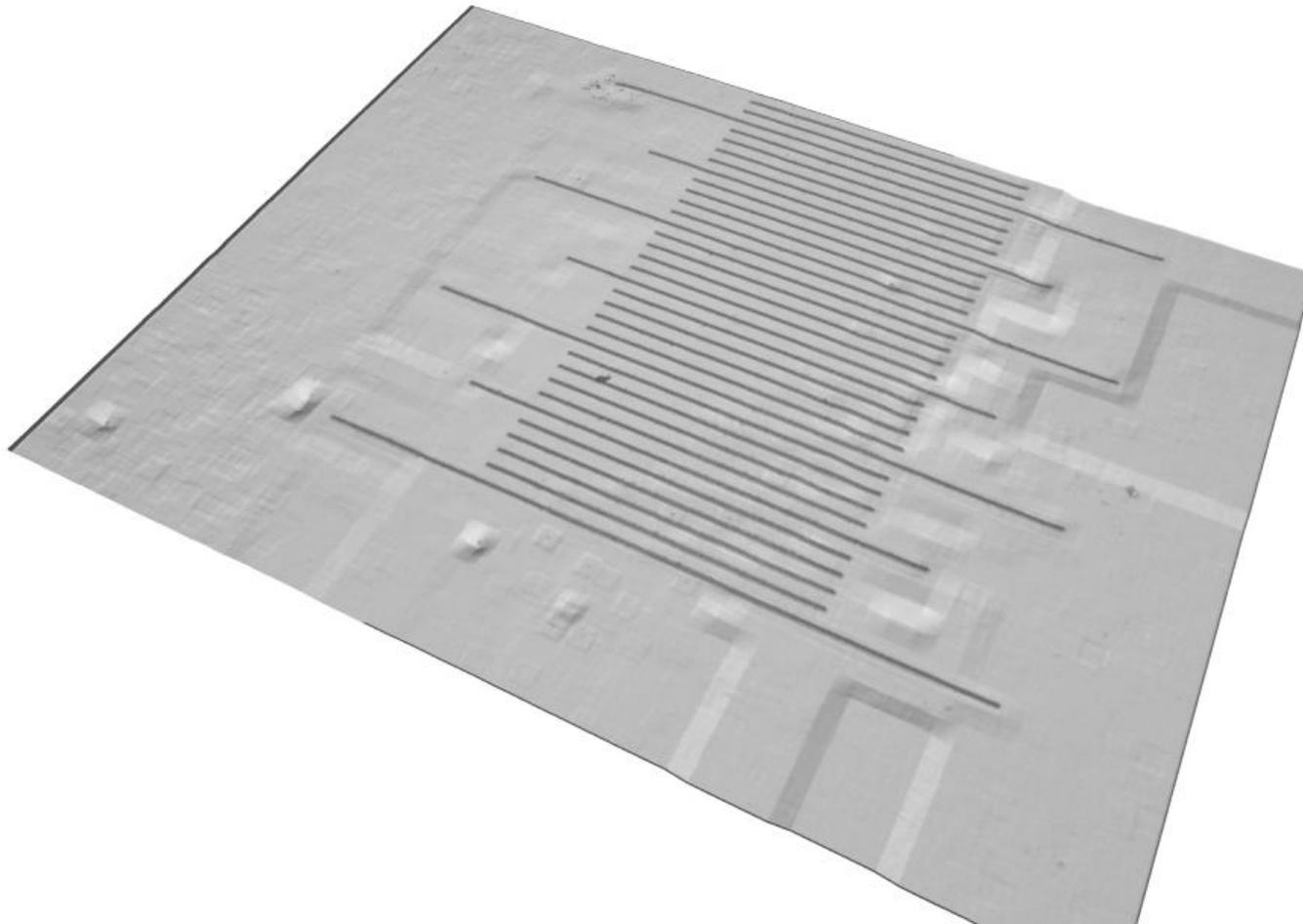
- Adaptiver Algorithmus unterdrückt systematische Fehler
- Projektion von Hilfsmuster
