
FORUM: Umformende Verzahnungsfertigung
**Kaltwalzen von Laufverzahnungen am
Fraunhofer IWU**

Dipl.-Ing. Mike Lahl



Agenda

- Stand der Forschung
- Querwalzen nach dem Rundrollenprinzip
- Entwicklung Kaltwalzprozess
- Vorteile des Verzahnungswalzens
- Tragfähigkeitsermittlung
- Prozesssimulation Verzahnungswalzen
- Kaltwalztechnisch herstellbare Profile

Stand der Forschung

Steckverzahnung

■ Zahnhöhenfaktor $y \leq 2$



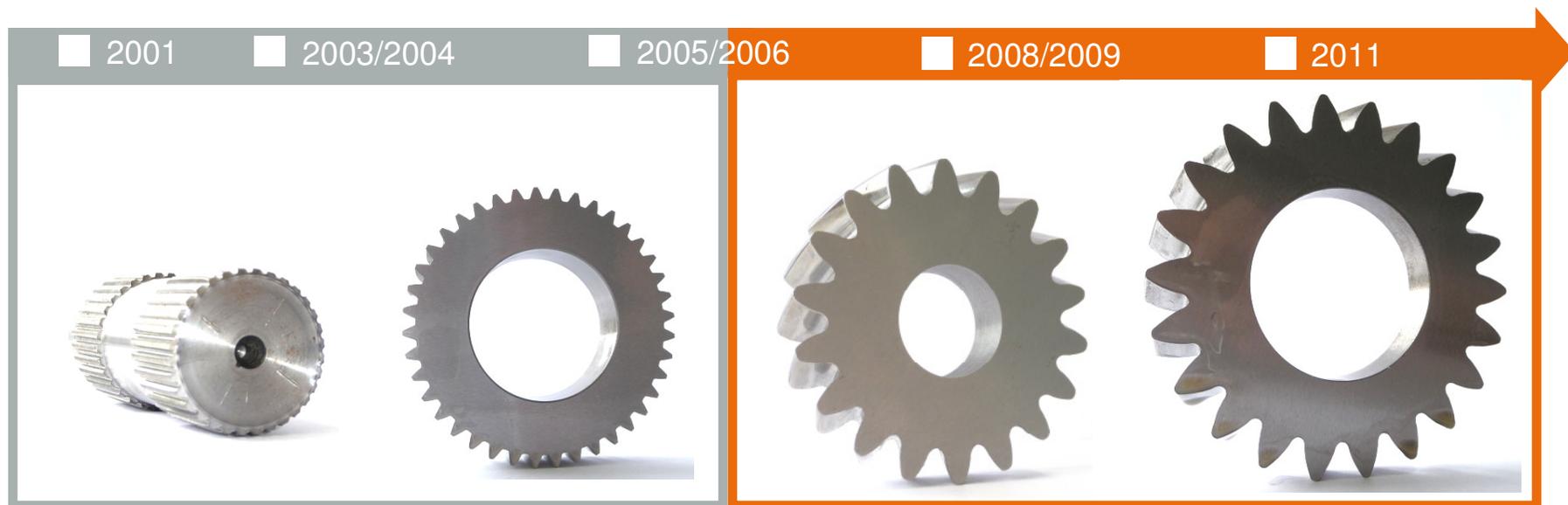
Normalverzahnung

■ Zahnhöhenfaktor $y = 2$



Hochverzahnung

■ Zahnhöhenfaktor $y > 2$



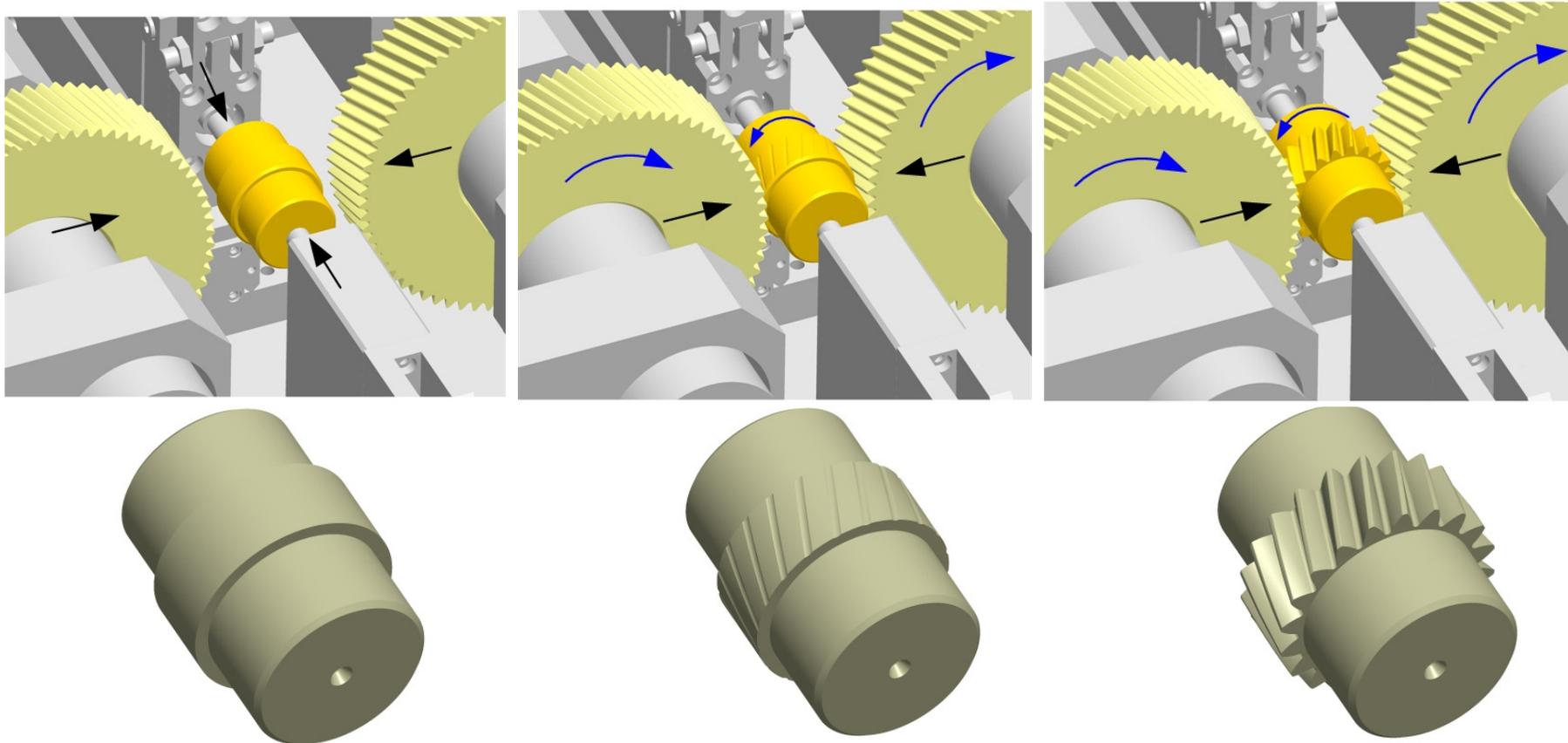
Stand der Technik

Stand der Forschung

Archivierungssangaben

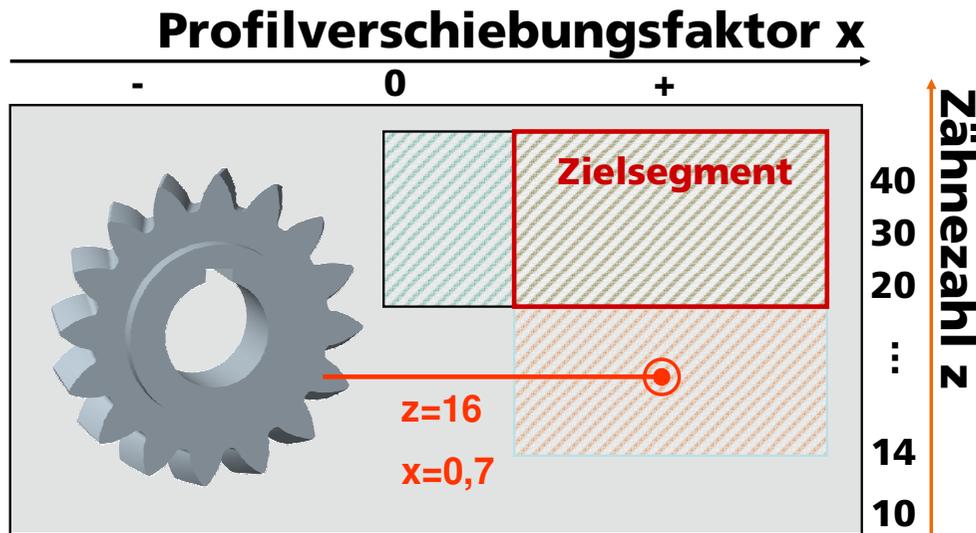
Querwalzen nach dem Rundrollenprinzip

- Profilausbildung durch gesteuertes radiales Eindringen der Walzwerkzeuge
