



Virtuelle Zahnradproduktion – ein echter Mehrwert?

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Christoph Löpenhaus

Jonas Pollaschek M.Sc.

Förderung:



19. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag

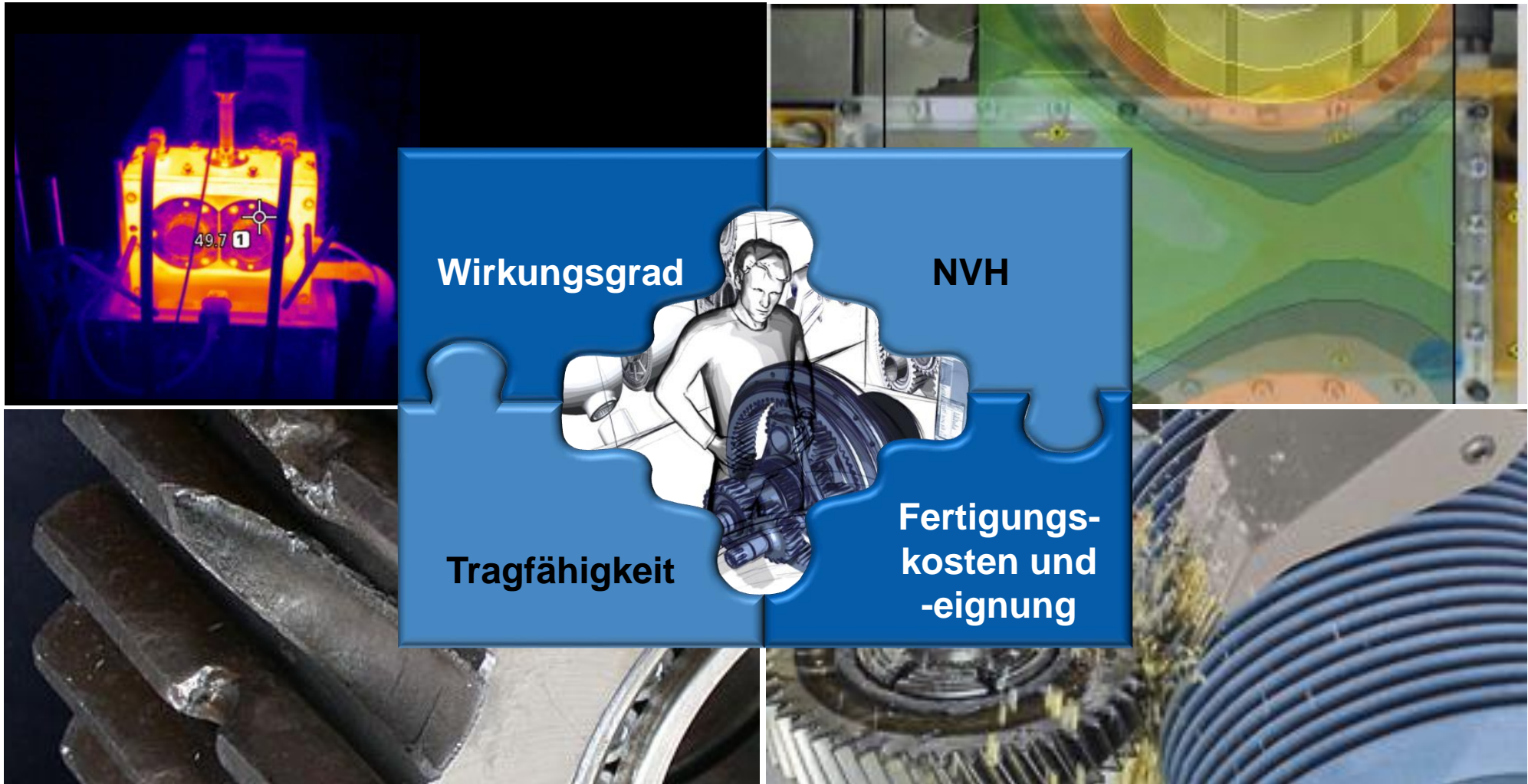
20. September 2017

Agenda

- 1 Motivation und Idee**
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion**
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten**
 - 3.1 Prozess-Interaktion**
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion**
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion**
- 4 Zusammenfassung und Ausblick**

