

# Optische Zahnradmesstechnik

## Flächige Messung präzisionsgeschmiedeter Zahnräder

**IMR, Universität Hannover**

**Dipl.-Ing. K. Meeß**

- **Vorstellung des SFB 489**
- **Verzahnungsfehler**
- **Zielsetzung**
- **Versuchsaufbau**
- **Geometrieerfassung**
- **Auswertung**
- **Ausblick**

- Qualitätsgesicherte Herstellung von Hochleistungspräzisionsbauteilen
- Minimierung von Fertigungsschritten, in einer durchgängigen Prozesskette
- Verringerung der Umweltbelastung
- Fertigung von komplexen Geometrien (Zahnrad, Kurbelwelle)



Scheren



Erwärmen



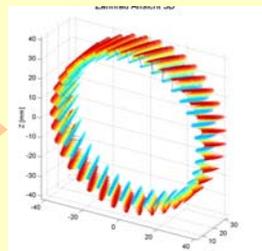
Präzisions-  
schmieden



integrierte  
Wärmebehandlung



Lager,  
Transport /  
Abkühlen



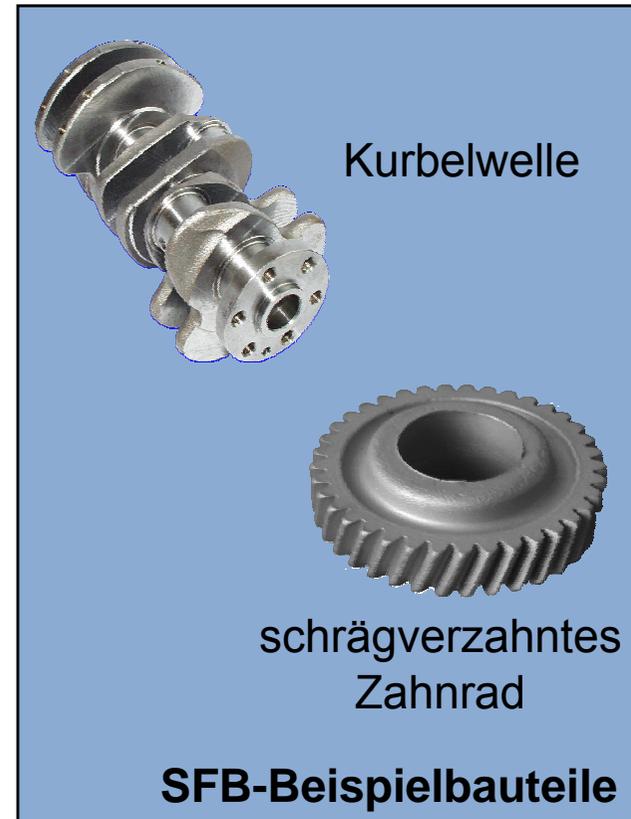
flächige  
3D-Prüfung



Hartfeinbe-  
arbeitung



Prüfen



Kurbelwelle

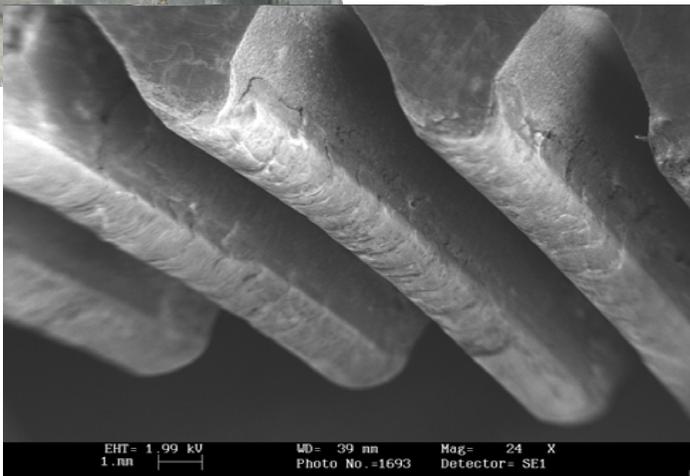


schrägverzahn-  
tes  
Zahnrad

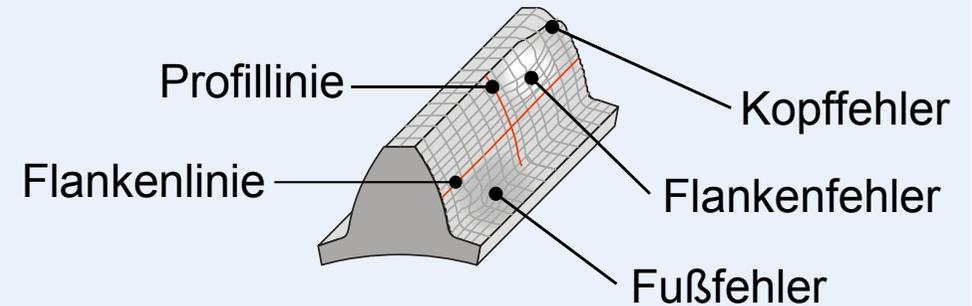
SFB-Beispielbauteile

## Matrize

- Verschleiß
- Kantenverrundungen
- Risse



## Verzahnungsgeometrie



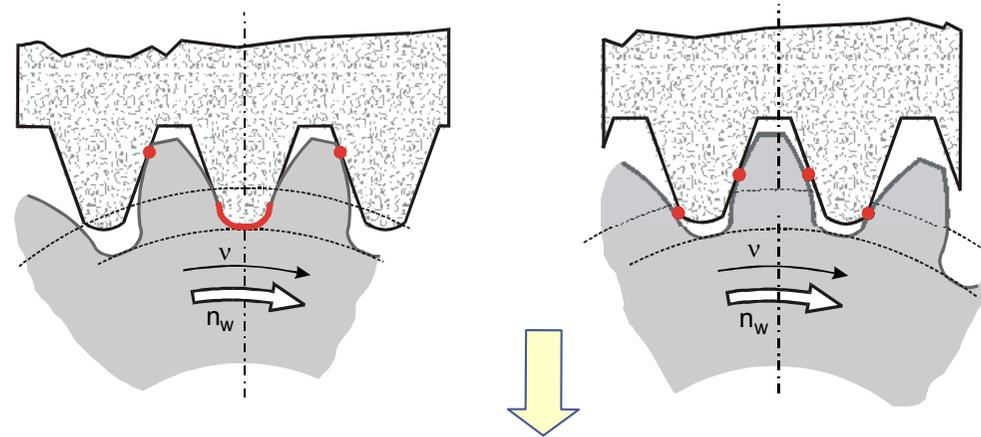
- individuelle Verzahnungsfehler
- keine Referenzflächen
- Modifikation durch Schleifaufmaß
- Bohrung fehlt als Bezug
- Exzenterfehler