- Rundrollenprinzip ermöglicht mehrfaches Überwalzen (unendliche Werkzeuglänge)
- Walzkräfte und Vorschübe können belastungsminimiert eingestellt werden (inkrementelle Umformung)



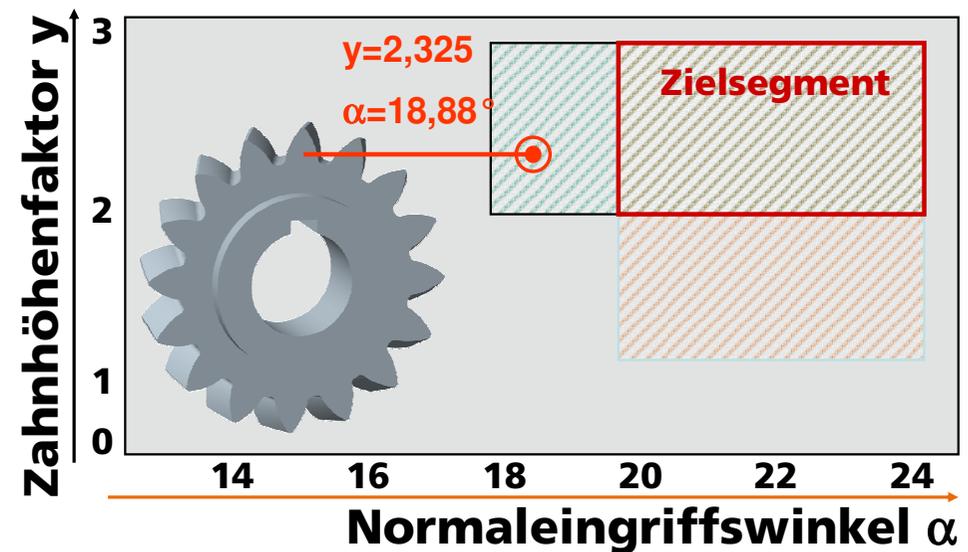
Archivierungssangaben

Entwicklung Kaltwalzprozess



- Herstellung einer Schrägverzahnung mit Stirnmodul 4,5mm
- Zahnhöhe $h_z=9,8\text{mm}$
- Begrenzungsdurchmesser $d_a=87,25\text{mm}$, $d_f=67,58\text{mm}$
- Werkstoff 16MnCr5

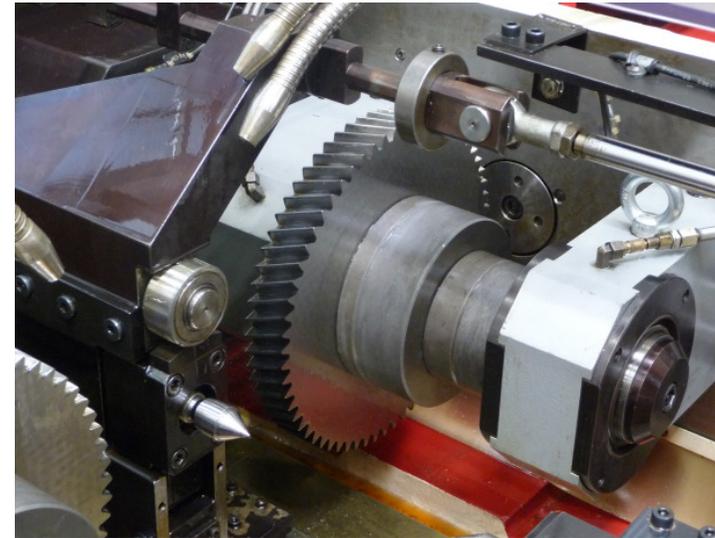
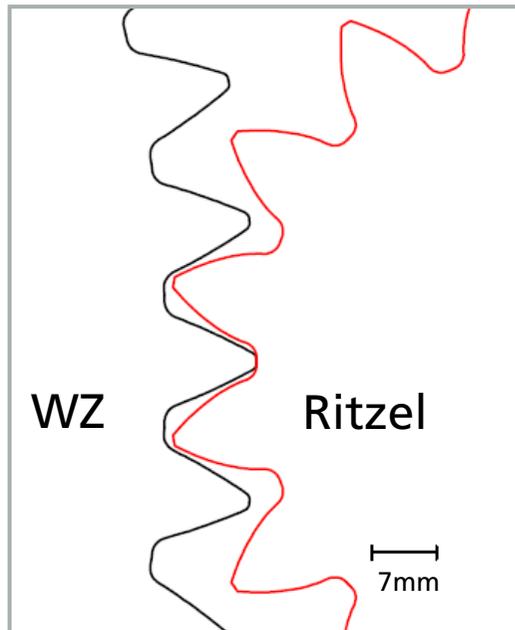
- Vorverzahnung mittels Kaltwalzen
- Hartfeinbearbeitung mittels Profilschleifen
- Ziel: Verzahnungsqualität 7



Entwicklung Kaltwalzprozess

Walzwerkzeugfertigung

- Herstellung der schrägverzahnten Walzwerkzeuge durch Profilschleifen
- Vorgabe Verzahnungsqualität 5