Motivation und Idee

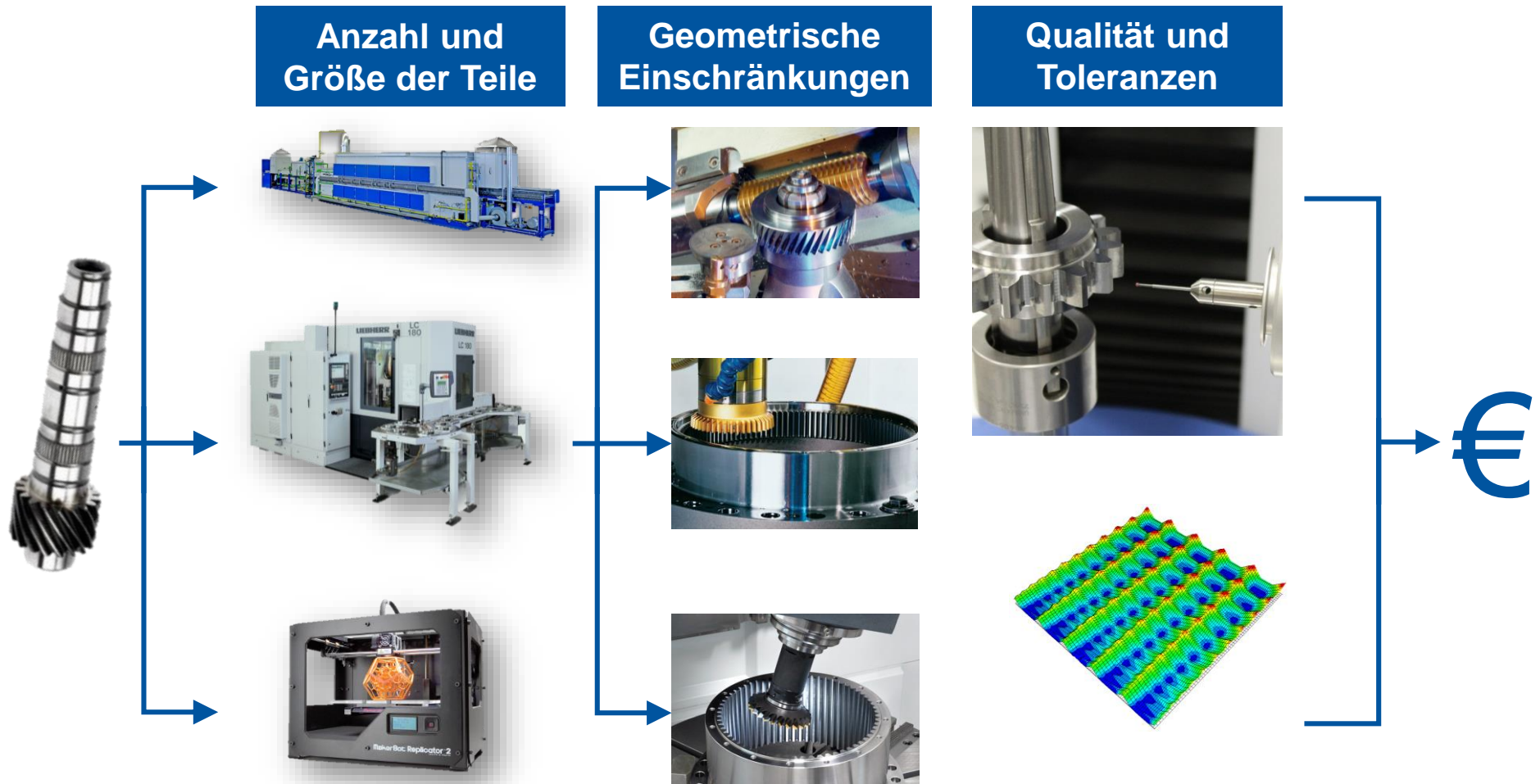
Das Quadrilemma in der Zahnradauslegung



Bildquellen: TU Wien, FVA 507 III, Germanischer Lloyd, Liebherr

Motivation und Idee

Entscheidungsprozess bei der Zahnrad- und Prozessauslegung

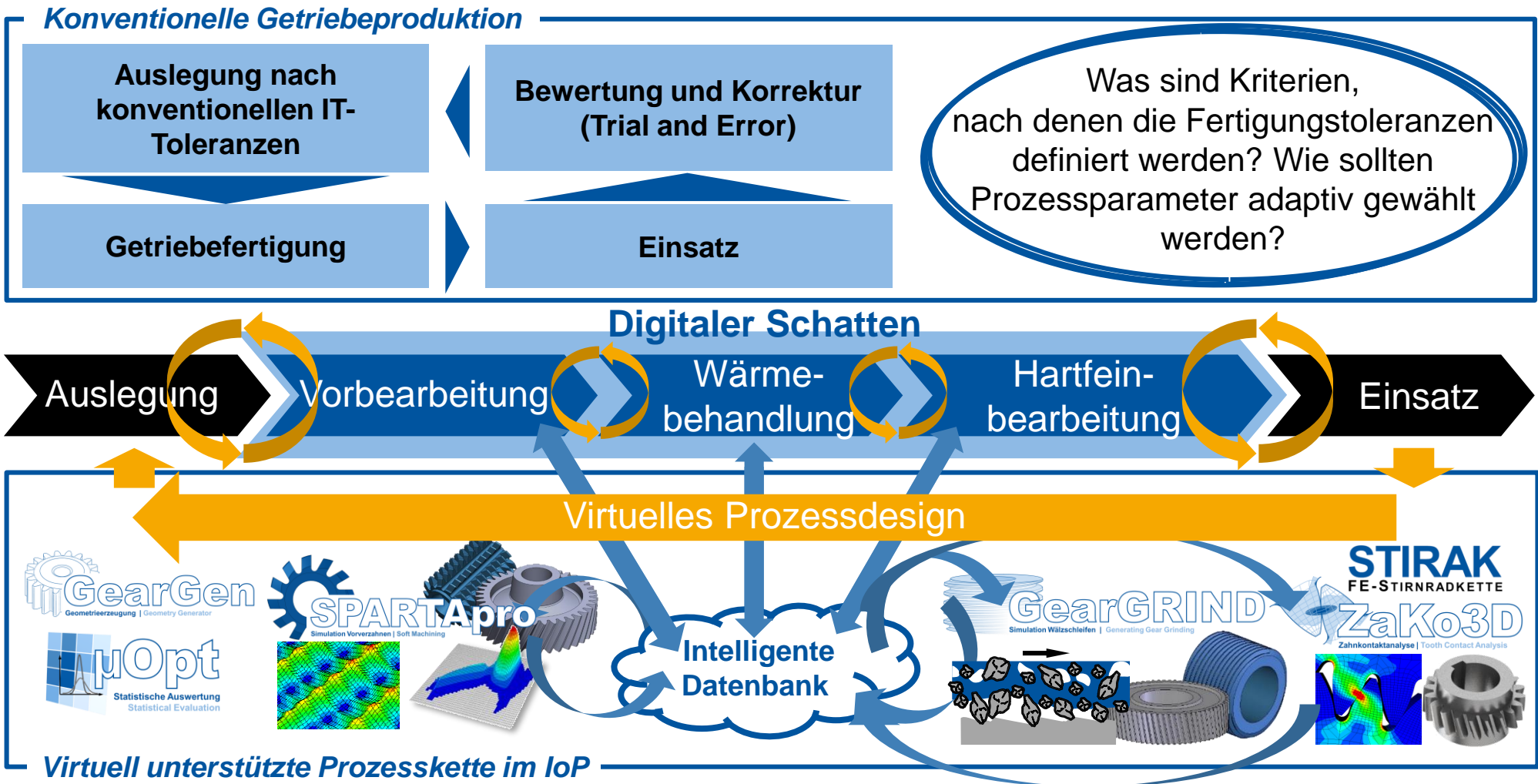


Was ist die Grundlage für heutige Entscheidungsprozesse? Wie können wir unsere Entscheidungen unterstützen?

Bildquellen: Makerbot, Liebherr, Gleason, WZL

Motivation und Idee

Funktionale Tolerierung durch den Digitalen Schatten



Agenda

- 1 Motivation und Idee
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion**
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten
 - 3.1 Prozess-Interaktion
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion

Einheitliches grafisches Interface – WZL Gear Toolbox

Geometrierzeugung



Fertigungssimulation der Vorbearbeitung



WZL Gear Toolbox
des WZL Getriebekreis | of the WZL Gear Research Circle

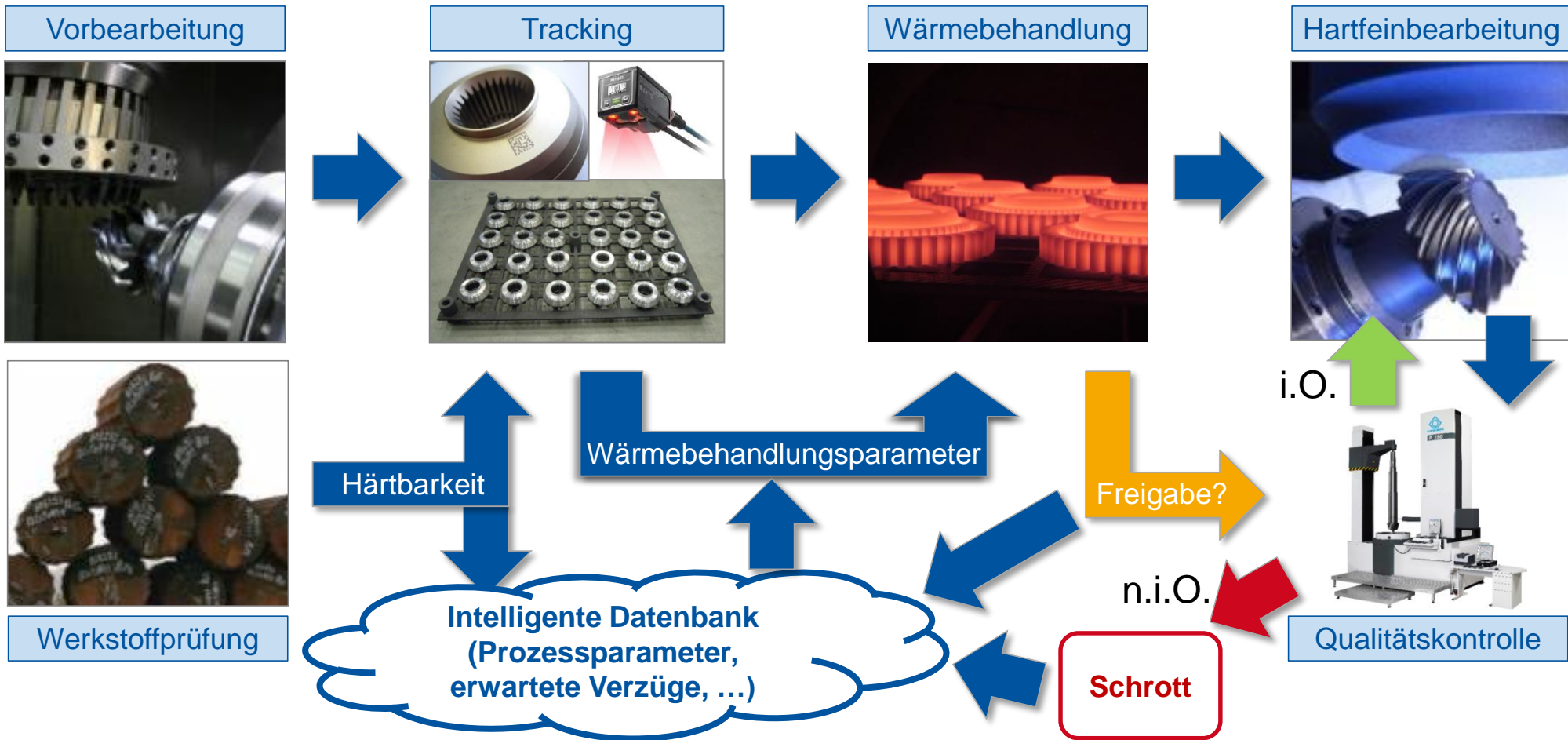


FE-basierte Zahnkontaktanalyse

Fertigungssimulation der
Hartfeinbearbeitung

Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion

Intelligente Datenbank für unternehmensspezifisches Wissen



Bildquelle: ALD Vacuum Technologies GmbH

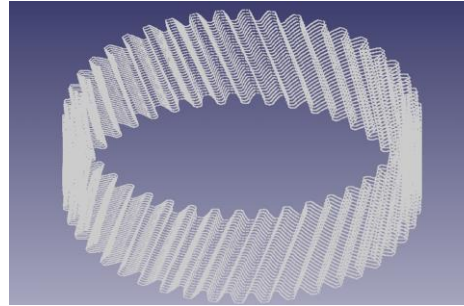
Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion

Gemeinsame Datenformate / Schnittstellen

Standardisierte Datenaustauschformate

Intern

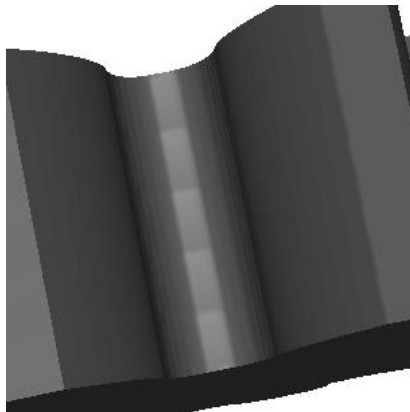
- Modularisierung der Plattform
- Digitale Durchgängigkeit des Produktmodells entlang der Prozesskette
- Effizientes Datenhandling



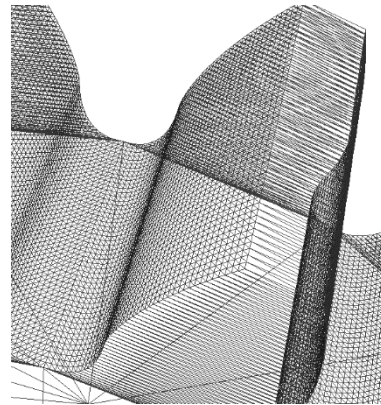
Extern

- Austausch auf Basis internationaler Standards (z.B. STEP)
- Erweiterung des virtuellen Modells durch Messungen / Prozessdaten

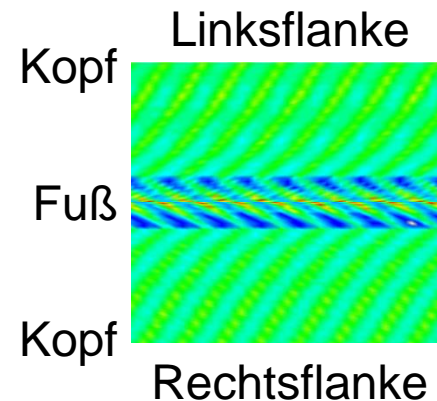
SPARTapro



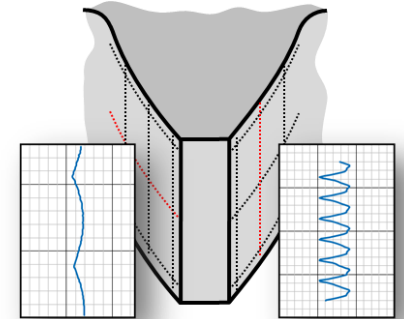
GearGenerator



Flankenvergleich



Virt. Messmaschine

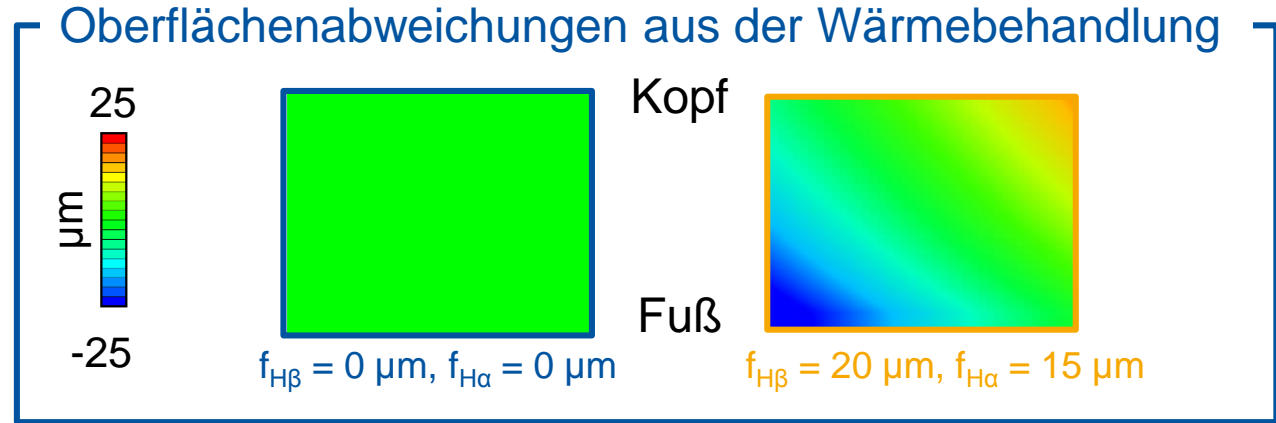


Agenda

- 1 Motivation und Idee
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten
 - 3.1 Prozess-Interaktion
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

Mehrwert – Vorhersage von Prozessinteraktionen

Einfluss von Härteverzügen auf den Schleifprozess



Parameter Fräsen

$$m_n = 2.56 \text{ mm} \quad d_{a0} = 80 \text{ mm}$$

$$z_2 = 40 \quad z_0 = 1$$

$$\alpha_{n2} = 17,5^\circ \quad n_{i0} = 16$$

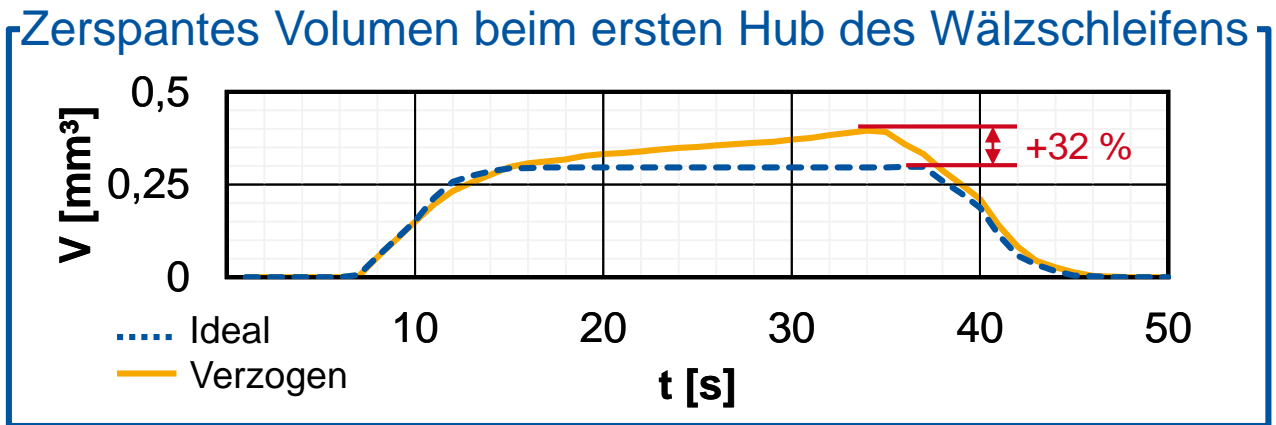
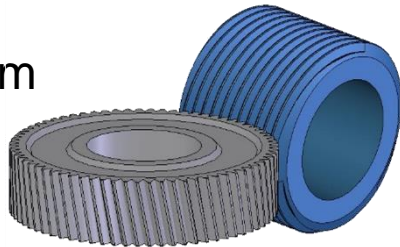
$$\beta_2 = 23^\circ$$

Parameter Schleifen

$$z_0 = 1$$

$$\Delta s = 0,05 \text{ mm}$$

$$f_a = 1 \text{ mm}$$



Agenda

- 1 Motivation und Idee
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten
 - 3.1 Prozess-Interaktion
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion
- 4 Zusammenfassung und Ausblick

Mehrwert – Prozess-Maschine Interaktion

Einfluss des Achskreuzwinkels auf die Prozessstabilität beim Honen

Zahnrad

$m_n = 4,55 \text{ mm}$
 $\alpha_n = 21^\circ$
 $z_2 = 46$
 $\beta_2 = -18^\circ$
 $d_{a,2} = 231,75 \text{ mm}$
 $b = 57 \text{ mm}$