Messung aller Zähne

Kennzeichen der neuen Prozesskette:

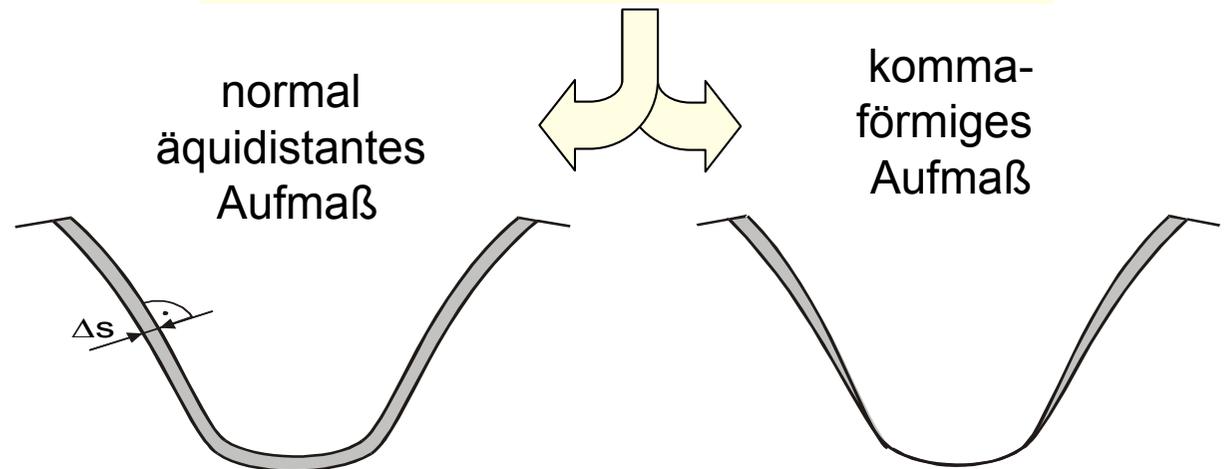
Verfahren mit hoher Mengenleistung

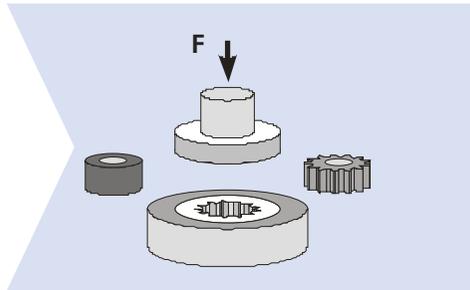
Hartfeinbearbeitung der Verzahnung:  
kontinuierliches Wälzschleifen



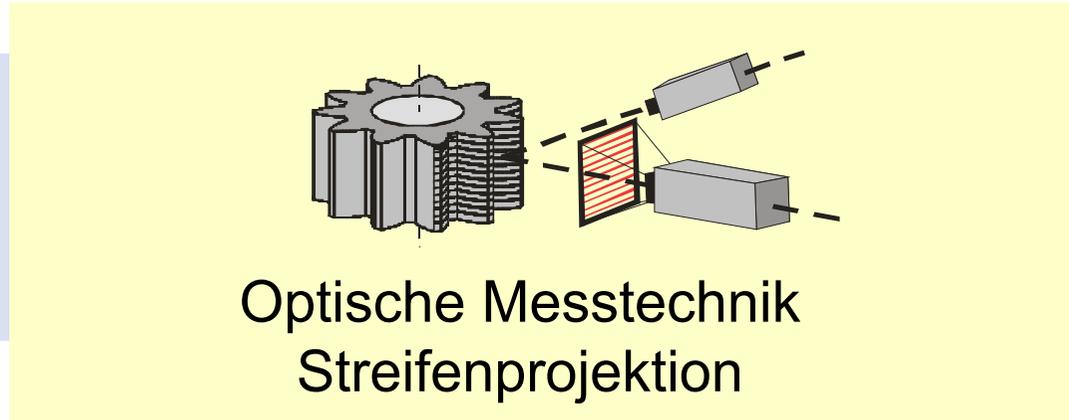
Entwicklung der Prozessstrategie

Bestimmung und Fertigung der idealen Aufmaßverteilung im Zahnfuß

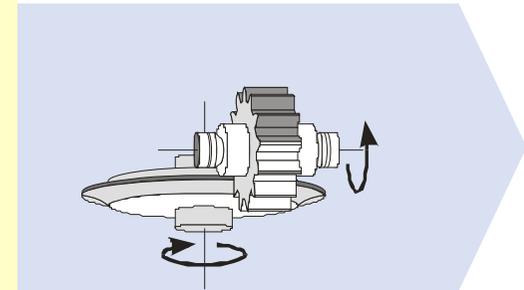




**Umformung  
Wärmebehandlung**



**Optische Messtechnik  
Streifenprojektion**



**Hartfeinbearbeitung**

- Schnelle und fertigungsbegleitende Bauteilbeurteilung
- Verringerung der Prüfzeit
- Kleine Sehfelder
- Hohe Punktdichte
- Problemorientierte Bewertungsmethoden

**Prozessintegrierte Qualitätskontrolle  
Keine Substitution von KMG für Fertigteile**

## Schrägverzahntes Zahnrad

Zähnezahl:	37
Normalmodul:	2
Schrägungswinkel:	20°
Teilkreisdurchmesser:	78,75 mm
Kopfkreisdurchmesser:	82,75 mm
Fußkreisdurchmesser:	73,3 mm
Masse:	470 g