Entwicklung Kaltwalzprozess

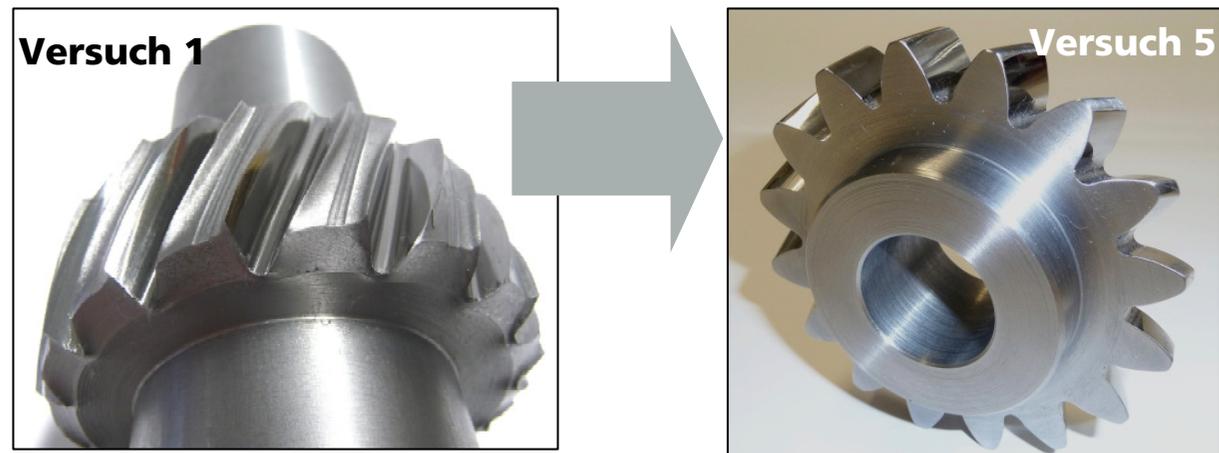
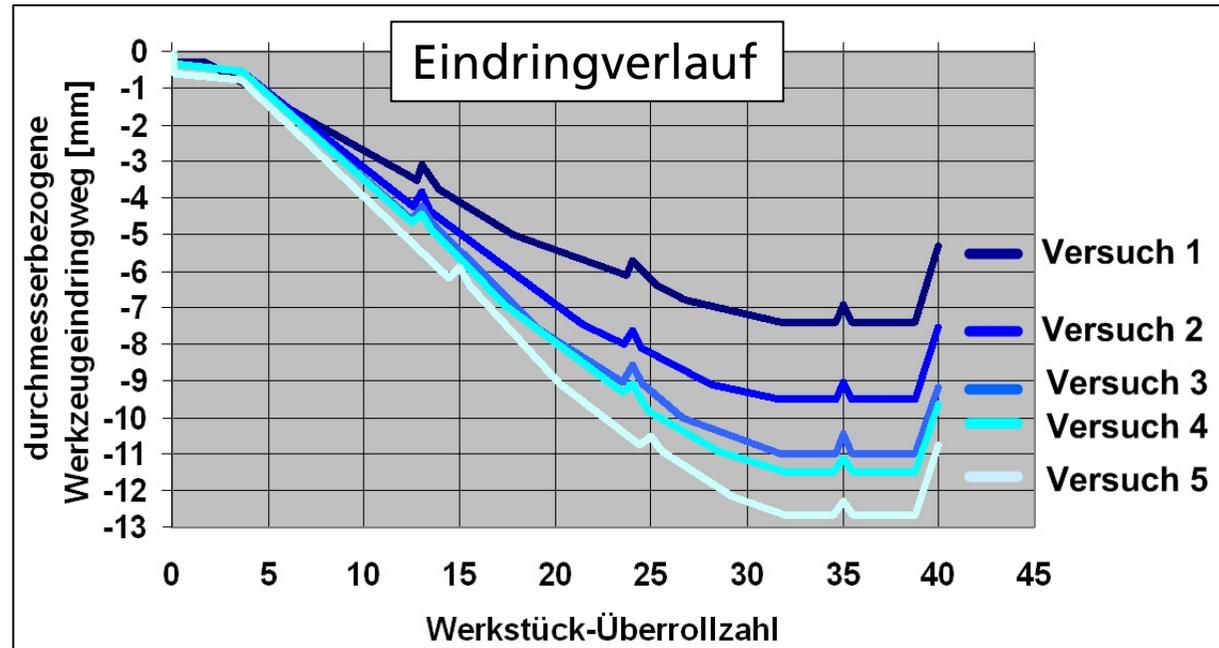
Prozesseinstellung

■ Zielgrößen:

- Verzahnungsqualität nach DIN 3960-3962
- Zahnkopf geschlossen
- Sollfußkreis- und Sollkopfkreis-durchmesser
- **vollständige Zahnausformung**