- wenige Parameter
- Komplexität  $O(N)$
- Berechnung von Tiefenbildern
- Auflösungsverbesserung durch Interpolation



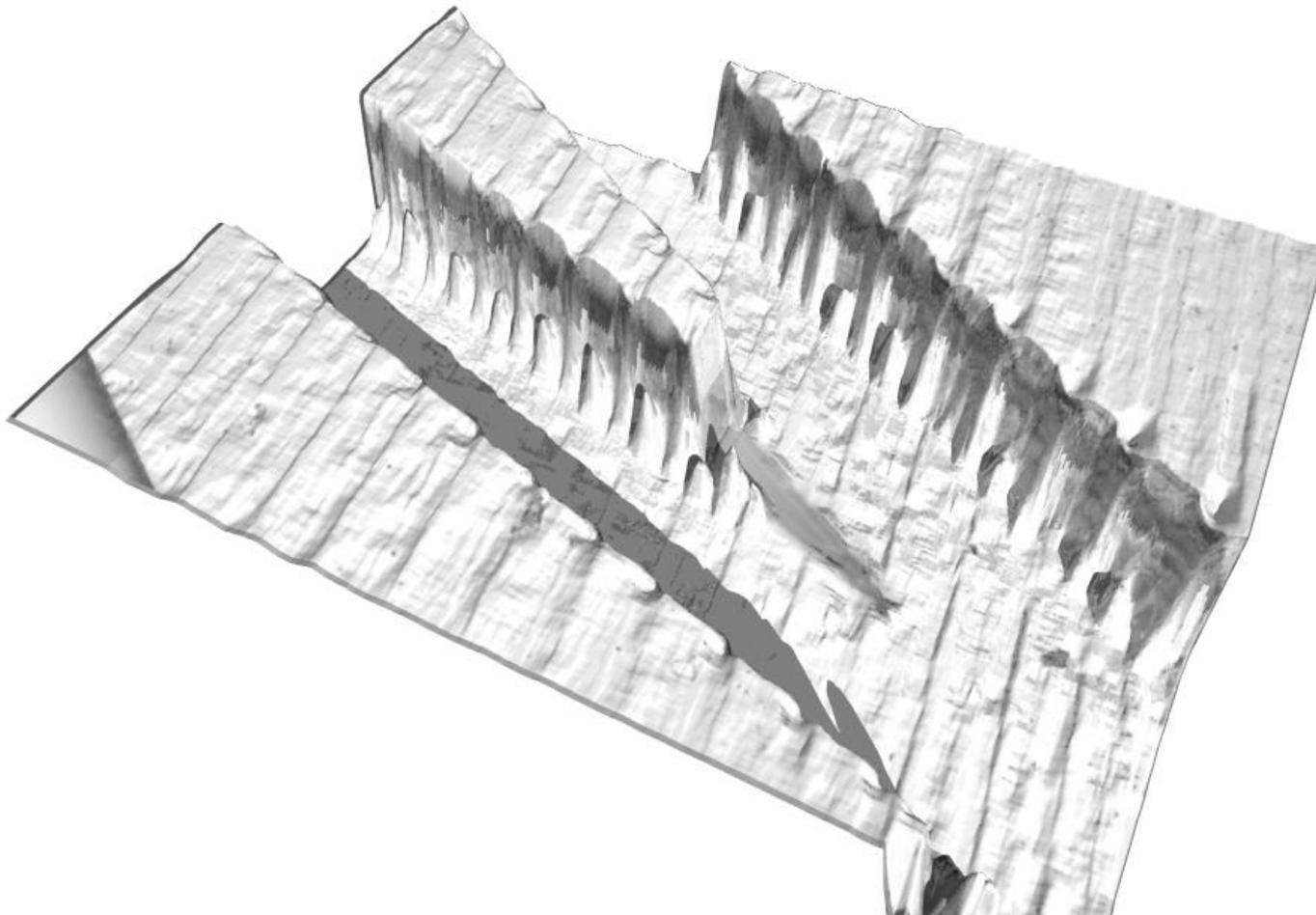
## Ausblick

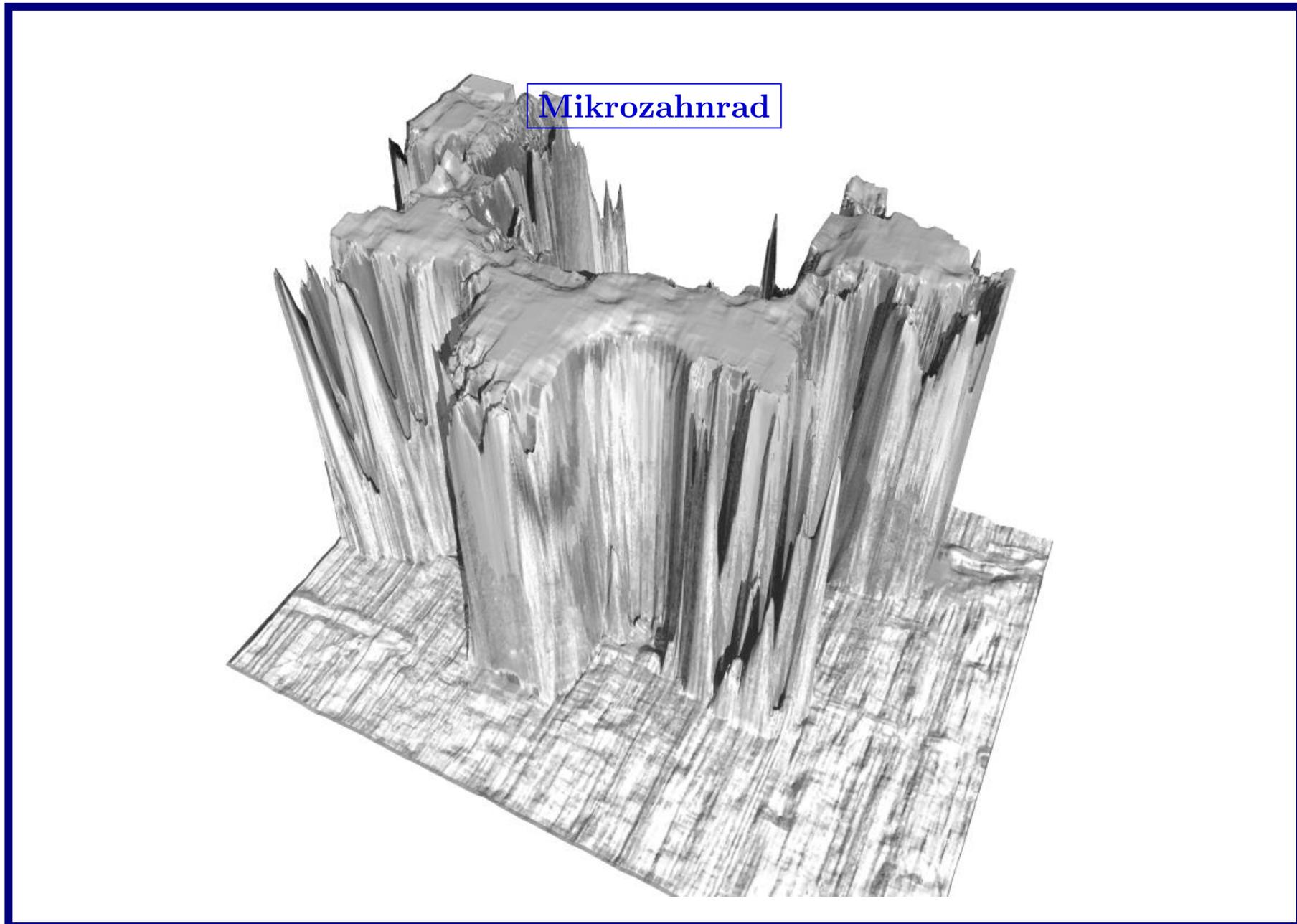
- **Meßaufbau:**
  - Helligkeitsregler für Beleuchtung