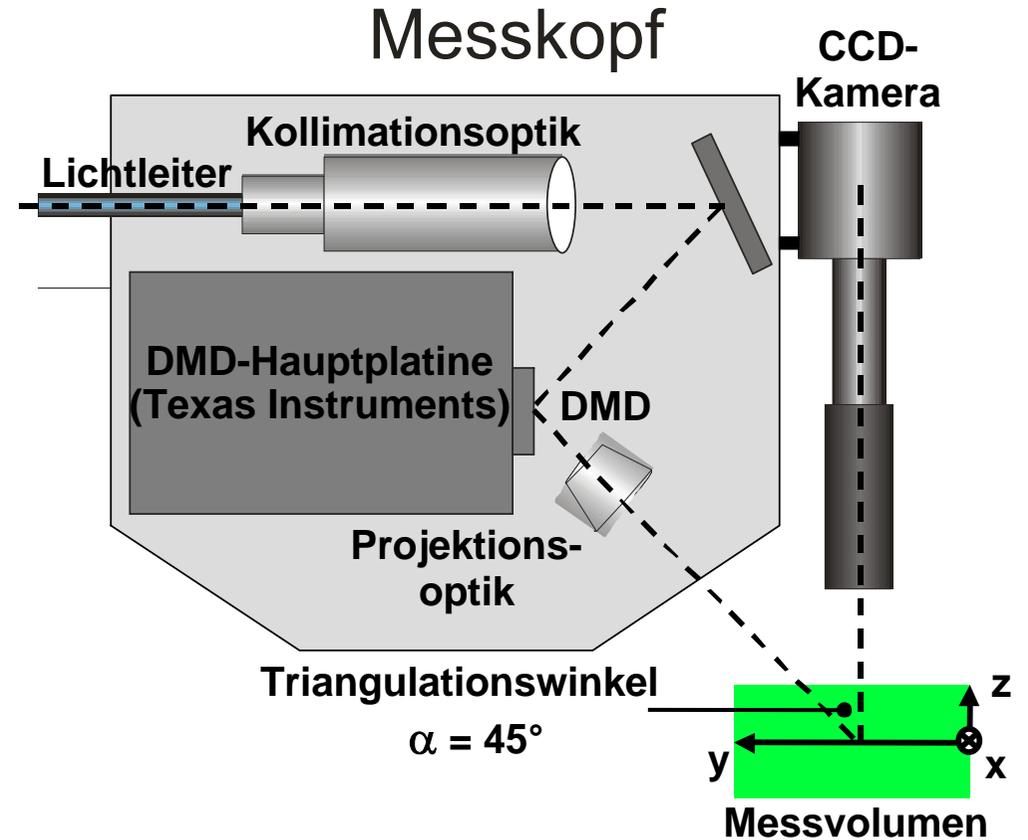
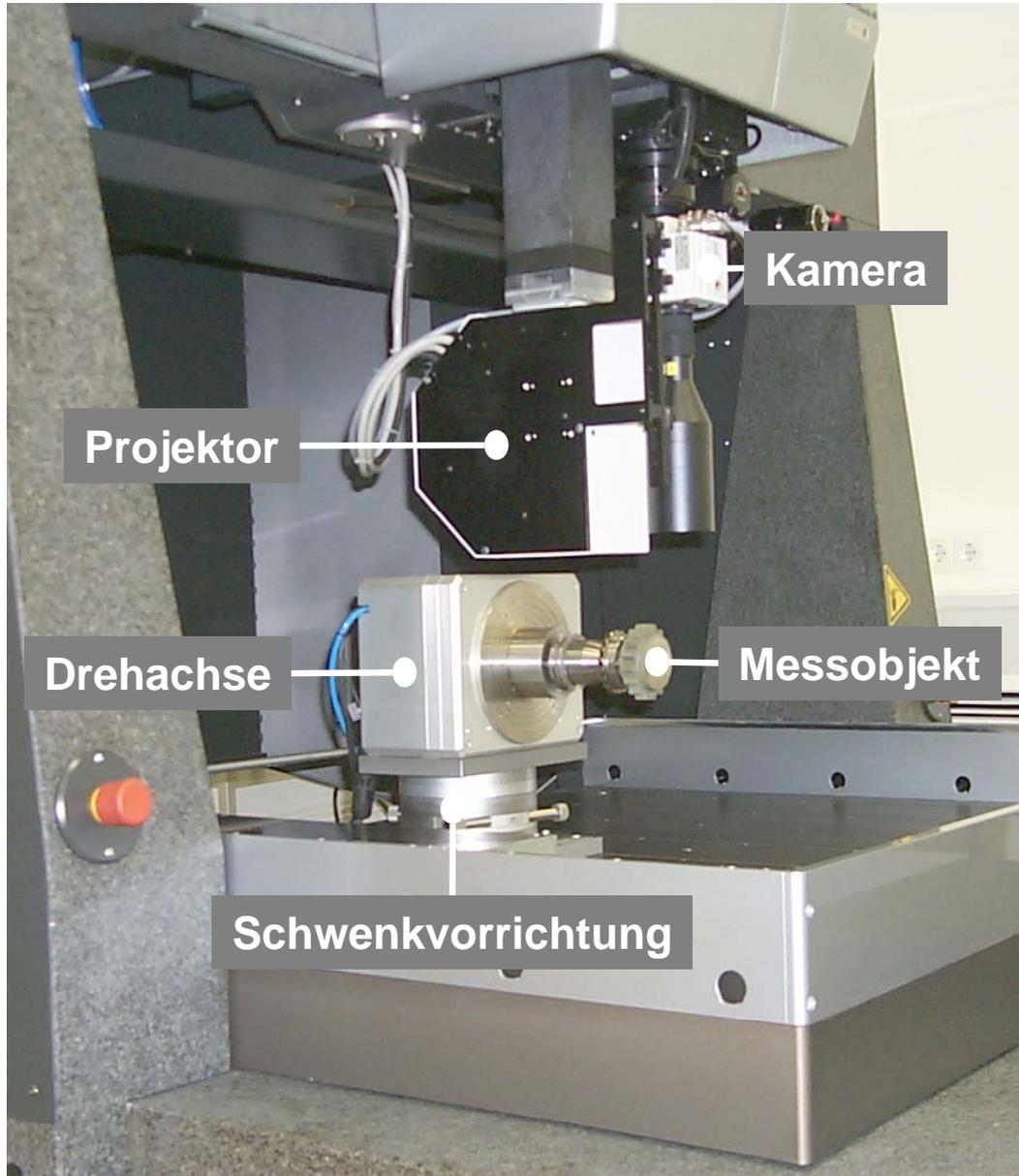


## Gradverzahntes Zahnrad

Zähnezahl:	16
Normalmodul:	4,5
Schrägungswinkel:	0°
Teilkreisdurchmesser:	72,00 mm
Kopfkreisdurchmesser:	82,45 mm
Fußkreisdurchmesser:	62,3 mm
Masse:	620 g