Werkzeug

$z_0 = 75$
Keramische Bindung
C5/F120

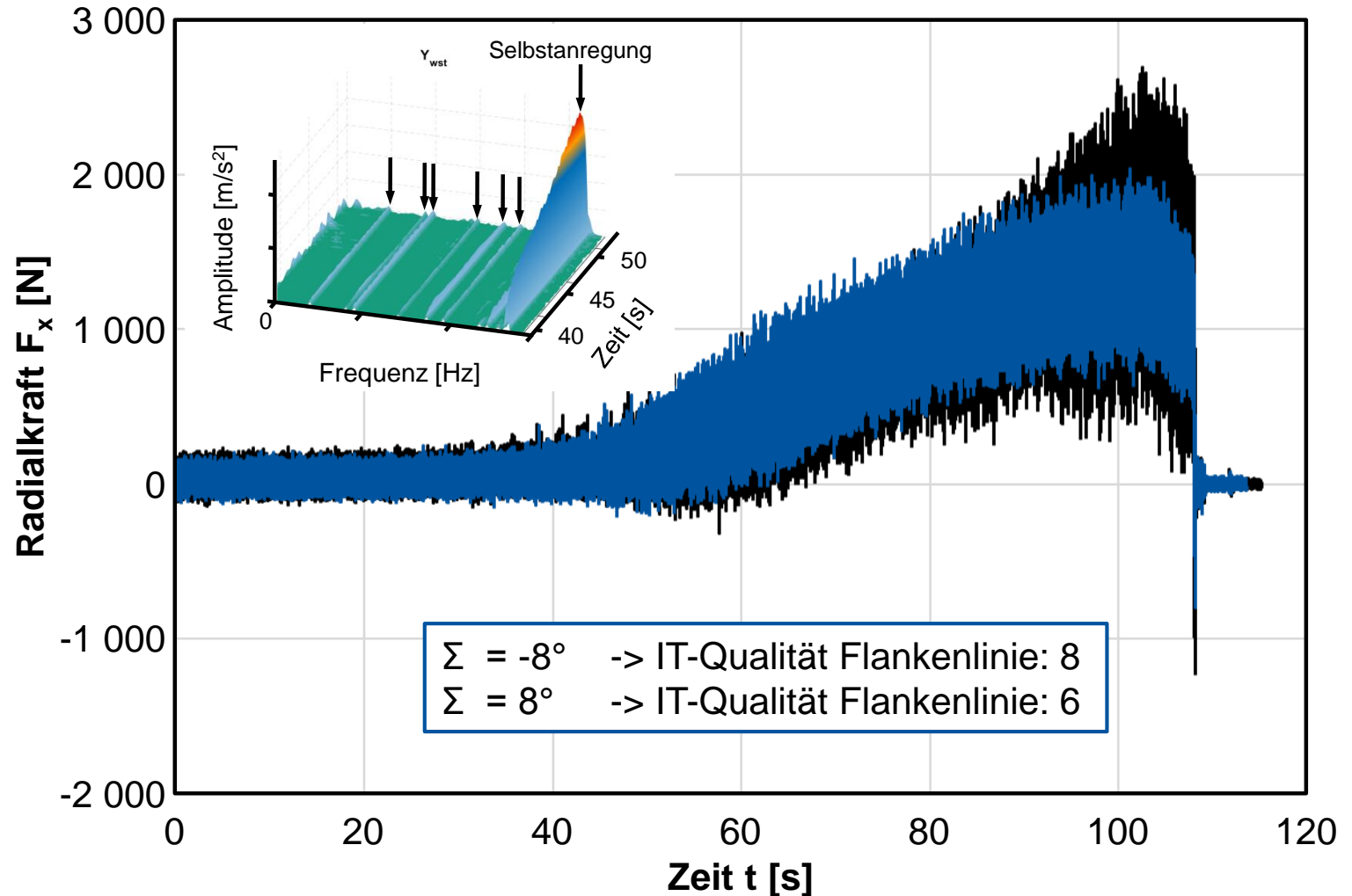
Prozess

$\Sigma = \text{variabel}$
 $n_{C2} = 1\,404 \text{ min}^{-1}$
 $f_r = 0,06 \text{ }\mu\text{m}$

Legende

— $\Sigma = -8^\circ$
— $\Sigma = 8^\circ$

Quelle: [KAMP17]



Mehrwert – Prozess-Maschine Interaktion

Simulative Analyse von radialen Prozesskräften

Zahnrad

- $m_n = 4,55 \text{ mm}$
- $\alpha_n = 21^\circ$
- $z_2 = 46$
- $\beta_2 = -18^\circ$
- $d_{a,2} = 231,75 \text{ mm}$
- $b = 57 \text{ mm}$

Werkzeug

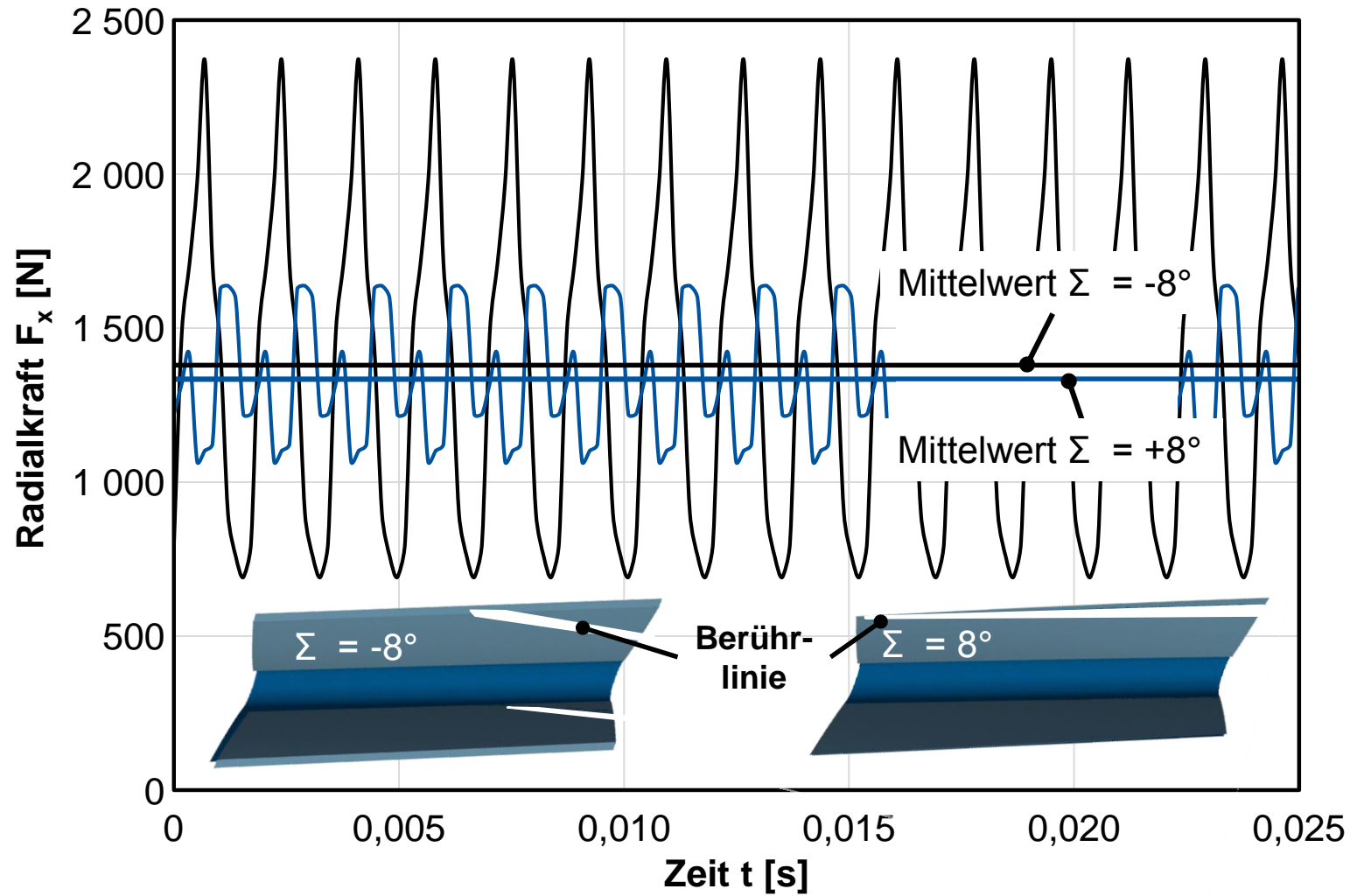
- $z_0 = 75$
- Keramische Bindung C5/F120

Prozess

- $\Sigma = \text{variabel}$
- $n_{C2} = 1\,404 \text{ min}^{-1}$
- $f_r = 0,06 \text{ }\mu\text{m}$

