

Simulationsgestützte Prozessführung beim mehrachsigen Fräsen

Dipl.-Inform. A. Zabel

Institut für Spanende Fertigung
Fakultät Maschinenbau
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. K. Weinert
www.isf.de

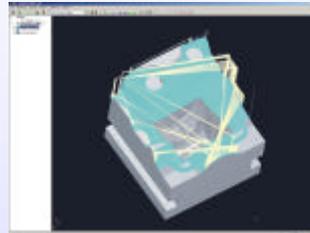
Prozesskette zum mehrachsigen Fräsen

Geometrische Beschreibung
des zu fertigenden Bauteils
aus CAD-System



Geometrie,
Werkzeuge,
Strategien,
Maschinen-
kinematik,
...

Generierung der Verfahrenwege
des Fräasers mit Hilfe eines CAM-Systems



NC-Daten
DIN 66025
STEP-NC
etc.

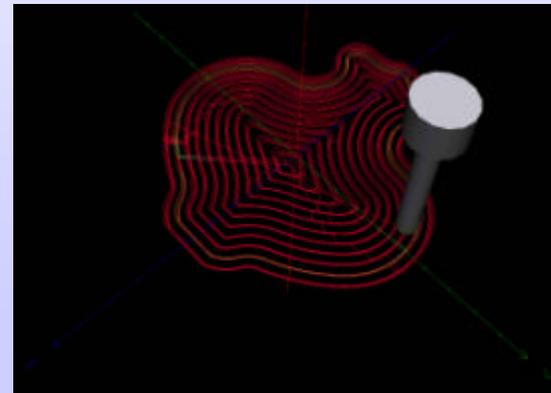
Fräsen der Form auf
HSC-Fräsmaschine



NC-Daten:
Textformat mit Verfahrbefehlen:

```
G1 X100 Y100 Z100 A15 B15 C0  
G1 X150
```

Alternativ z. B. Vektorbeschreibung:
G1 X100 Y100 Z100 U1 V1 W1
G1 X150



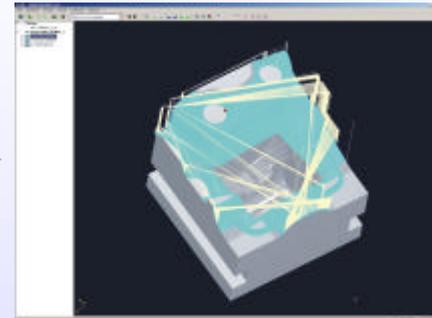
Lösungsansatz: Offline-Simulation

**Rohteilgeometrie aus CAD-System
(Neukonstruktion oder
Reverse Engineering)**



Geometrie,
Werkzeuge,
Strategien,
Maschinen-
kinematik,
...

**NC-Datengenerierung durch
fünfachsenfähiges CAM-System**

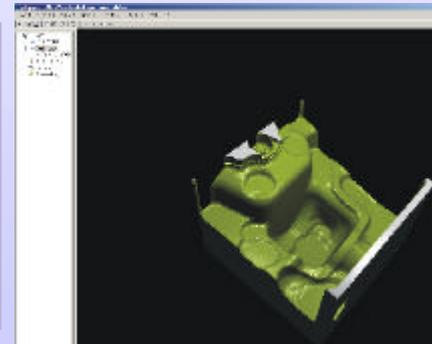


NC-Daten
DIN 66025
etc.