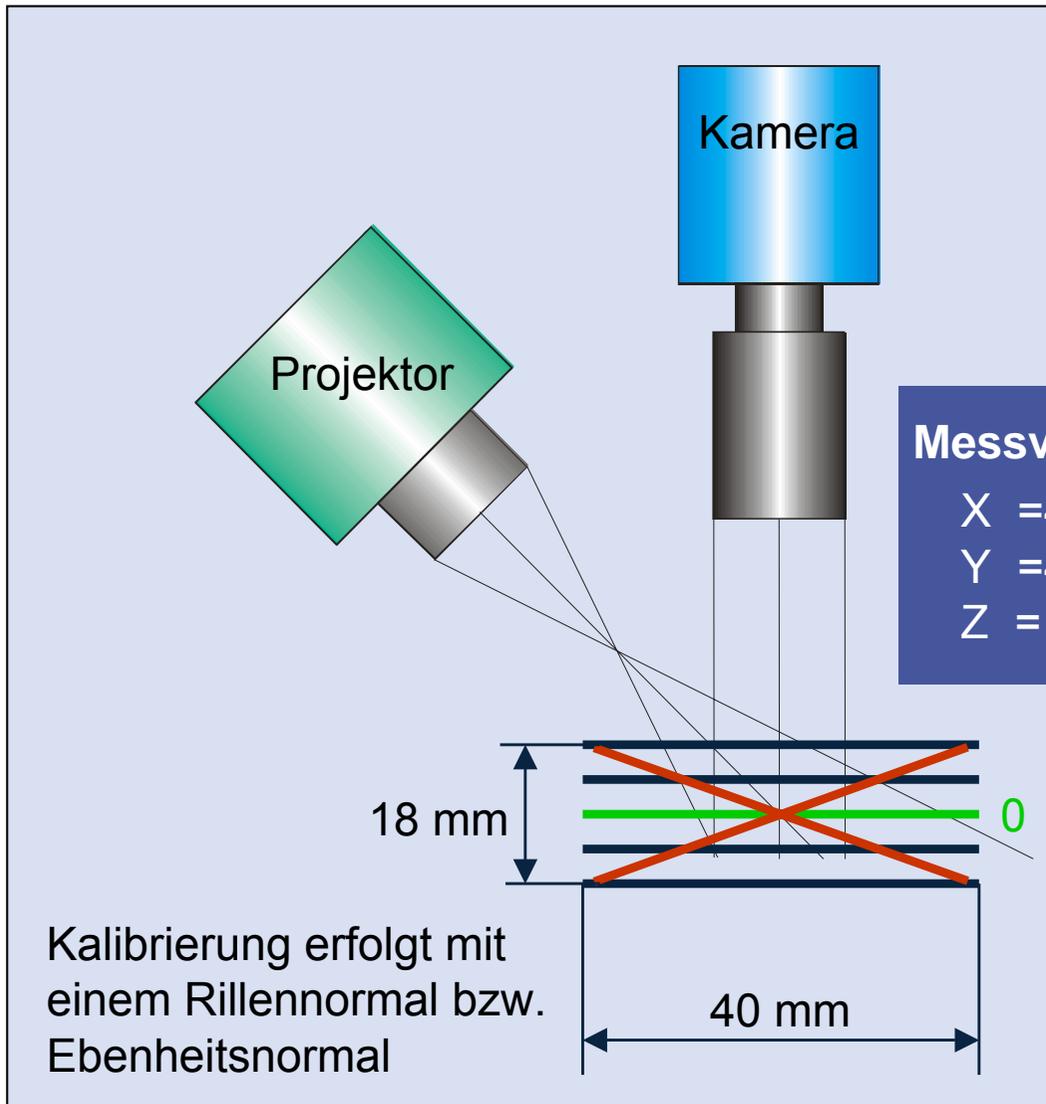


Optisch diffuse Oberfläche

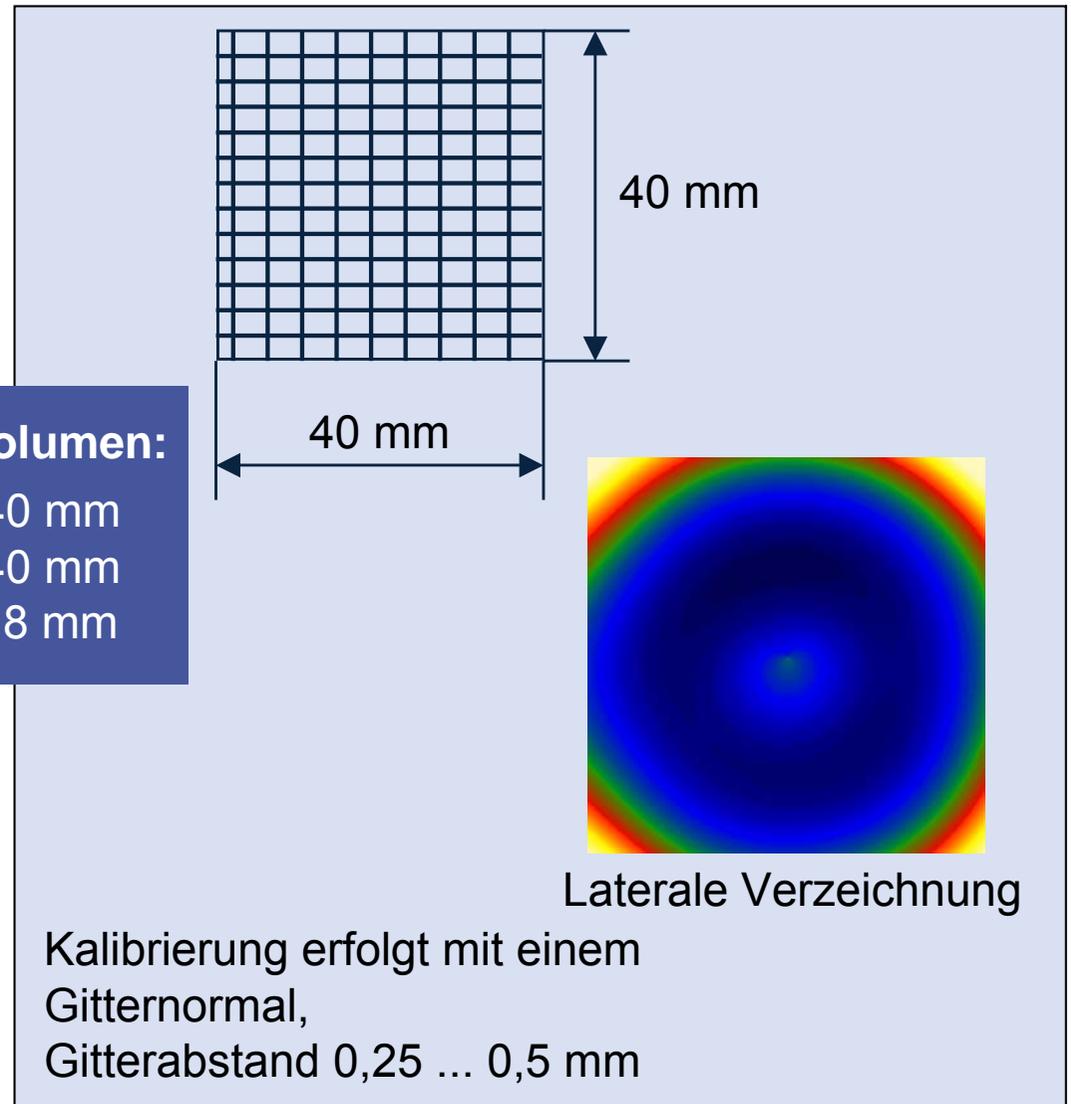


Projektor:	1024 x 768 Spiegel
CCD-Kamera:	1024 x 1020 Pixel
Lateralauflösung:	39 $\mu\text{m}$
Vertikalauflösung:	0,4 $\mu\text{m}$
Belichtungszeit:	1,5 s
Auswertung:	18 s