- **Algorithmus:**
  - Adaptiver Vergleich der Unschärfe
  - Fusion von Fokusserien
  - Interpolation der Höhenkarte
  - Schärfemaß aus Wavelets
  - Zusammensetzen von Höhenkarten

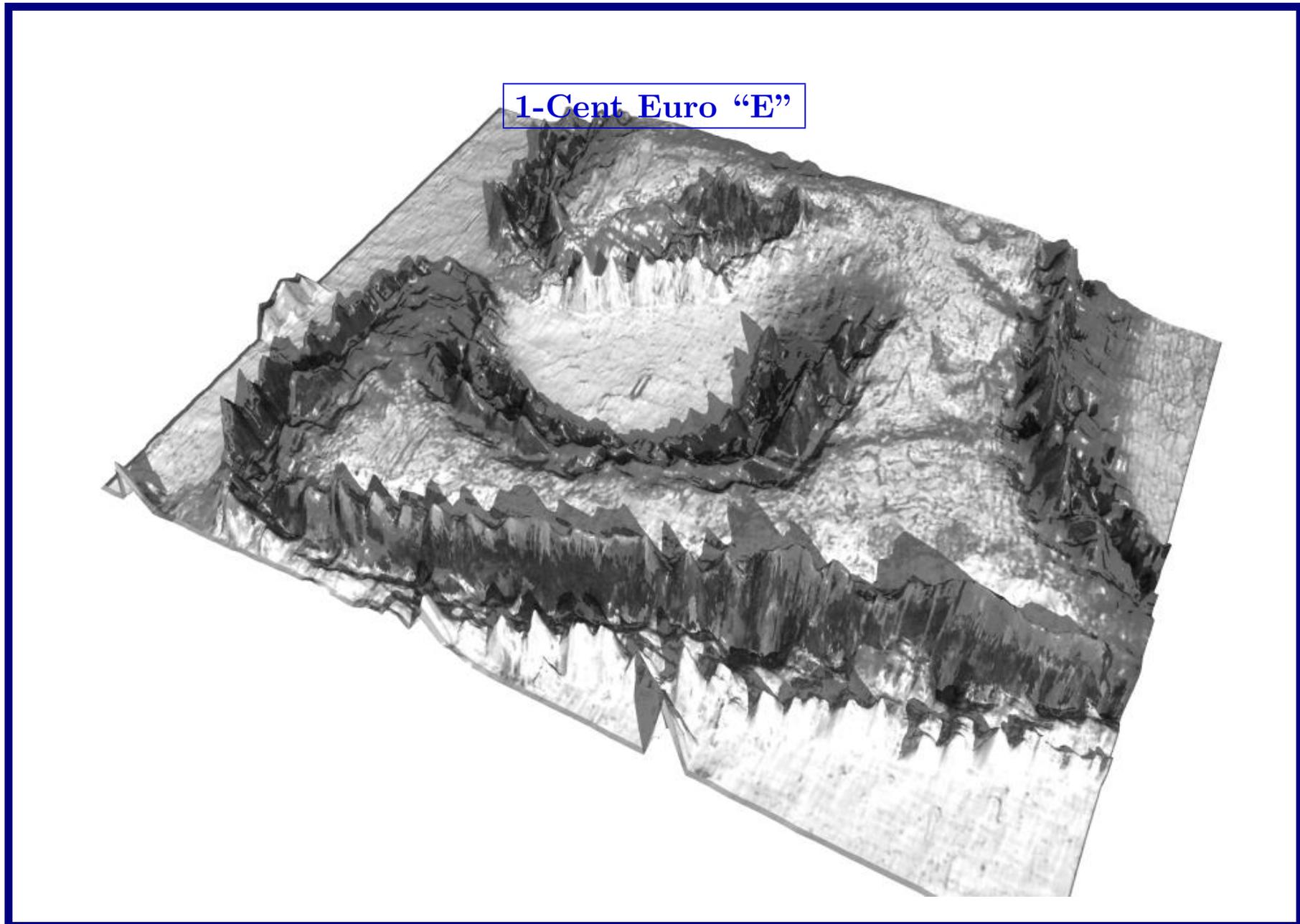
Mikrogitter