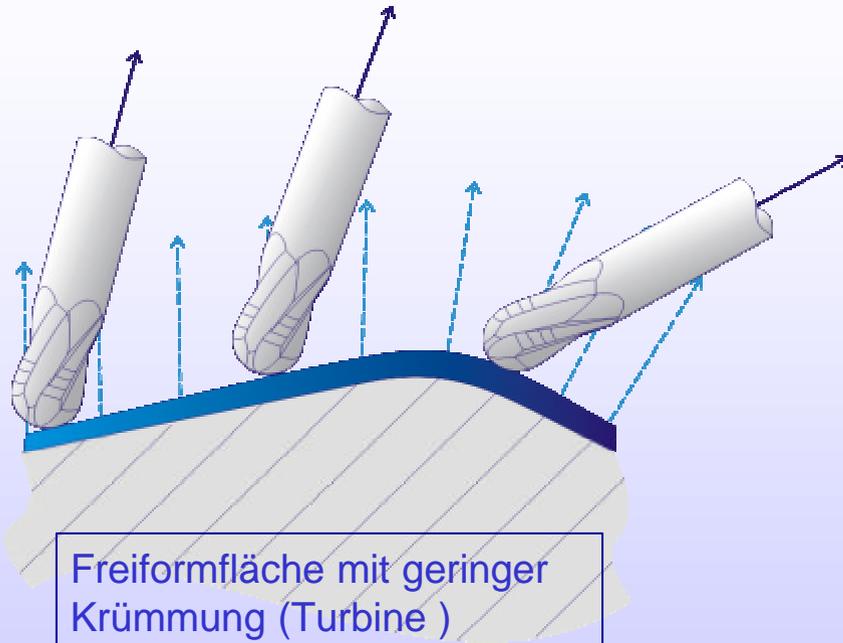
**Fertigung auf fünfachsiger
HSC-Fräsmaschine
(z. B. Parallelkinematik)**

Optimierte
NC-Daten,
...



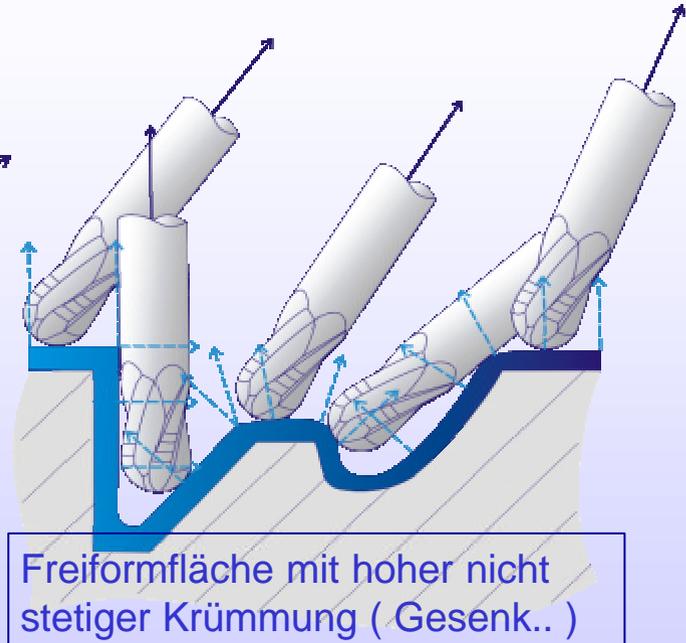
**Simulation und Optimierung
der Fräsbearbeitung**

Geometrische Probleme bei der mehrachsigen Fräsbearbeitung



Freiformfläche mit geringer Krümmung (Turbine)