## Vertikale Kalibrierung

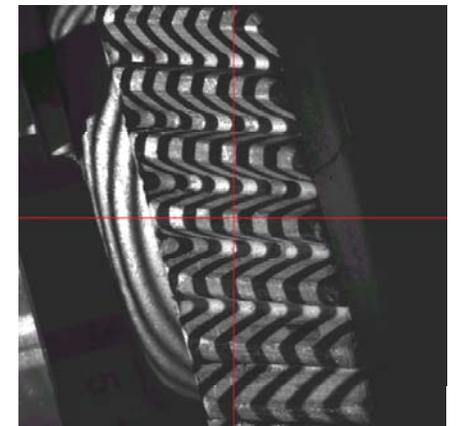
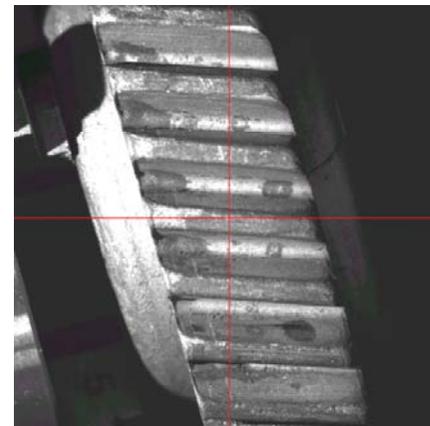
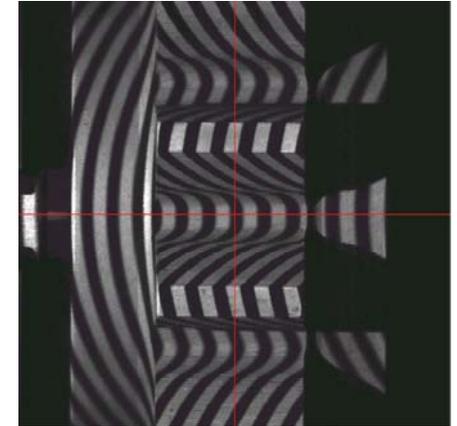
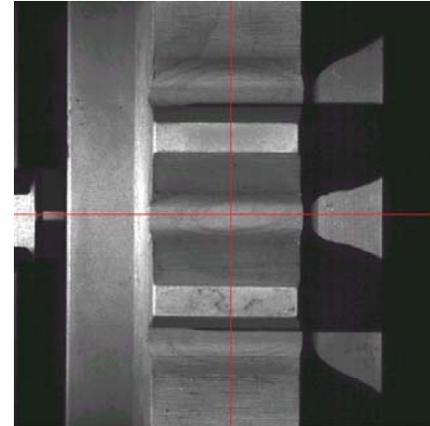


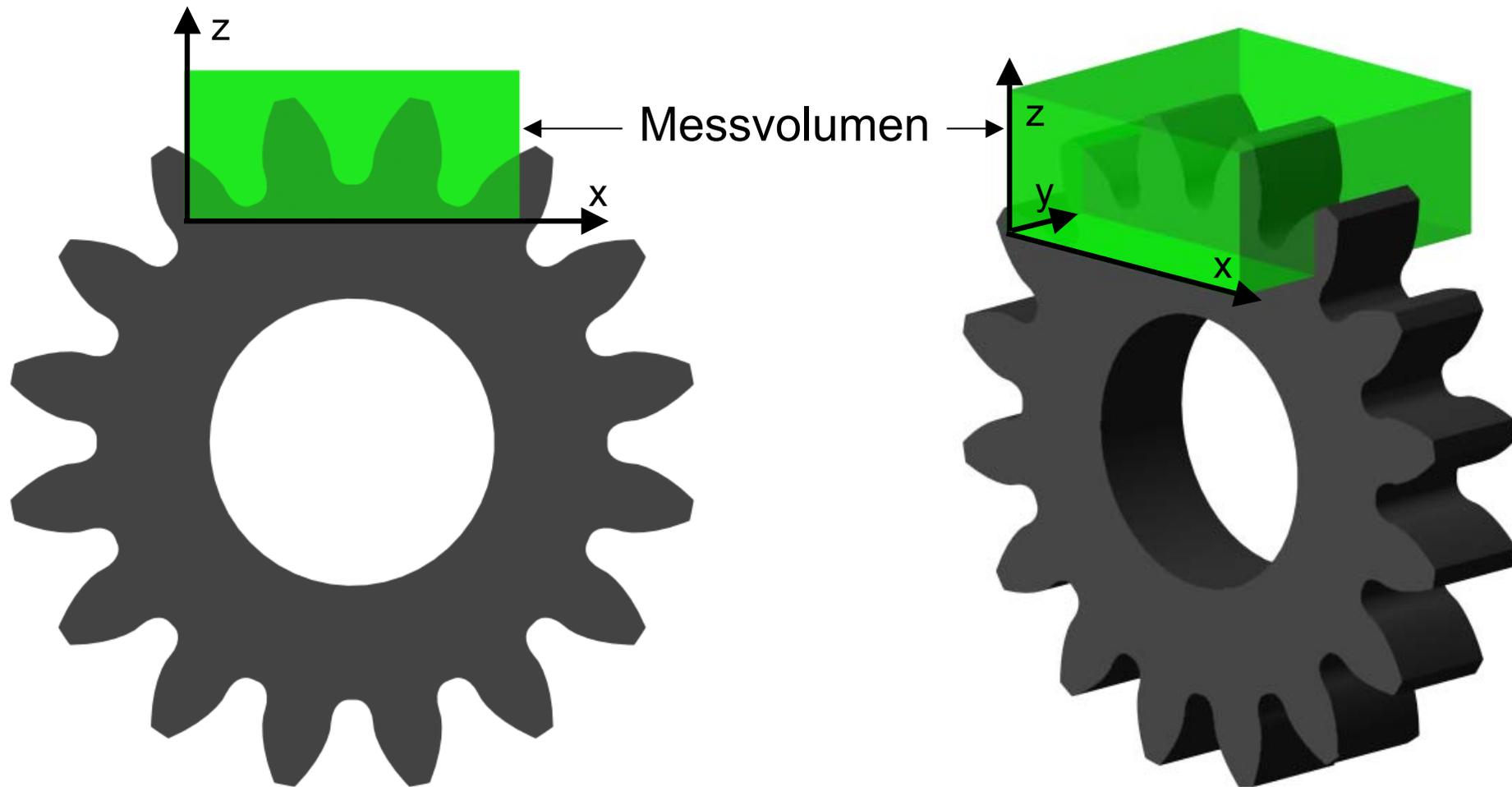
## Laterale Kalibrierung



## Sensorblickfeld

- Messung von Schrägverzahnungen durch Schwenken der Drehachse
- Minimierung der abgeschatteten Bereiche