Legende

- $\Sigma = -8^\circ$
- $\Sigma = 8^\circ$

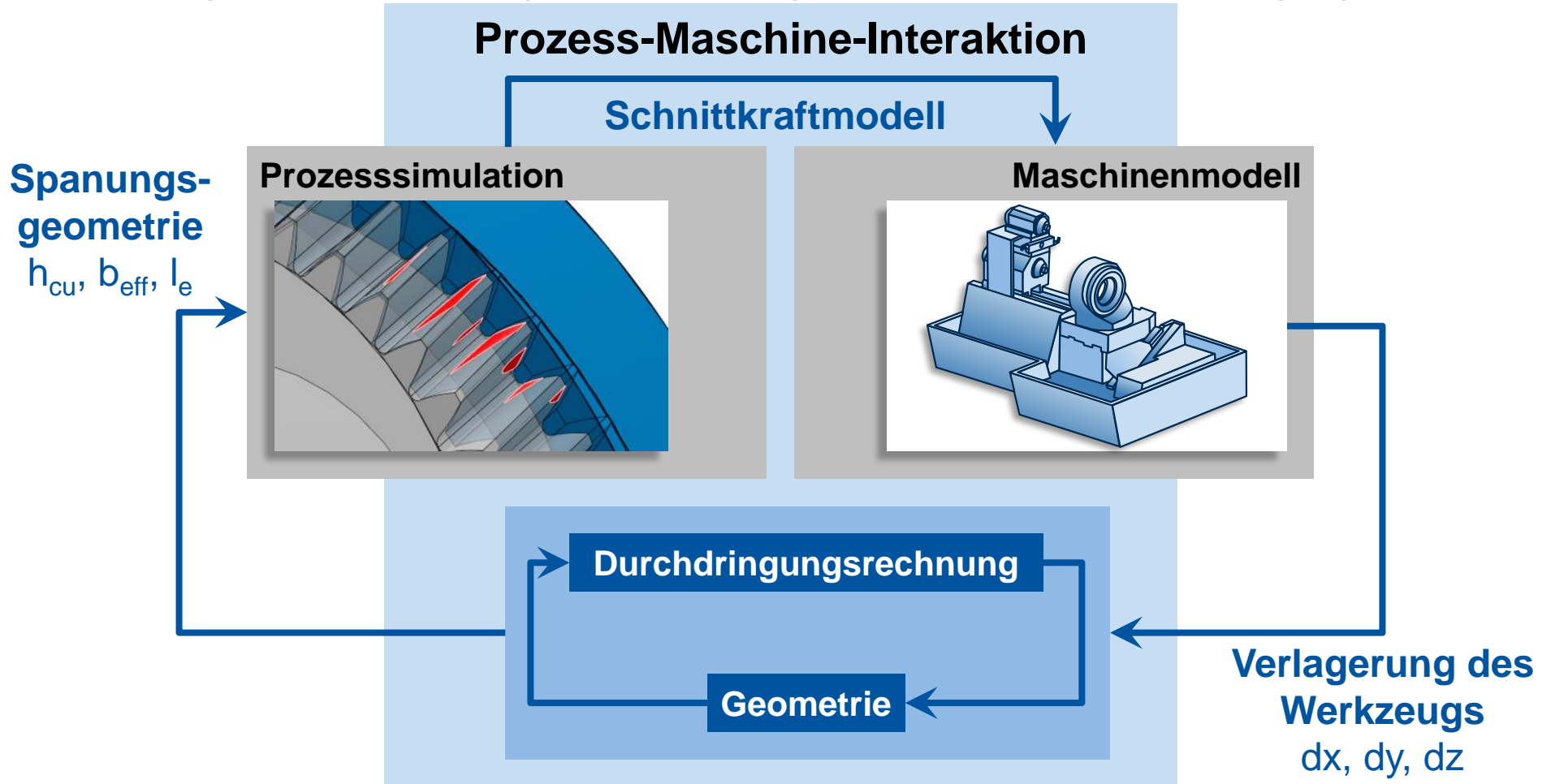


Quelle: [KAMP17]

Mehrwert – Prozess-Maschine Interaktion

Modell zur Prozess-Maschine-Interaktion

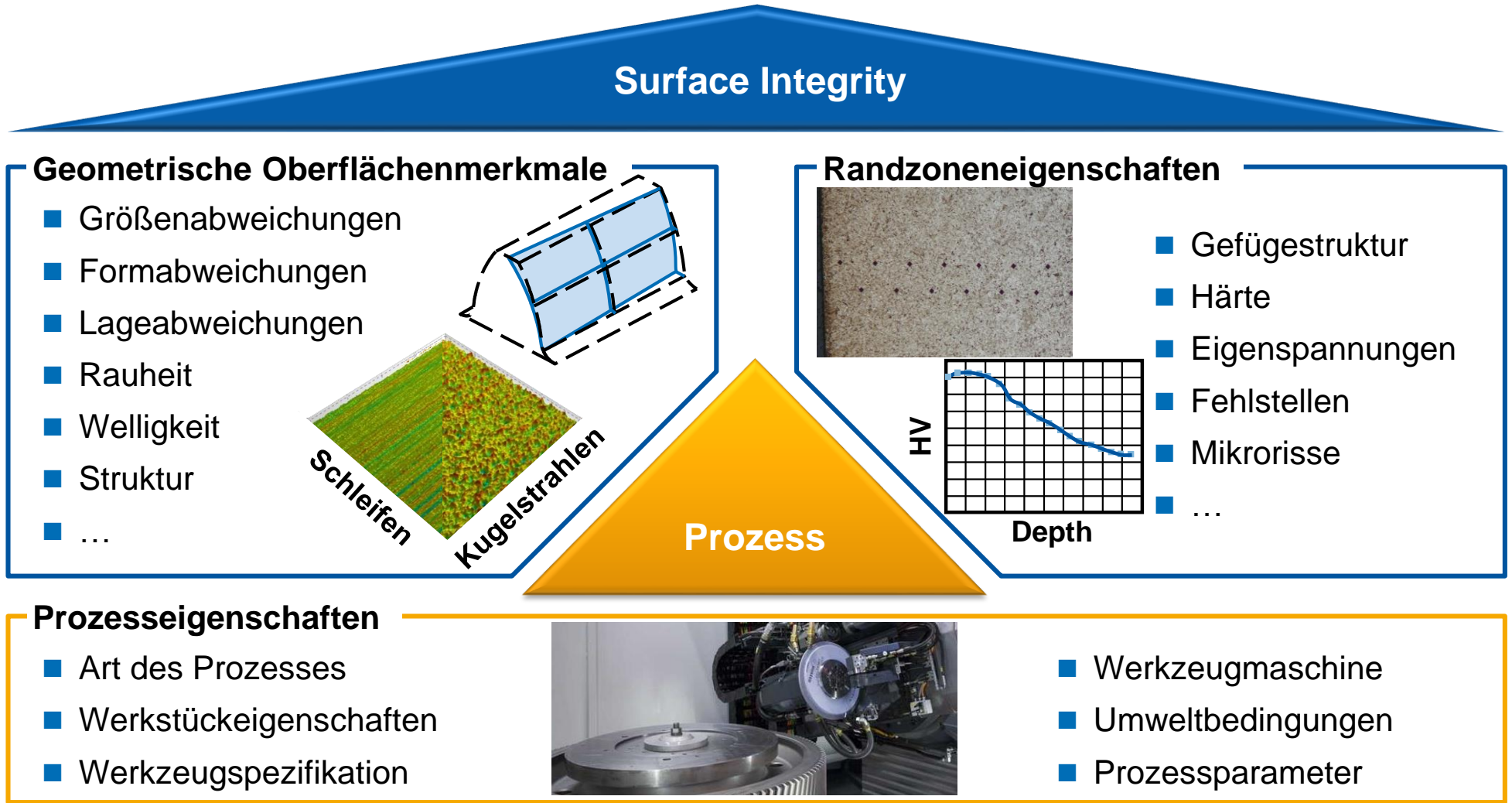
Reduzierung der prozessbedingten Abweichungen mithilfe einer online-Fertigungssimulation