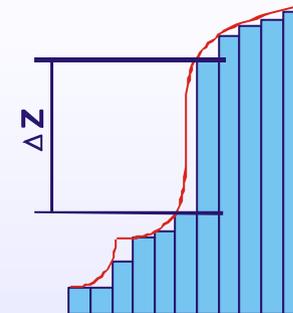
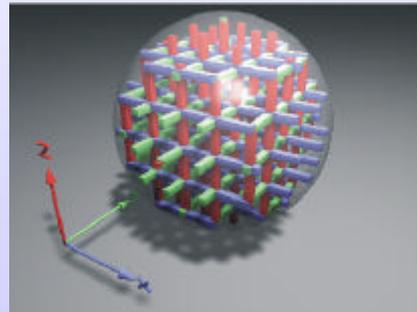
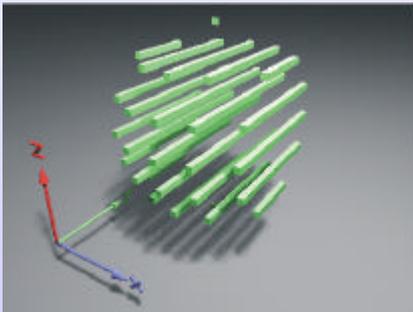
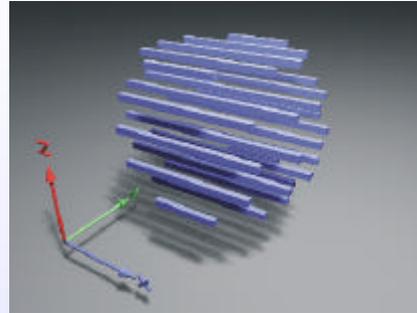
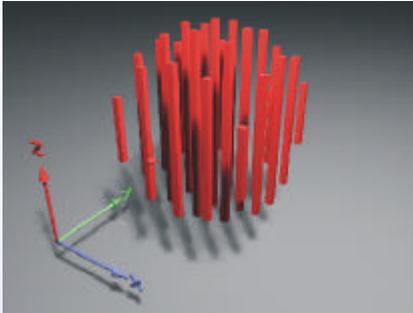
- + Optimale Eingriffsbedingung durch Anstellen des Fräsers



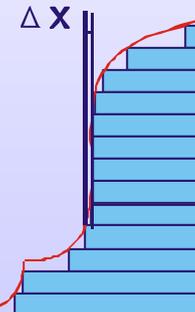
Freiformfläche mit hoher nicht stetiger Krümmung (Gesenk..)

- + Optimale Eingriffsbedingung durch Anstellen des Fräsers
- Risiko von Kollisionen
- Überforderung der Kinematiken

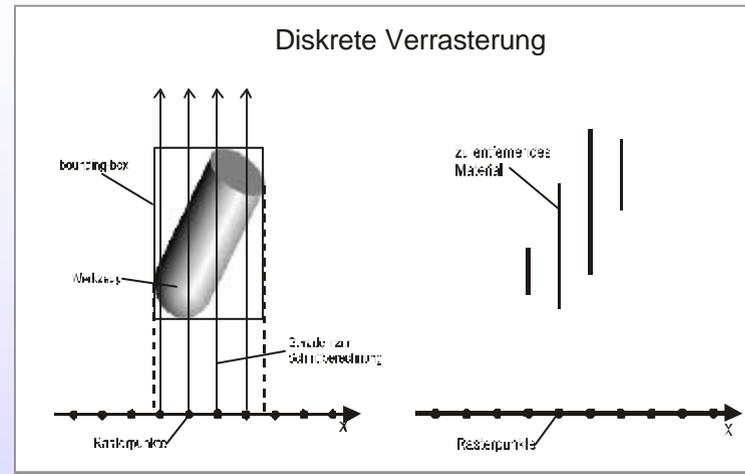
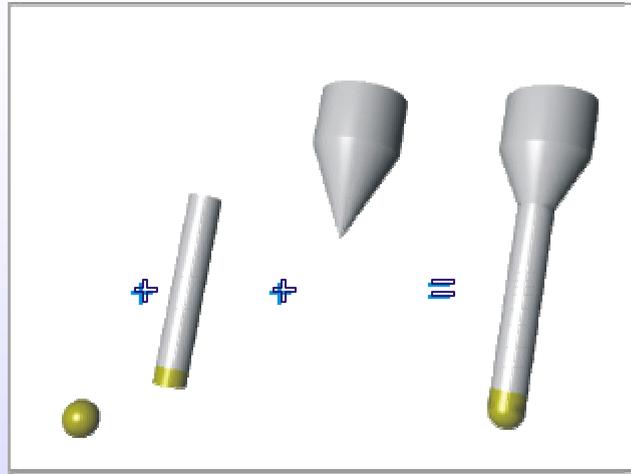
- ❁ **Anpassung der Vorschubgeschwindigkeit an die aktuellen Eingriffsbedingungen (Vorschuboptimierung)**
- ❁ **Kompensation der Werkzeug- und Werkstückdeformation**
- ❁ **Überprüfung der im CAM-System generierten NC-Daten**
 - ❁ **in Bahndarstellung (Einzelschrittmodus)**
 - ❁ **im "gefrästen" Werkstück**
- ❁ **Kollisionskontrolle und Vermeidung**
- ❁ **Erhöhung der Prozesstransparenz (virtuelle Werkstücke)**
- ❁ **Aussagen über den zu erwartenden Werkzeugverschleiß**