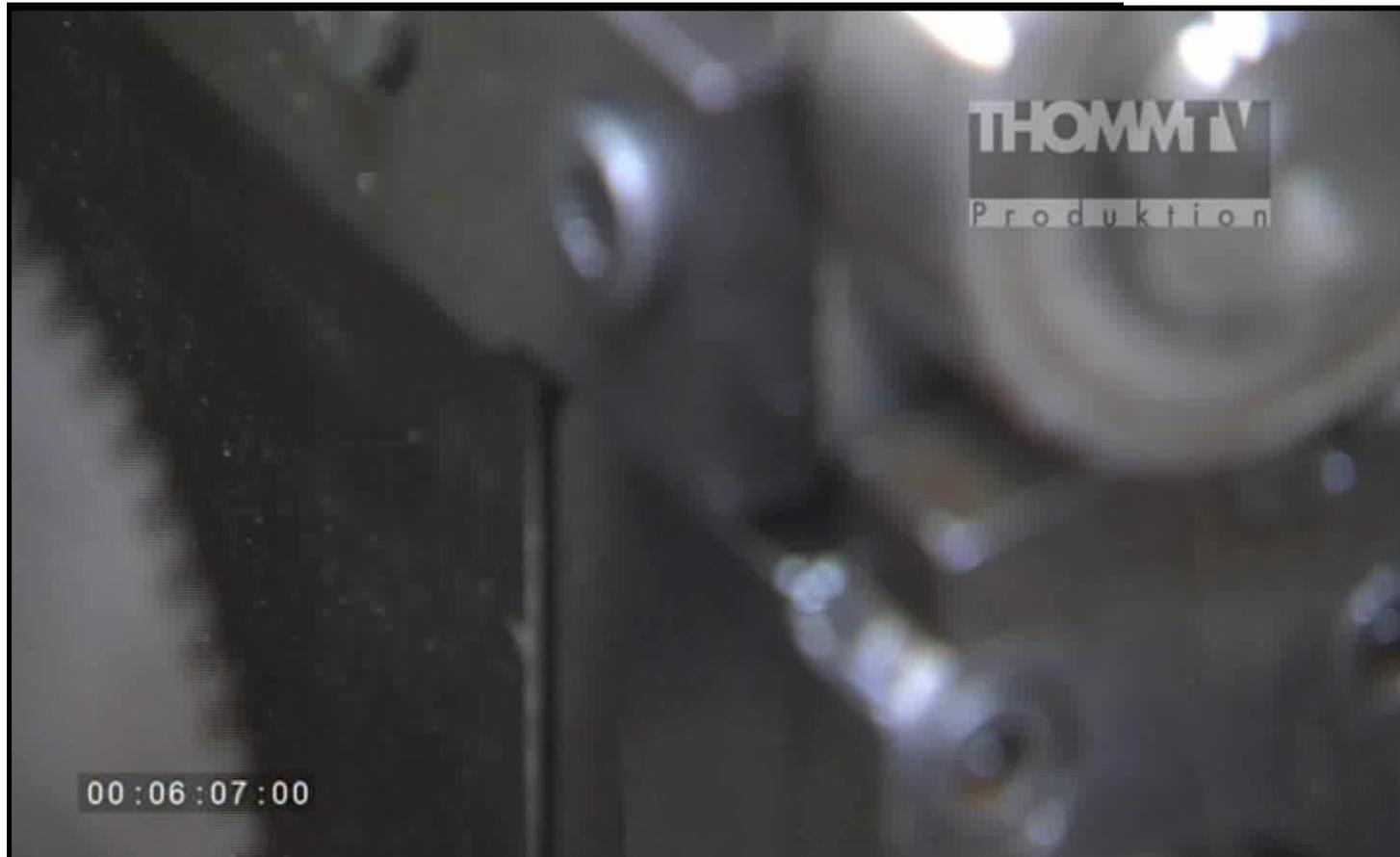


- Werte steuerbar über **Eindringverlauf** sowie durch exakte **Volumenberechnung** der Vorform



Entwicklung Kaltwalzprozess

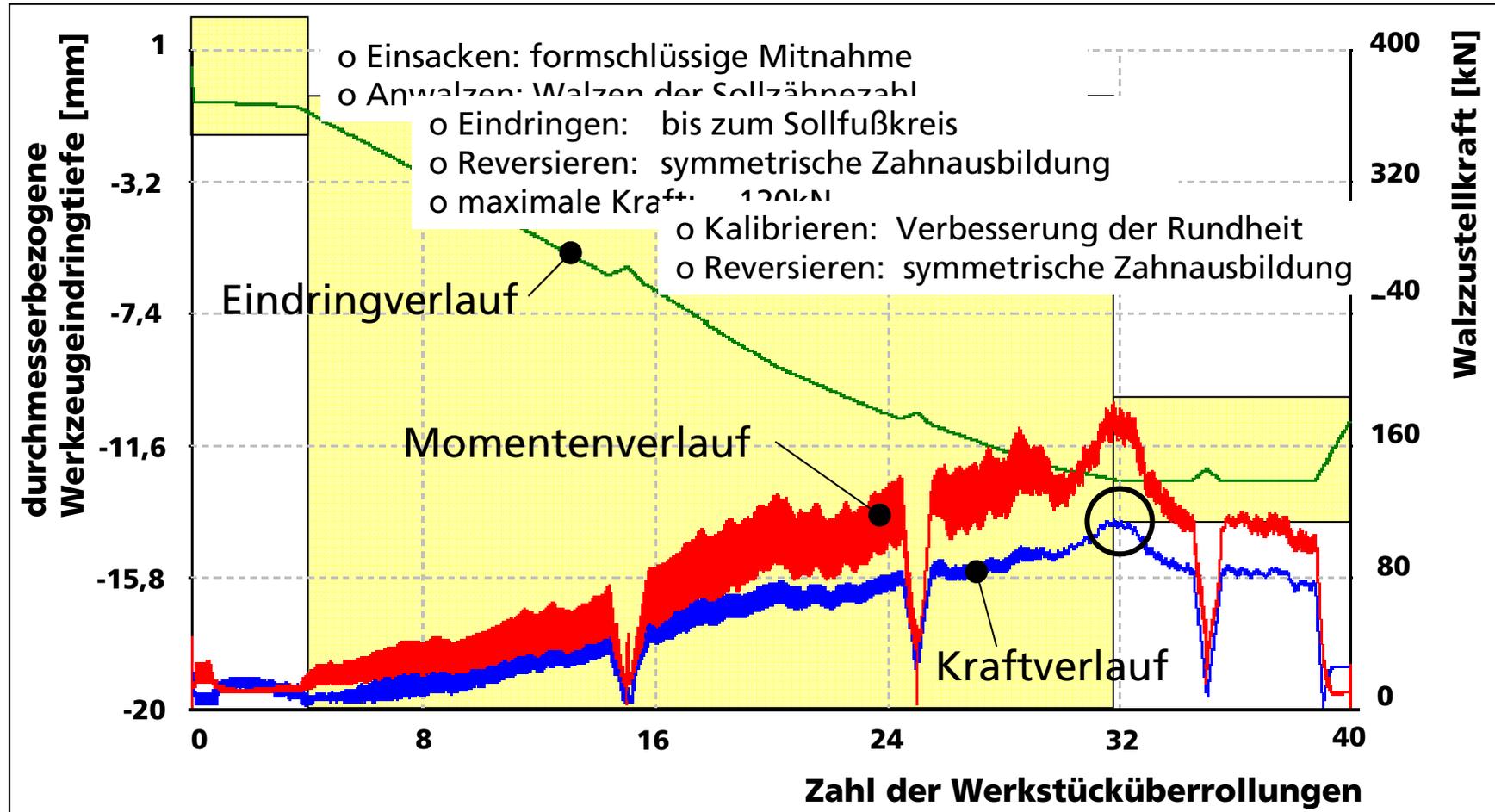
Walzprozess



Archivierungssangaben

Entwicklung Kaltwalzprozess

Walzprozessauswertung



- **geringe Umformkräfte** auf Grund des inkrementellen Verfahrens (kleine Kontaktzonen) (kompakte Maschinen)

Entwicklung Kaltwalzprozess

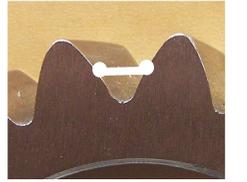
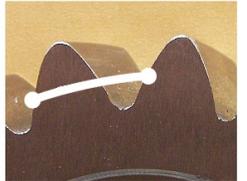
Walzergebnis

	Walzteil- Ausgangsform 	Frästeil- Ausgangsform 	Fertigteil 
Masse	761g	850g	673g
Material- ausnutzungs- grad	88,43%	79,17%	-
Spanabfall	88g (stirnseitige Bearbeitung, Entgraten)	177g (Abwälzfräsen, Entgraten)	-

- Materialeinsparung durch Verzahnungswalzen **89g/Bauteil ~ 890kg / 10.000Stück**
- größeres Materialeinsparpotential bei Zahnrädern mit größerem Zahnlückenvolumen
- **Zielsegment $z \uparrow$, $d \uparrow$, Lückenweite > Zahnweite**