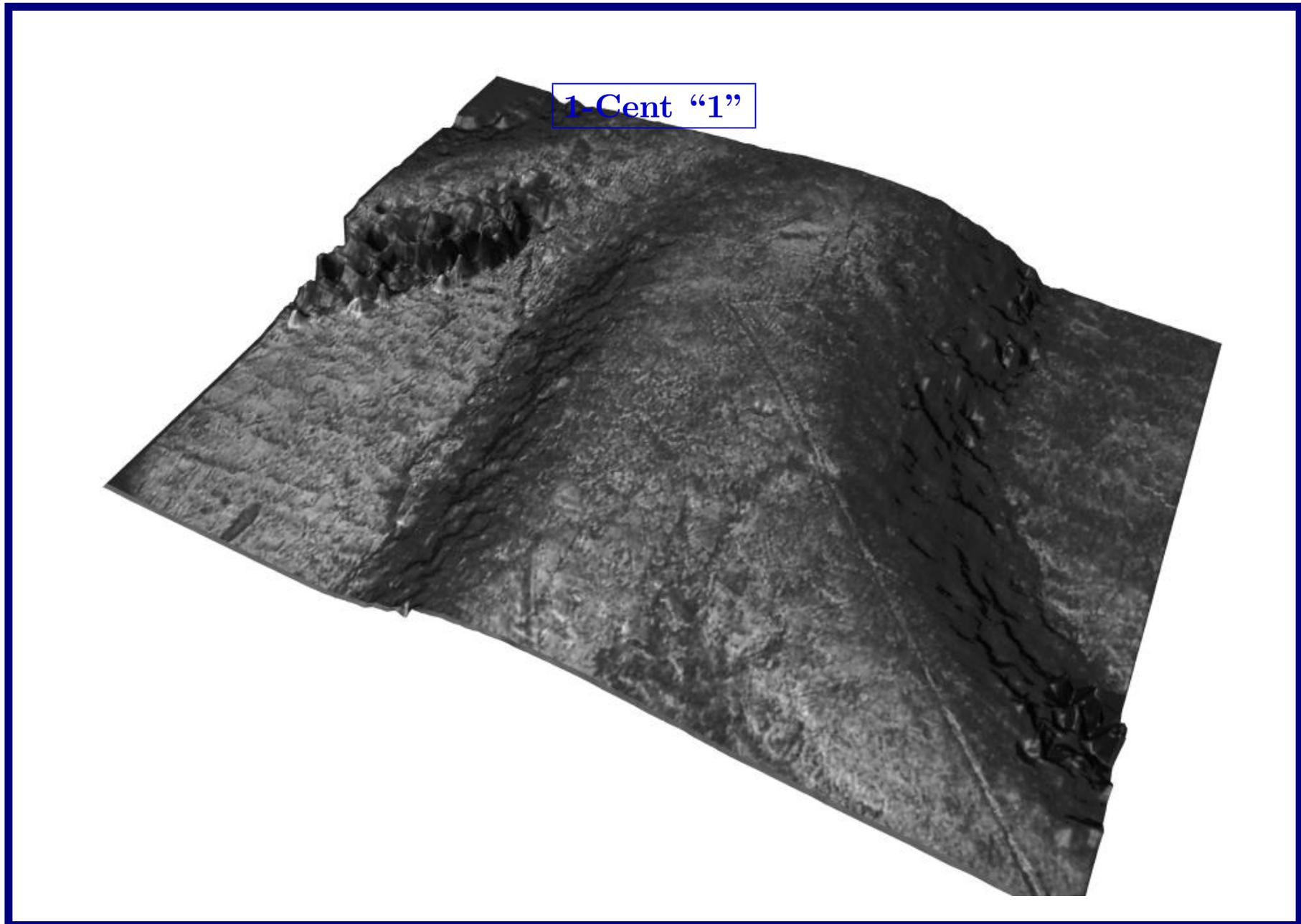


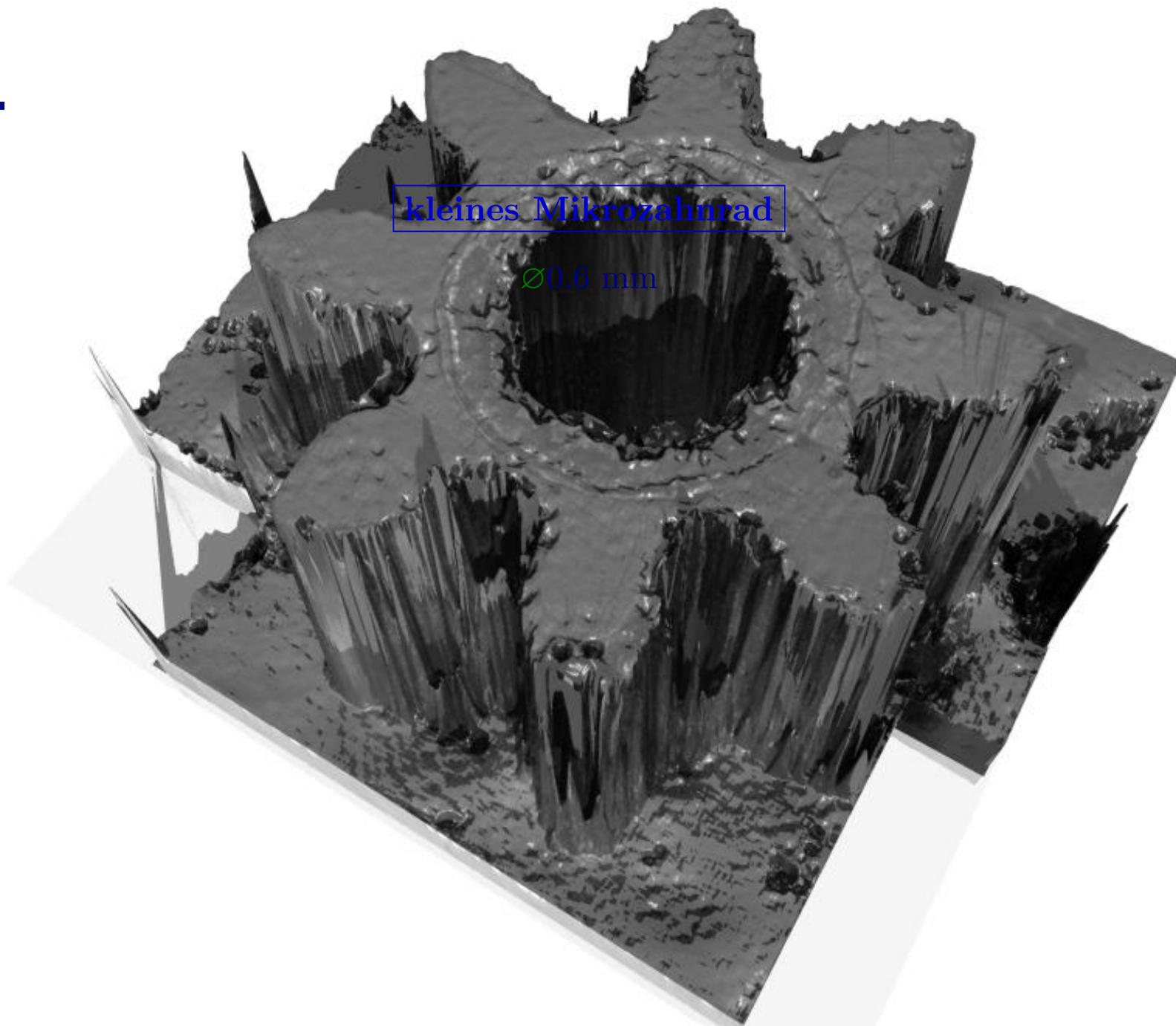
Rillen











kleines Mikrozahnrad

Ø0.6 mm