$$\Delta Z \gg \Delta X$$

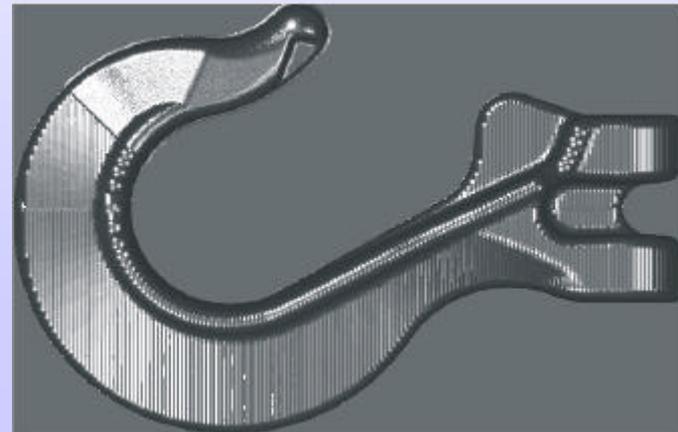
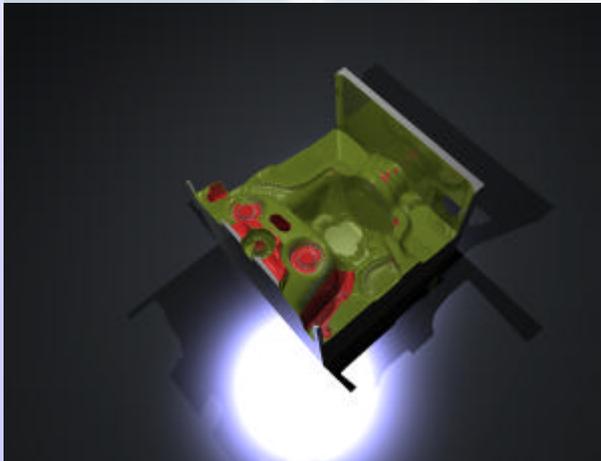
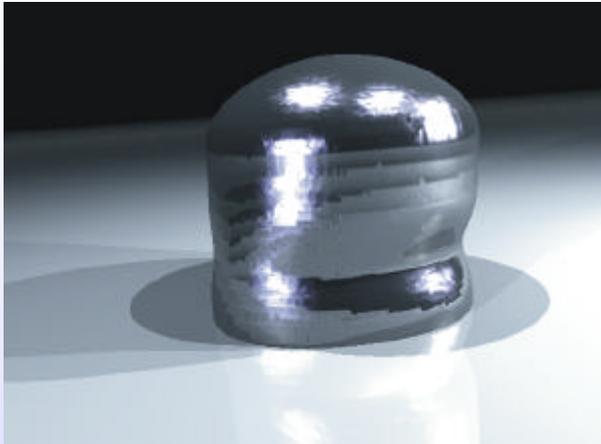


- ❖ Lauflängencodierte Dixelmodelle in x-, y-, z-Richtung
- ❖ Einzelne Nägel als verkettete Segmentlisten
- ❖ Schlechtester Fall: einzelne, dichte Bohrungen