Vorteile des Kaltwalzprozess

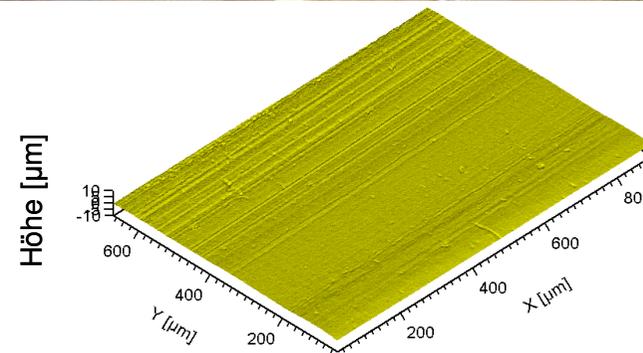
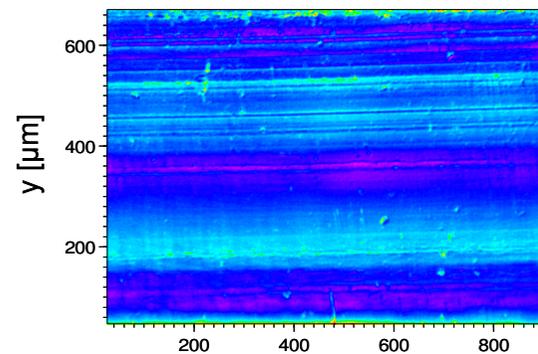
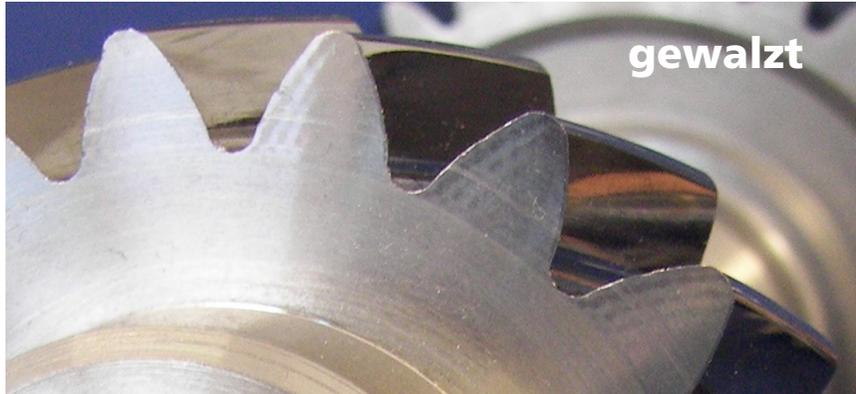
Härteverzugsverhalten

Versuchsparameter		Verzahnungsdaten $m_n = 2,3 \text{ mm}; z = 22$	VQ nach Walzprozess		VQ nach Walzprozess und WBH		▲ μm
			VQ	μm_{max}	VQ	μm_{max}	
Profilmessung		Profilgesamtabweichung F_f	10	40	10	44	+4
		Profilformabweichung f_f	11	39	11	42	+3
		Profilwinkelabweichung $f_{H\alpha}$	9	13	9	16	+3
Flankenlinienmessung		Flankengesamtabweichung F_β	10	40	11	63	+23
		Flankenlinienabweichung $f_{f\beta}$	10	25	11	29	+4
		Flankenwinkelabweichung $f_{H\beta}$	11	69	11	72	+3
Teilungsmessung		Teilungseinzelabweichung f_p	9	18	9	19	+1
		Teilungsgesamtabweichung F_p	10	79	10	79	± 0
		Teilungssprung f_u	7	11	8	13	+2

- Fazit: Verzug durch Wärmebehandlung $\varnothing < 5 \mu\text{m}$
- Verschlechterung um max. EINE Verzahnungsqualität
- Wissenschaftlicher Nachweis geplant

Vorteile des Kaltwalzprozess

Oberflächenqualität

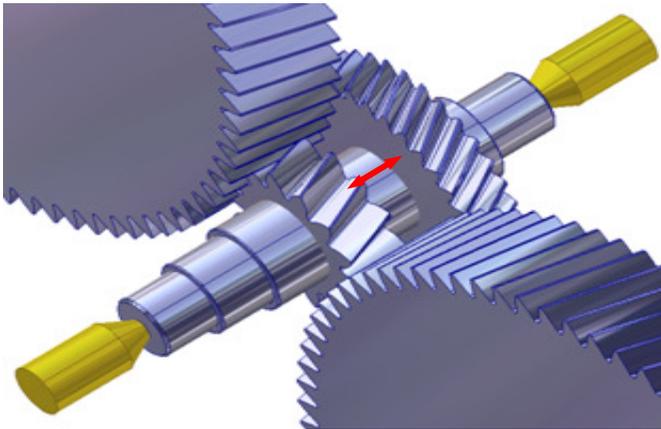


- geringe Oberflächenrauheiten nach dem Walzen und Einsatzhärten
- $R_a = 0,3 - 0,5 \mu\text{m}$; $R_z = 3 - 6 \mu\text{m}$
- Einfluss auf die Zahnfußtragfähigkeit - Rauheitsfaktor Y_R

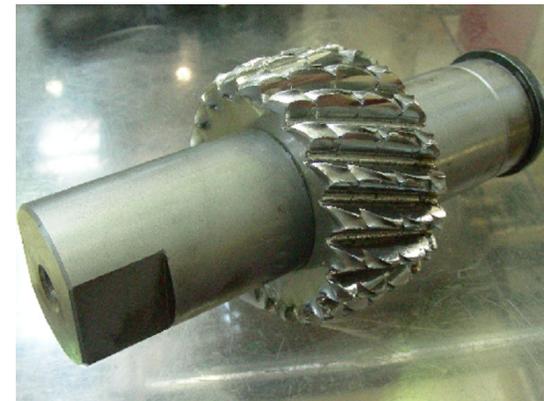
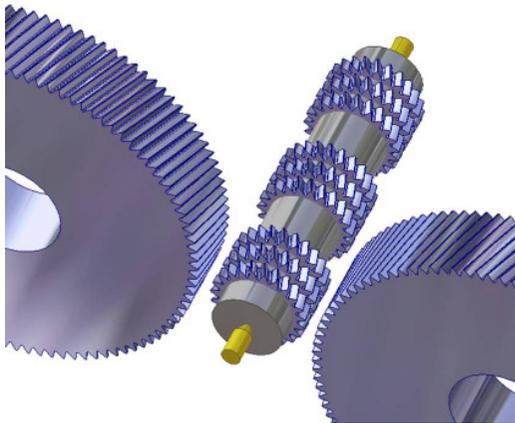
Vorteile des Kaltwalzprozess

Maschine und Prozess

- Walzen von enganliegende Festrädern auf einer Welle (**Kompaktierung**)

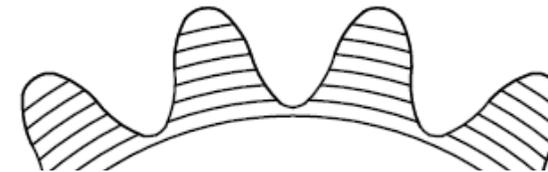
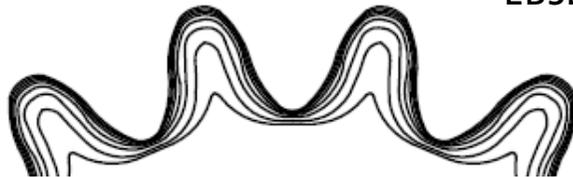
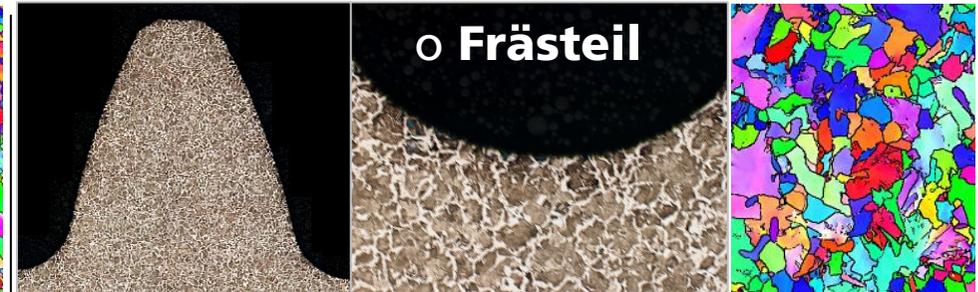