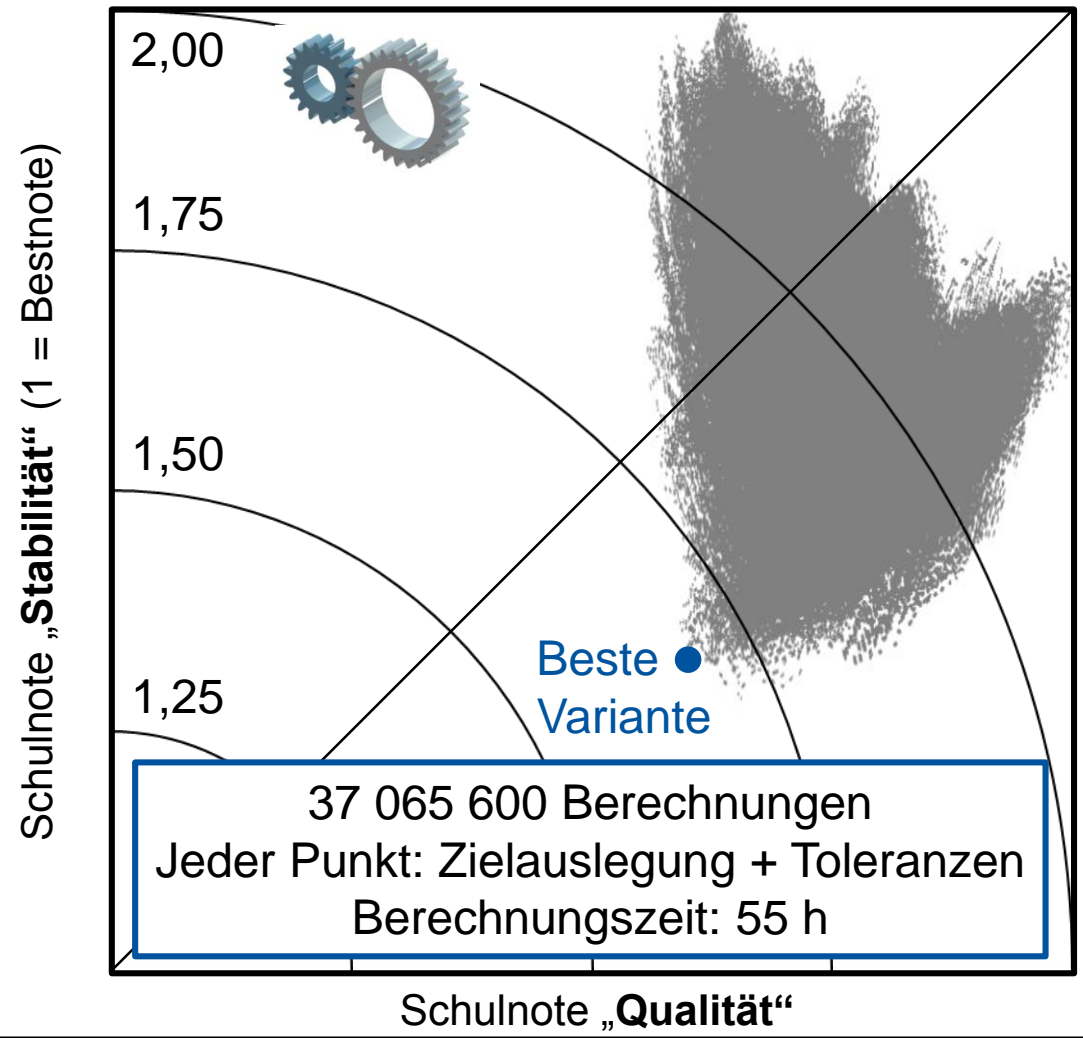
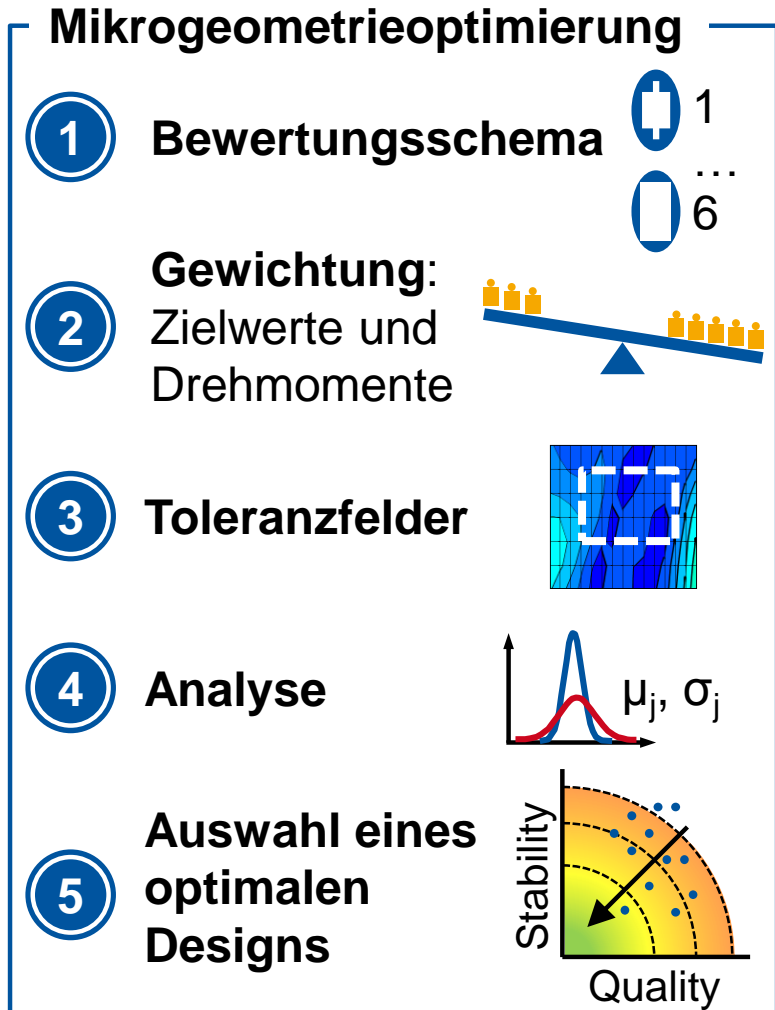
Quelle: [KAMP17]

Agenda

- 1 Motivation und Idee
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten
 - 3.1 Prozess-Interaktion
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion
- 4 Zusammenfassung und Ausblick



Bildquelle: Klingelberg



Mehrwert – Prozess-Einsatz-Interaktion

Surface Integrity von Zahnrädern – Fräsermarkierungen



Verzahnungsdaten

$$m_n = 4,0 \text{ mm}$$

$$b = 36,1$$

$$z_{1/2} = 20/33$$

$$\beta_{1/2} = 20,4$$

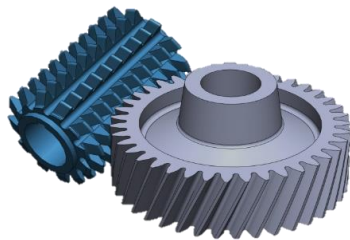
$$\alpha_{1/2} = 18^\circ$$

$$M_2 = 100 \text{ Nm}$$

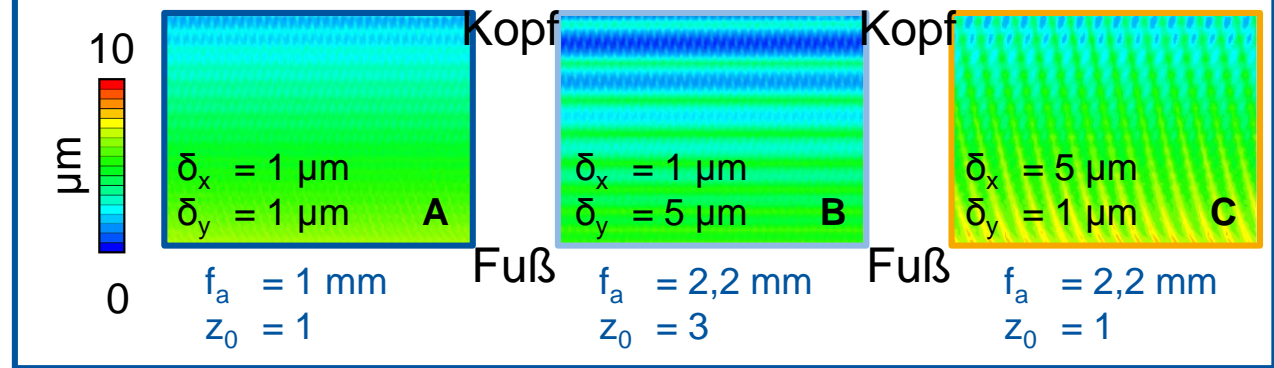
Fräserdaten

$$d_{a0} = 80 \text{ mm}$$

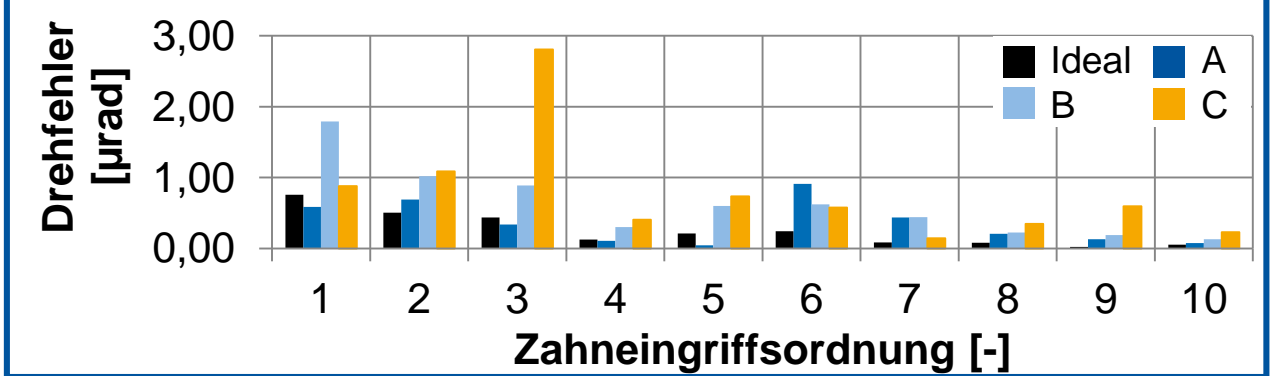
$$n_{i0} = 16$$



Fertigungsabweichungen nach den Fräsen



Drehfehler



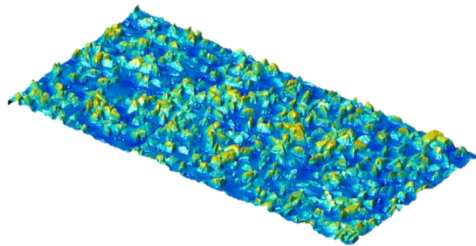
Mehrwert – Prozess-Einsatz-Interaktion

Surface Integrity von geschliffenen Zahnrädern – Rauheit

Fertigungssimulation:



Schleifschneckentopografie



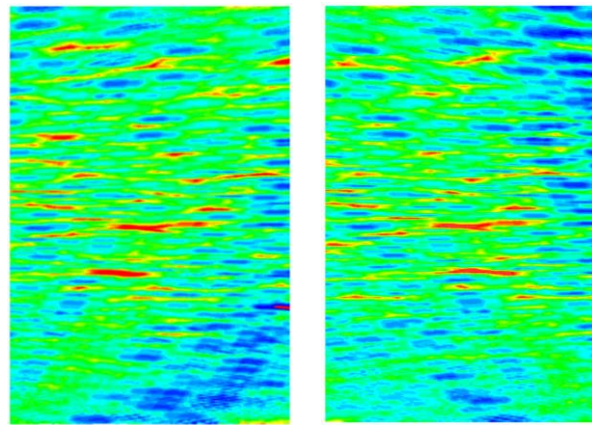
Parameter

z: 33
 m_n : 4,0 mm
 β : 20.4°
 v_c : 35 m/s
 v_f : 93 mm/min
 Z_0 : 2

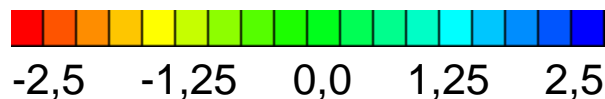
Simulierte 3D-Topografie

Linksflanke Rechtsflanke

Kopf

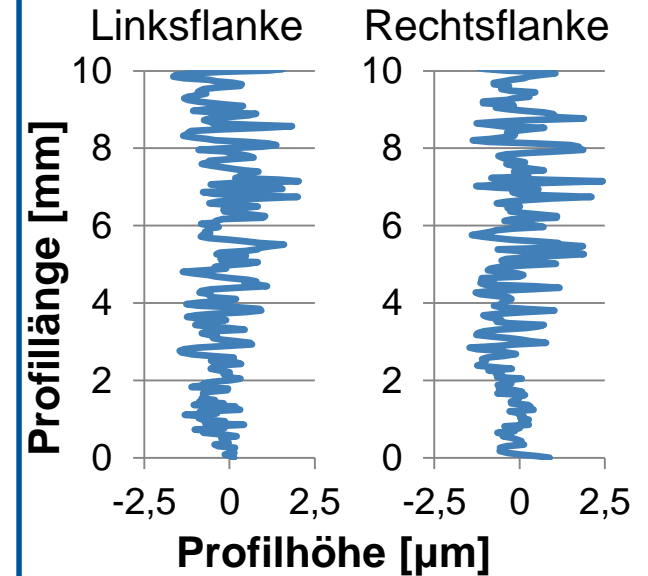


Fuß



Abweichung [μm]

Rauheitswerte



Rz	Linksflanke	Rechtsflanke
Gem.	2.43 μm	2.23 μm
Sim.	2.08 μm	2.00 μm

Quelle: Brecher, C.; Löpenhaus, C.; Hübner, F.: Analyse des Korneingriffes für kontinuierliches Wälzschleifen, WZL, 2016

Mehrwert – Prozess-Einsatz-Interaktion

Surface Integrity von geschliffenen Zahnrädern – Schleifbrand

Methode

Wälzschleifversuche

Werkstück

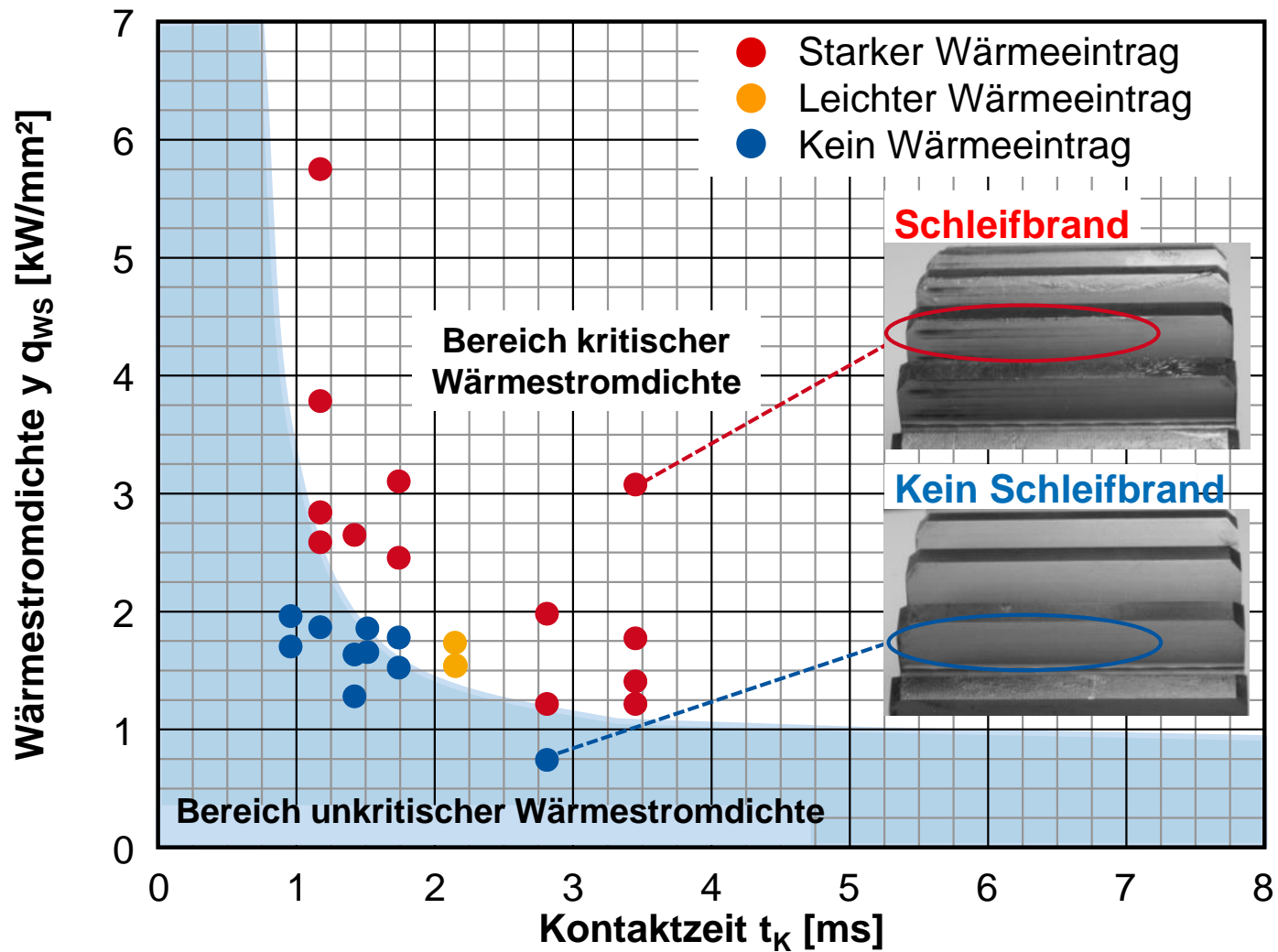
$z = 31$
 $m_n = 4,5 \text{ mm}$
 $\alpha_n = 20^\circ$
 $\beta = 0^\circ$
 $d = 139,5 \text{ mm}$
 $b = 58 \text{ mm}$

Werkstoff und Wärmebehandlung

20MnCr5
60 HRC
 $EHT_{550HV} = 1,4 \text{ mm}$

Werkzeug

30% Sinterkorund
Körnung F120
 $d_{a0} = 196 \text{ mm}$
 $\alpha_{n0} = 20^\circ$