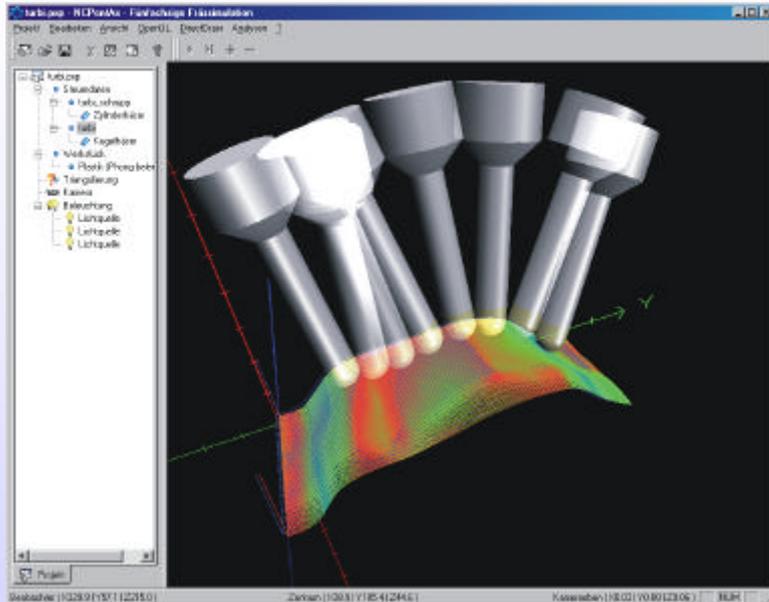


- ⚙️ Laufzeit je Nagelbrett: $O(n^2)$
- ⚙️ Hohe Genauigkeit in allen Hauptachsen
(an den Schnittpunkten *float*-Genauigkeit!)
- ⚙️ Auflösungserhöhung möglich
- ⚙️ Parallelisierung möglich