- Mehrfachspannkonzeppte zur **Erhöhung der Produktivität**



Vorteile des Kaltwalzprozess

Gefüge



- Gefüge **ist texturiert**
- Körner **sind verformt**
- nicht geschnittene, konturangepasste, komprimierte Materialfaser
- verrundete Bauteilkontur, Reduzierung der Kerbwirkung

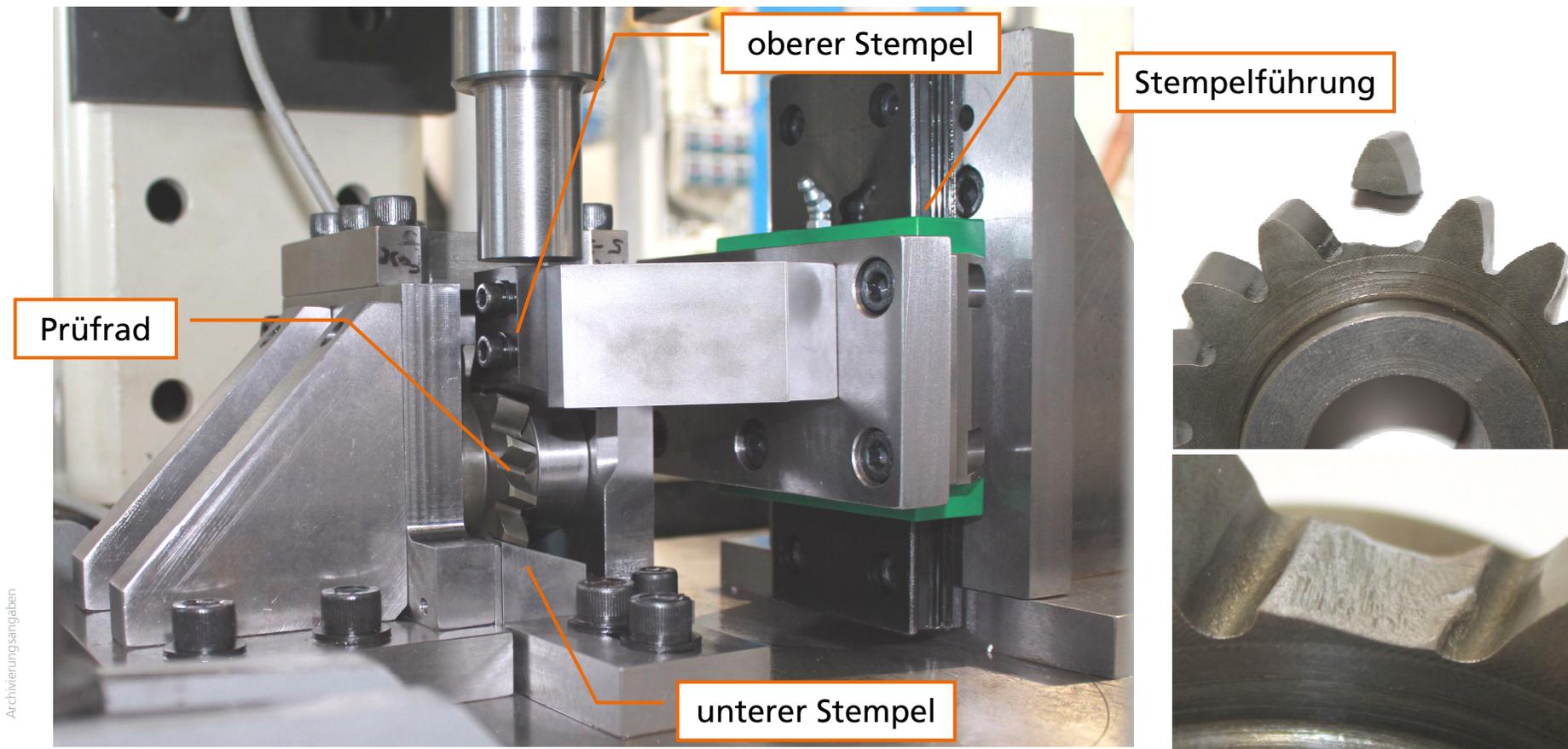
- Gefüge ist **nicht texturiert**
- Körner sind **nicht verformt**
- geschnittene Korngrenzen
- kantige, winklige Oberflächengeometrie, Begünstigung der Kerbwirkung

Einfluss der Umformeffekte auf die finalen Bauteileigenschaften im Einsatz?