Messvolumen: 40 mm x 40 mm x 18 mm

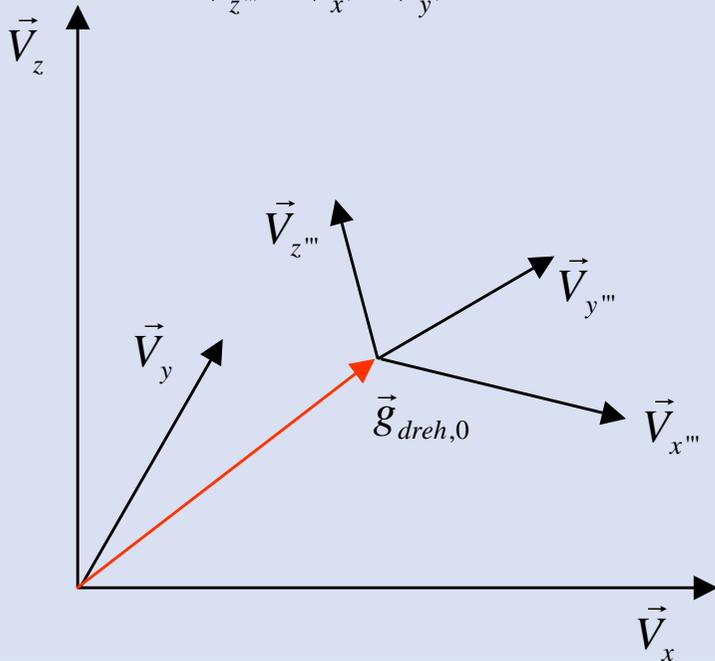
Verzahnung:  $z = 16$ ;  $m = 4,5$ ;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\beta = 0^\circ$

## Definition eines globalen Koordinatensystems

$$\vec{V}_{x'''} = \begin{pmatrix} n_{dreh,y} \\ -n_{dreh,x} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\vec{V}_{y'''} = \vec{n}_{dreh}$$

$$\vec{V}_{z'''} = \vec{V}_{x'''} \times \vec{V}_{y'''}$$



## Transformation der Messpunkte

Translation

$$\vec{p}' = \vec{p} - \vec{g}_{dreh,0}$$

Rotation (Nullstellung)

$$\vec{p}'' = \begin{pmatrix} v_{xx'''} & v_{xy'''} & v_{xz'''} \\ v_{yx'''} & v_{yy'''} & v_{yz'''} \\ v_{zx'''} & v_{zy'''} & v_{zz'''} \end{pmatrix} \cdot \vec{p}'$$

Rotation (Drehwinkel)

$$\vec{p}''' = \begin{pmatrix} \cos \alpha_y & 0 & \sin \alpha_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha_y & 0 & \cos \alpha_y \end{pmatrix} \cdot \vec{p}''$$

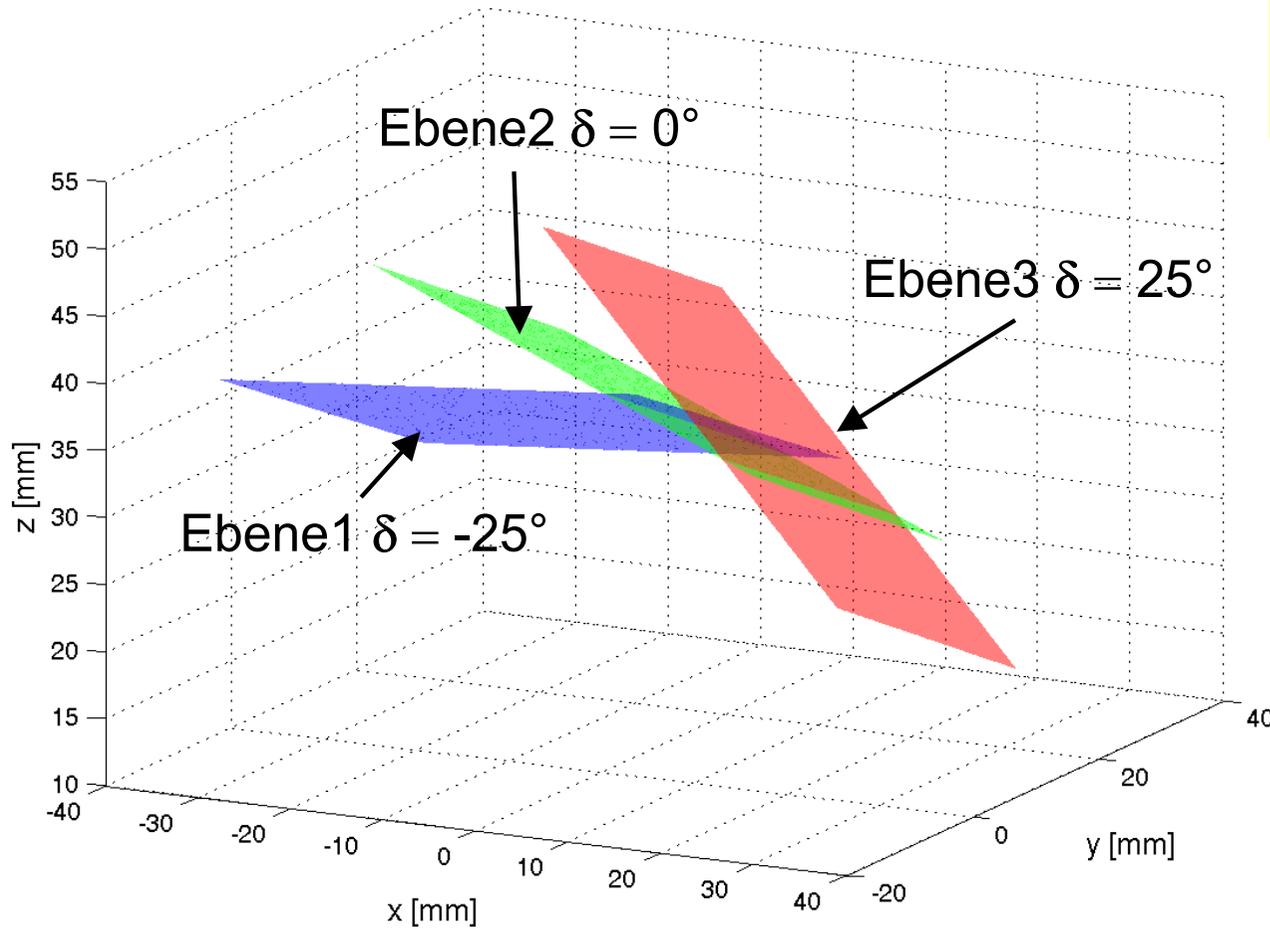
	Bestimmung der Drehachse des Systems durch ...
<b>Taktil</b>	... den Einsatz des taktilen Sensors (Taster) und Verwendung der Führungen des KMG
<b>Optisch indirekt</b>	... den Einsatz des Streifenlichtsensors und Verwendung der Führungen des KMG
<b>Optisch direkt</b>	... den Einsatz des ortsfesten Streifenlichtsensors