Prozesstransparenz

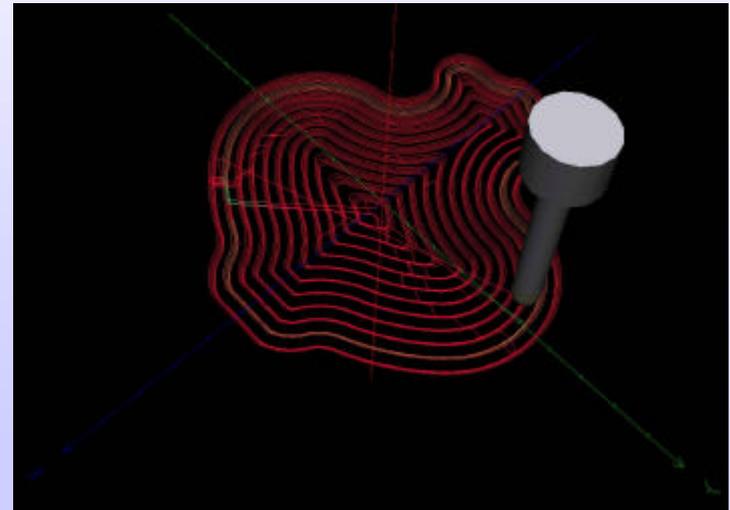


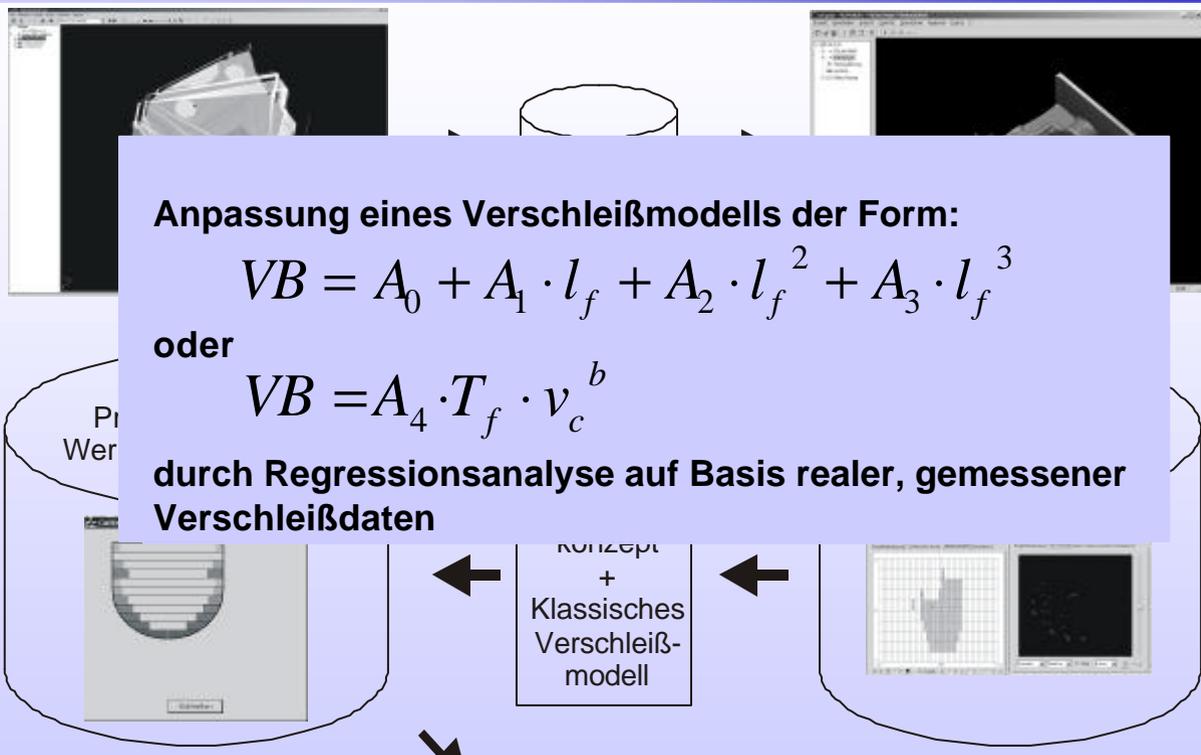
Überprüfung der NC-Daten in Bahndarstellung (Einzelschrittmodus)



- **Fräserbewegung im Einzelschrittmodus sichtbar (vorwärts/rückwärts)**
- **Vorschubgeschwindigkeitsprofil ist sichtbar**

- **Ansicht frei wählbar**
- **Umschaltung zwischen Volumenmodell und Werkzeugbahndarstellung ist möglich**





Anpassung eines Verschleißmodells der Form:

$$VB = A_0 + A_1 \cdot l_f + A_2 \cdot l_f^2 + A_3 \cdot l_f^3$$

oder

$$VB = A_4 \cdot T_f \cdot v_c^b$$

durch Regressionsanalyse auf Basis realer, gemessener Verschleißdaten

Konzept
+
Klassisches
Verschleiß-
modell



- ⚙ Werkzeugwechsel
- ⚙ Strategieanpassung
- ⚙ ...

Enge Verzahnung mit anderen Disziplinen

Beispiele:

- **Verrasterung der Werkzeugwege mit DDA-Algorithmus (Discrete Differential Analyzer) **Computer Graphik****
- **Bildschirmdarstellung durch modifiziertes Marching Cubes Verfahren **Computer Grafik****
- **Berechnung der Fräserabdrängung
Kienzle Glg. + FE + Computational Intelligence-Methoden**
- **Demnächst:**
 - **Erzeugung von NC-Daten zum Fräsen mit evolutionärem Ansatz auf Basis des Simulationssystems
Computational Intelligence-Methoden**

- ❁ **Offline-Simulationsansatz erfüllt die Zielsetzungen weitgehend**
- ❁ **Standardmodellierungsmethoden (z. B. FEM) reichen für Prozesssimulation nicht aus**
- ❁ **"Heuristische" Modelle sind exakten, mathematischen häufig überlegen**
- ❁ **Verbesserung der Prozesssicherheit ist die Hauptzielrichtung**
- ❁ **Prognosefähigkeit ist von zentraler Bedeutung**

www.isf.de