Tragfähigkeitsermittlung

Sonderfall Schrägverzahnung

- Prüfvorrichtung zur **Zahnfuß**tragfähigkeitsermittlung

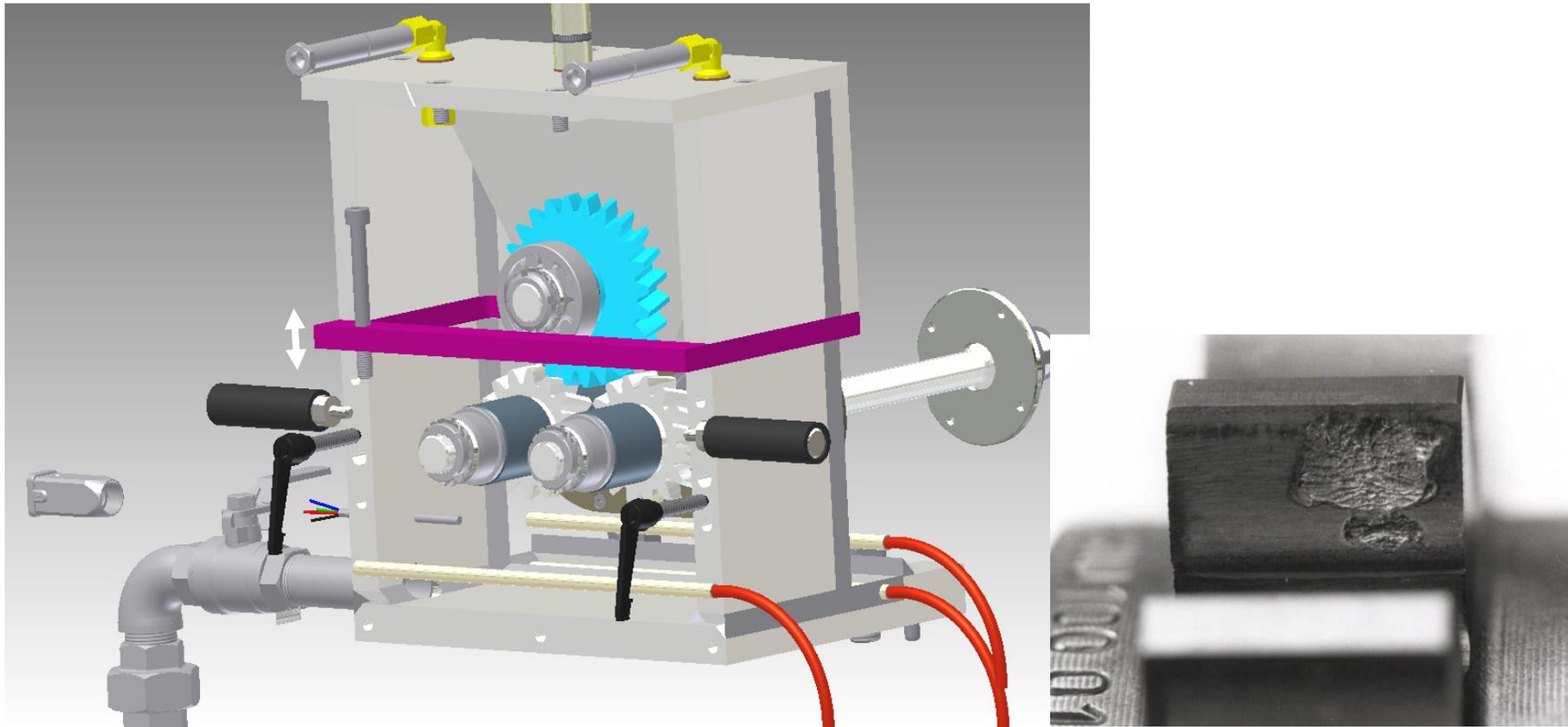


Archivierungsangaben

Tragfähigkeitsermittlung

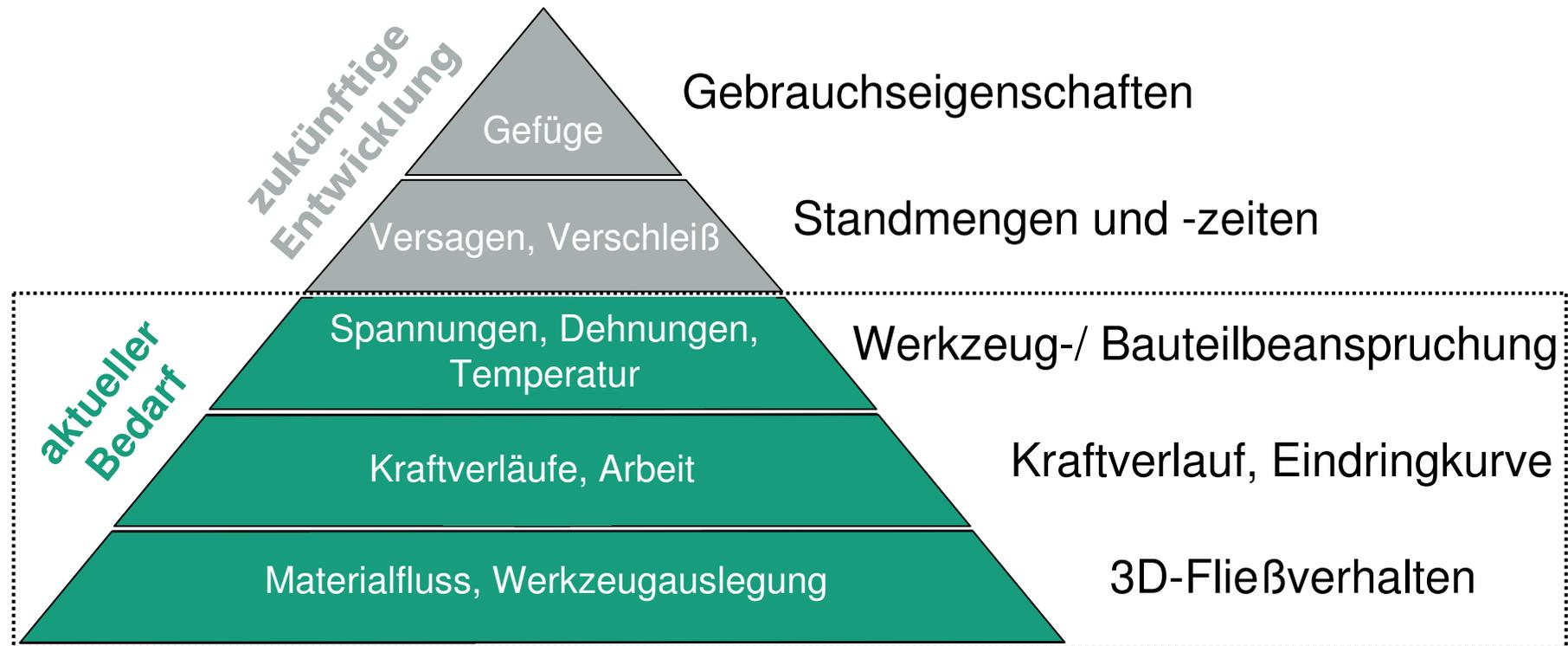
Sonderfall Schrägverzahnung

- Prüfvorrichtung zur **Flanken**tragfähigkeitsermittlung
- Besonderheit: variable Achsabstände möglich



Prozesssimulation Verzahnungswalzen

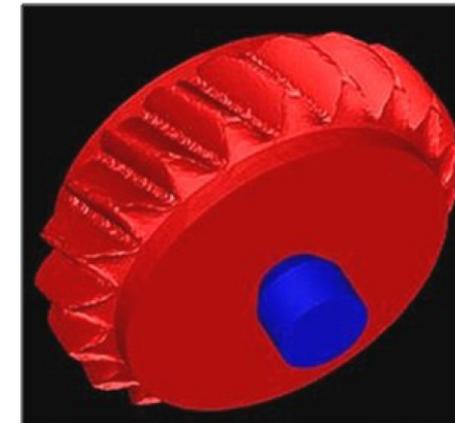
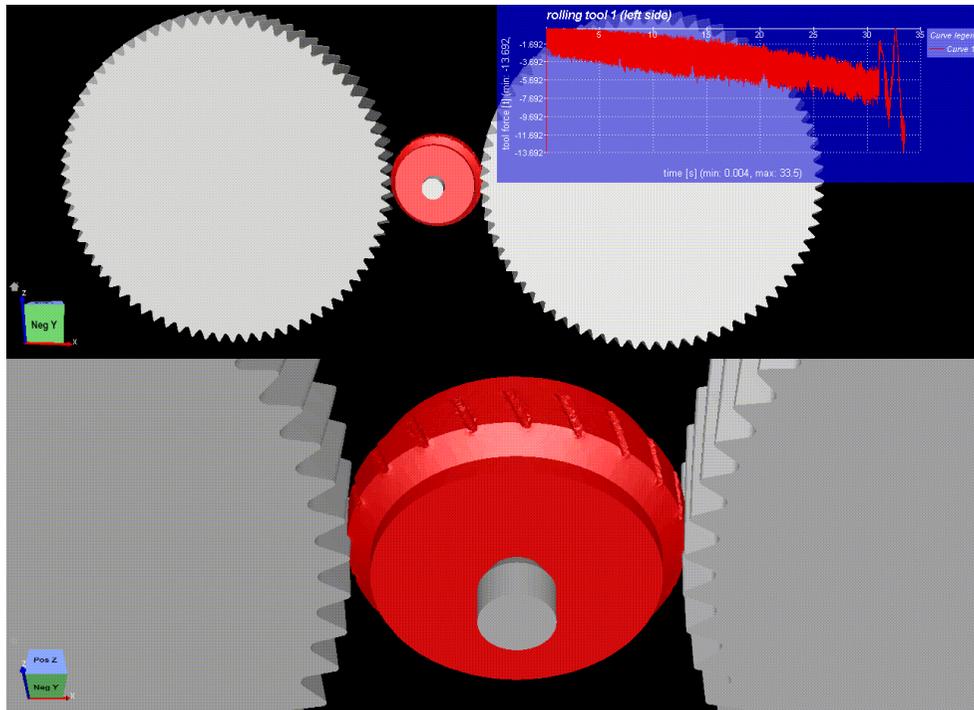
FEM Pyramide