## Vorgaben

- Anpassung der Objektive an eine möglichst genaue teilungsbezogene Datenerfassung
- Kleine Messvolumina von: 40mm x 40mm x 20mm
- Drehachse liegt nicht im Messvolumen

## Lösung

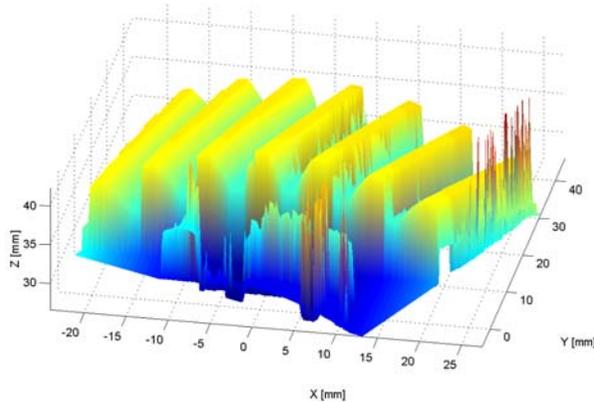
Verwendung eines an die Werkstückgeometrie angepassten Normals zur Bestimmung der Drehachse mit einem ortsfesten Streifenlichtsensor



## Bestimmung der Drehachse über verdrehte Ebenen

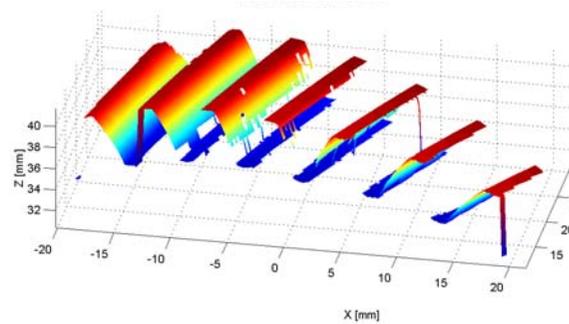
- Messung mehrerer verdrehter Ebenen
- Minimierungsproblem zur Bestimmung des Drehtensors
- Geringere Unsicherheit verglichen mit Zylinder