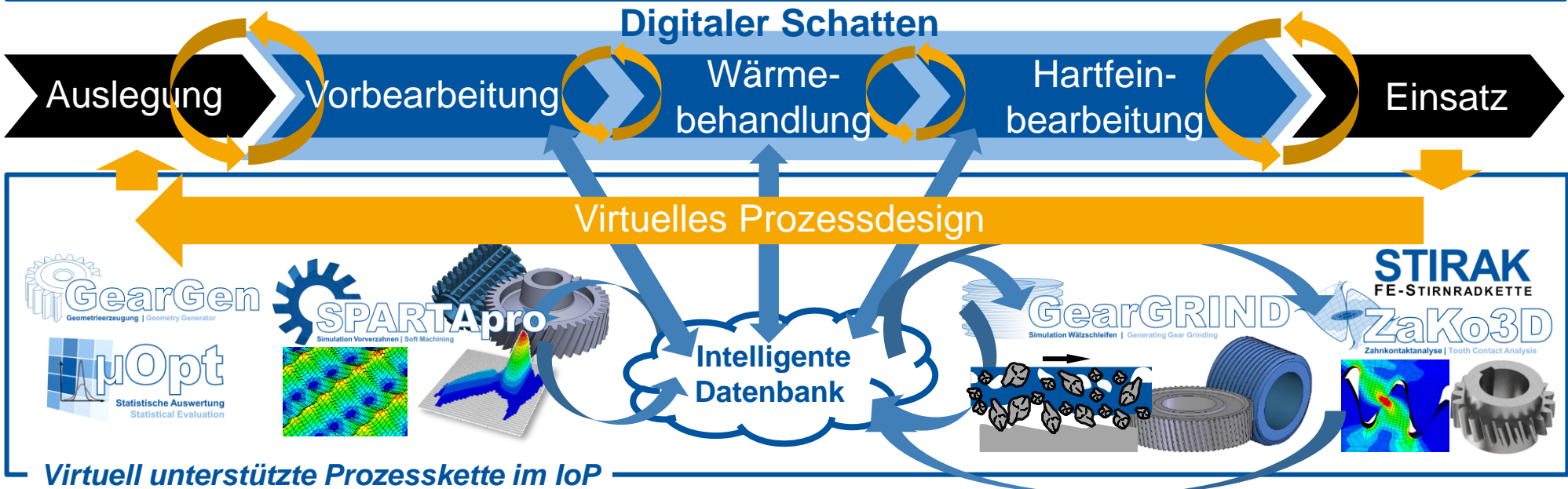
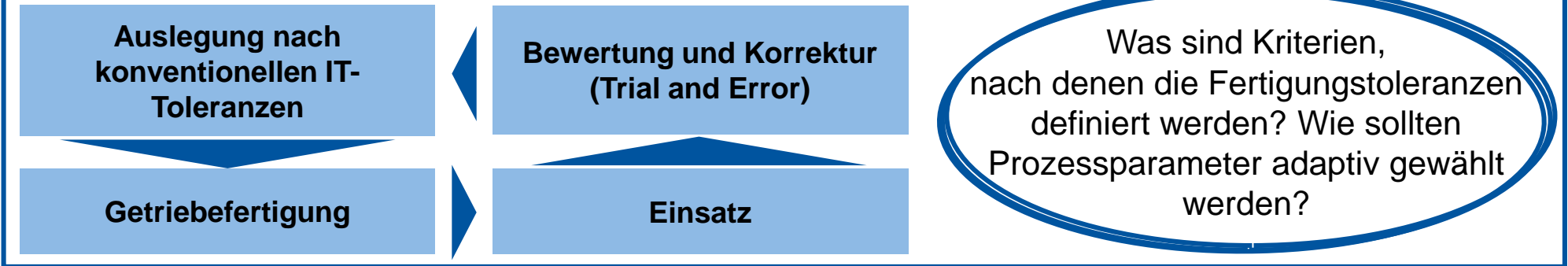
Agenda

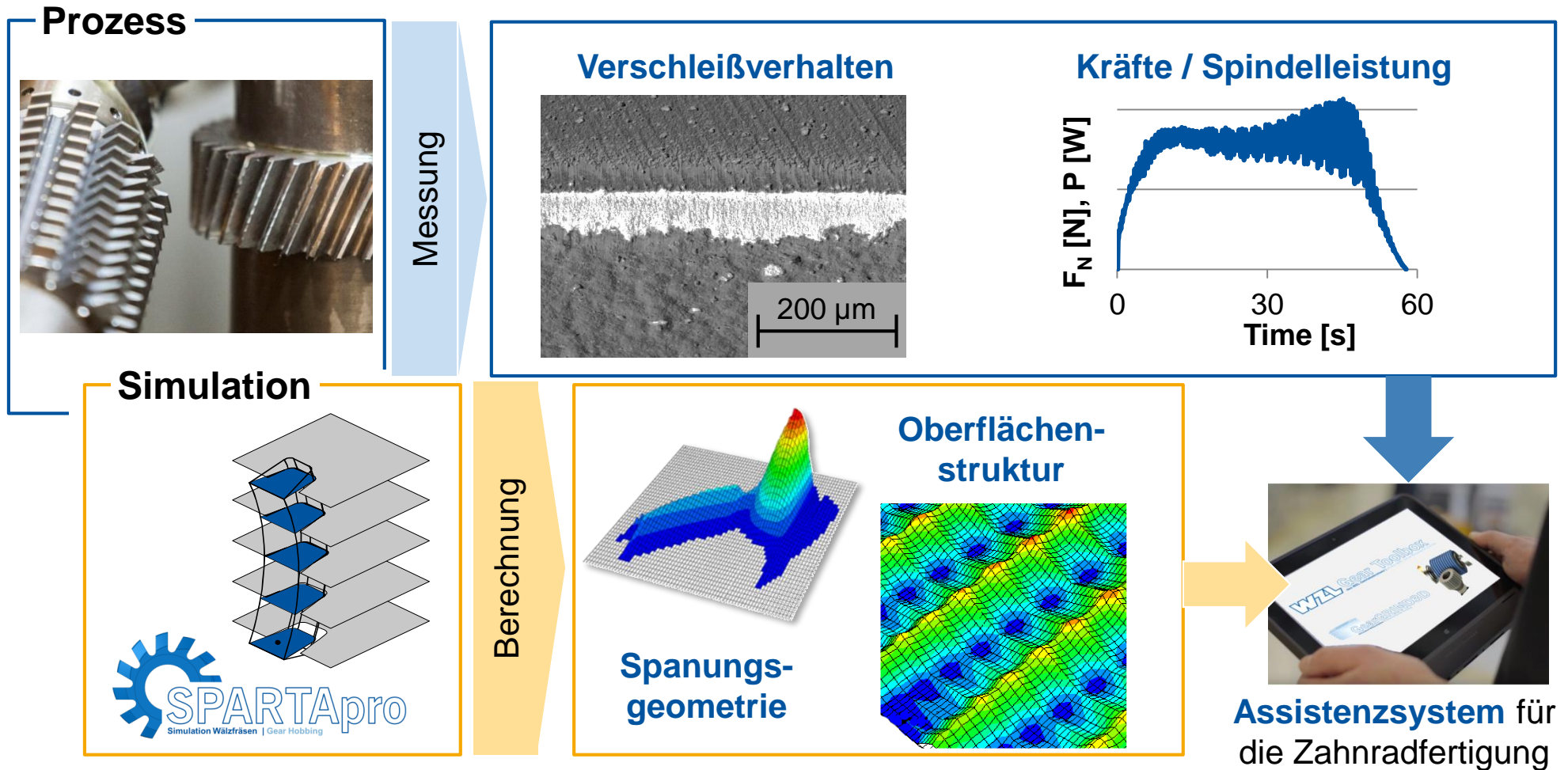
- 1 Motivation und Idee**
- 2 Architektur einer virtuellen Zahnradproduktion**
- 3 Vorteile virtueller Zahnradprozessketten**
 - 3.1 Prozess-Interaktion**
 - 3.2 Prozess-Maschine Interaktion**
 - 3.3 Prozess-Benutzer Interaktion**
- 4 Zusammenfassung und Ausblick**

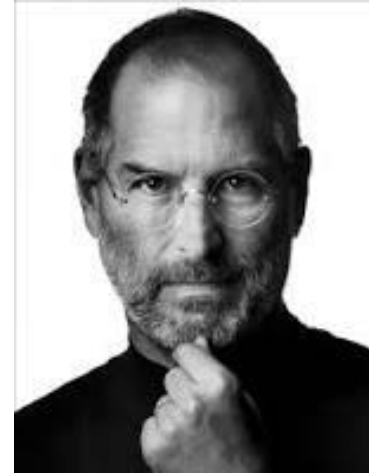
Zusammenfassung

Funktionale Tolerierung durch den Digitalen Schatten

Konventionelle Getriebeproduktion







What's important is that you have a faith in people, that they're basically good and smart. If you give them tools, they'll do wonderful things with them.

(Steve Jobs, 1955-2011)