Archivierungssangaben

Prozesssimulation Verzahnungswalzen

Materialfluss



■ Aufgabenstellung:

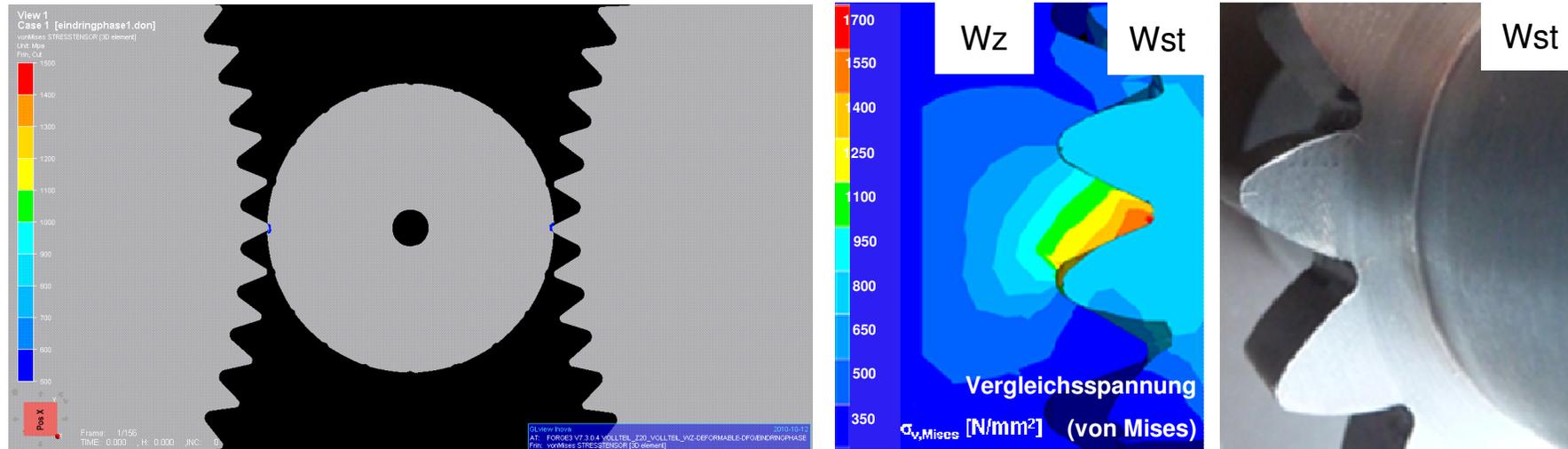
- Durchdringung des Walzvorganges vor allem im Eindringprozess
- Berechnungshilfe bei der Vorformauslegung (Durchmesser, Fase)

■ Ergebnis:

- sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation / Realbauteil

Prozesssimulation Verzahnungswalzen

Werkzeugbeanspruchung



■ Aufgabenstellung:

- qualitative Analyse der Werkzeugbelastungen

■ Ziel:

- Optimierung der Werkzeugkonstruktion
- Belastungsgerechte Werkzeugzahnkopf- und Werkzeugzahnfußgestaltung
- Entscheidungshilfe bei der Wahl des beanspruchungsgerechten Werkzeugmaterials

Kaltwalztechnisch herstellbare Profile

Hochverzahnte Losräder „in's Volle“ gewalzt

- Modul: 2 ... 4 [mm]
- Eingriffswinkel: 16 ... 24 [°]
- Zahnhöhen: 5 ... 11 [mm]
- Schrägungswinkel: 12 ... 34 [°]
- Zahnhöhenfaktoren: bis zu 2,7
- Qualitäten (DIN3962): 8 ... 11 (**vorverzahnt**)
6 / 7 (**finished**)
- Werkstoffe: Einsatzstähle, Vergütungsstähle



Archiv

Kaltwalztechnisch herstellbare Profile

Hochverzahnte Festräder „in's Volle“ gewalzt

■ Rückwärtsgangwelle



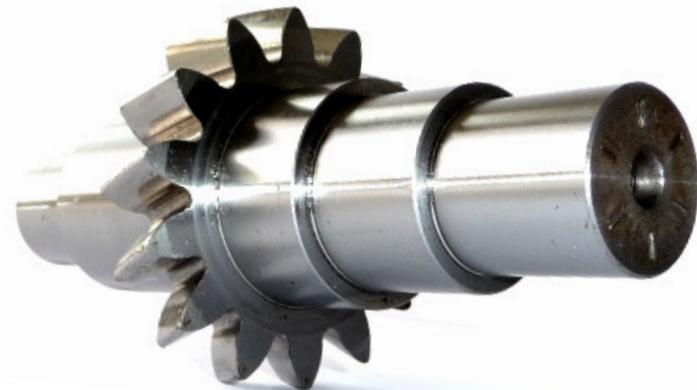
■ Hohle Antriebswelle



■ Hohle Antriebswelle



■ Rückwärtsgangwelle



Kaltwalztechnisch herstellbare Profile

Profile „in's Volle“ gewalzt

- Schnecken
- Ritzel
- Gewinde
- Bohrer
- Rotorprofile



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fraunhofer IWU Chemnitz

Kompetenzen

- Verzahnungswalzen (Losräder, Hohl- und Vollwellen)
- Profilwalzen (steigungslose Hohlprofile, Verdichter- und Kompressorenprofile)
- Walzen von Schneckengeometrien und Gewinden



Software & Maschinen

- CAD Programme (Inventor, Catia, ProE Wildfire)
- Simulation (Ansys, Forge, Simufact)
- Walzmaschinen (Profilquerwalzen mit 2 / 3 Werkzeugen)
- Metallografielabor
- FZG-Zahnrad-Verspannungsprüfstand
(Tragfähigkeituntersuchungen für Schmiermittel, Schräg- und Geradverzahnungen)
- ZEISS-Verzahnungs-Messmaschine (DIN 3960 / 3962)
- Pulsator für Zahnfußfestigkeitsuntersuchungen, Erstellung von Bauteilwöhlerlinien
- 5 Ingenieure, 4 studentische Hilfskräfte, 1 Techniker