Rohdaten



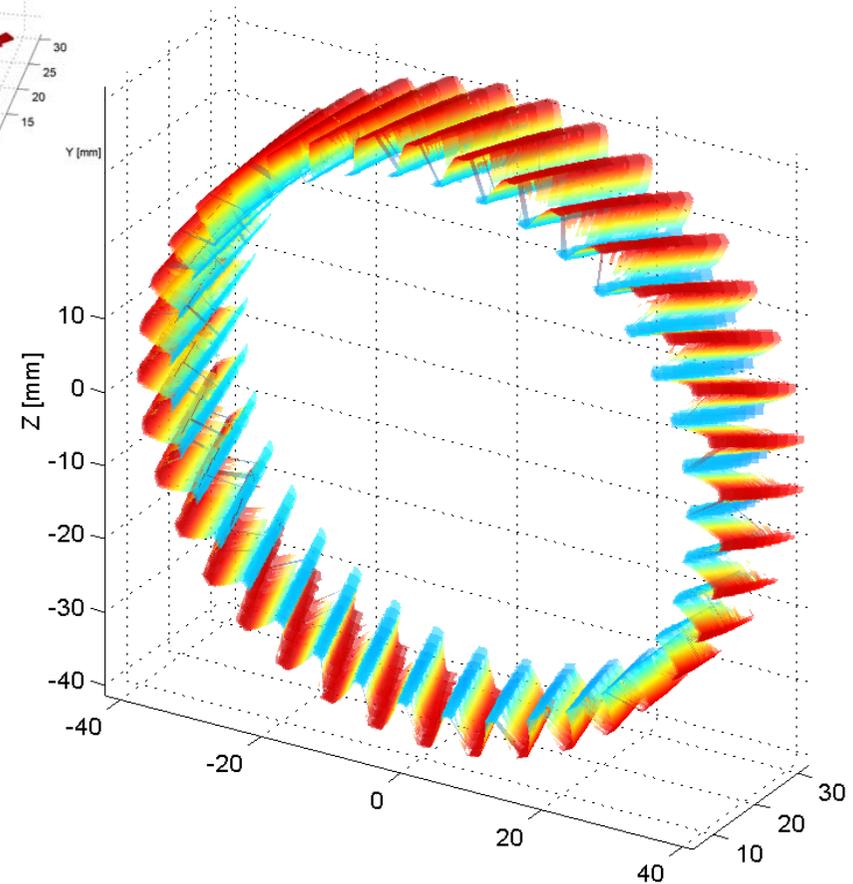
ca.  $10^6$  Punkte

Einzeldatensatz



ca. 220.000 Punkte

Gesamtgeometrie

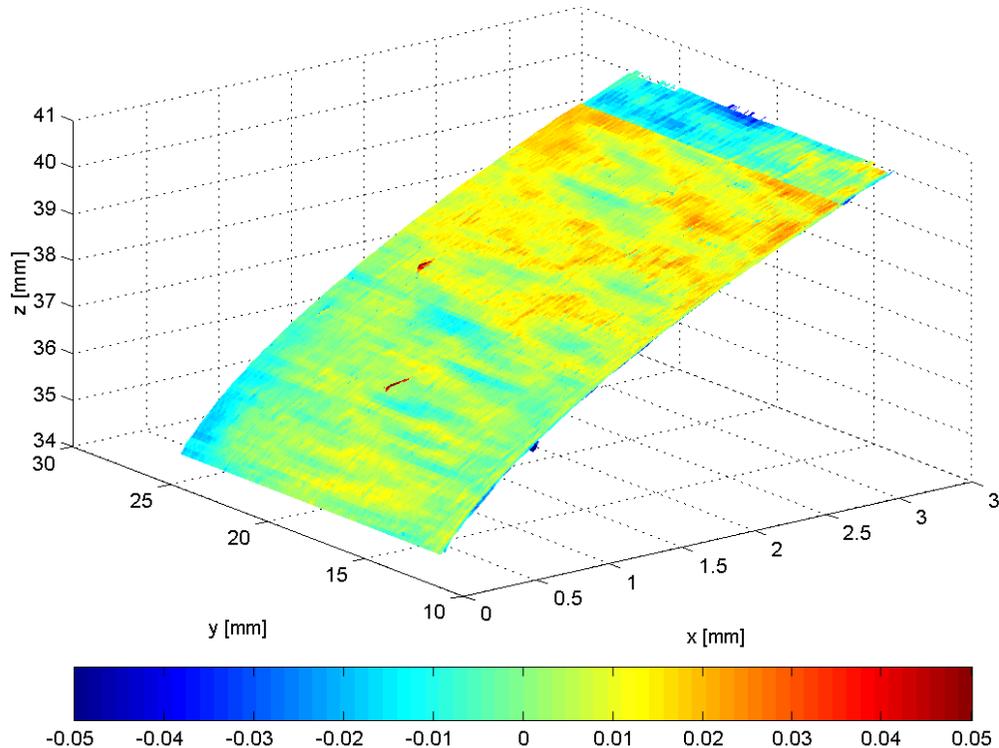


ca.  $8 \cdot 10^6$  Punkte

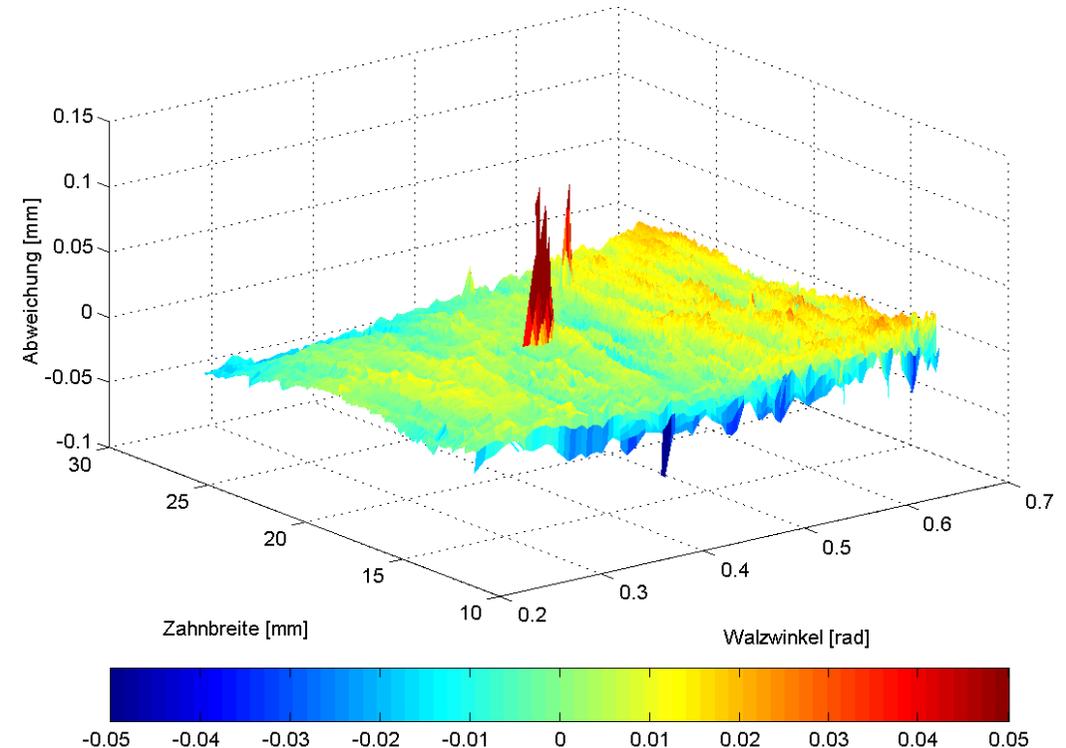
## Rekombination der Geometrie

- Datenvorverarbeitung (Maskierung, Filter)
- Definition eines globalen Koordinatensystems
- geometrische Transformation der Messpunkte

## Abweichungen auf Zahnflanke



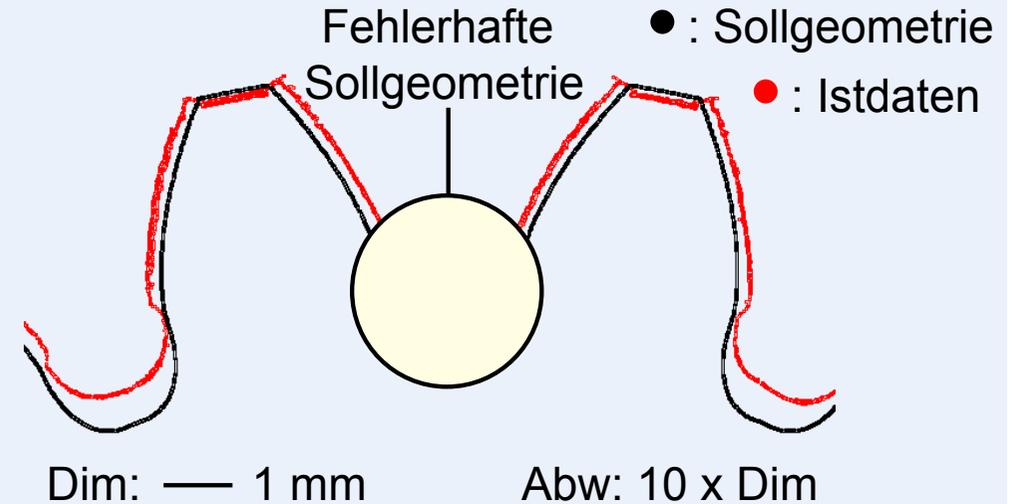
## Abweichungen über Wälzweg od. -winkel



- Einpassung der Verzahnungsgeometrie auf Sollgeometrie
- Minimierung der Fehlerquadrate über die Funktionsflächen

## Bestimmung der Abweichungen

- Einpassung der Geometrie auf Solldaten
- Erarbeitung erweiterter Zahnradmodelle (Flanke, Kopf, Fuß, Aufmaß)
- Visualisierung der Abweichungen z. B. auf CAD-Modell



## Ansatz zur Topologiebeschreibung der Verzahnungsabweichungen:

### Trennung der Formabweichungen

