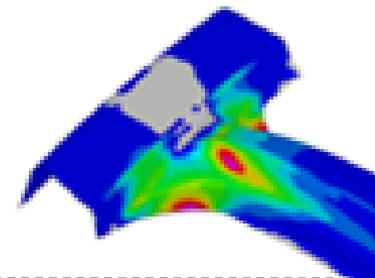
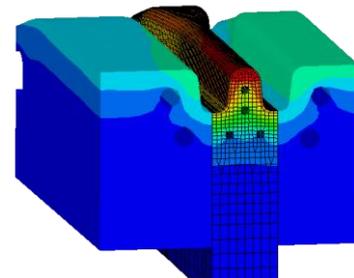
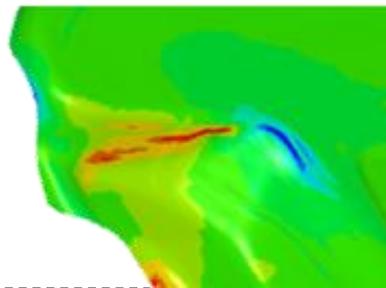


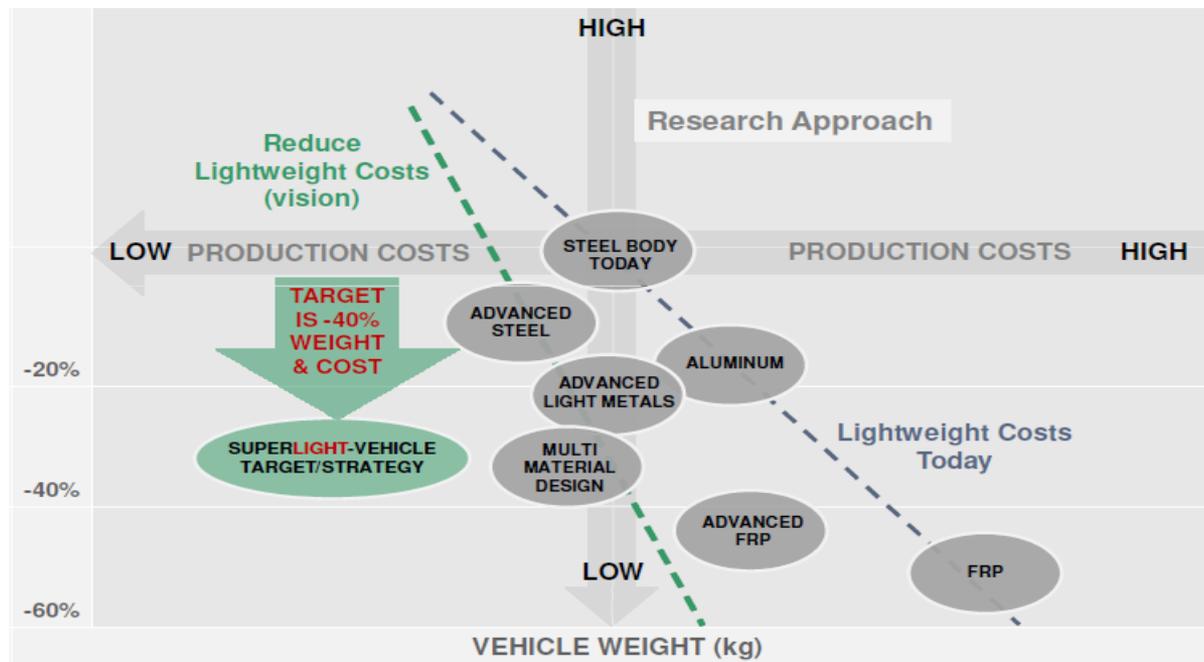
Prozessauslegung in der (Warm)Umformung durch thermomechanisch gekoppelte Simulation

David Lorenz
DYNAmore GmbH



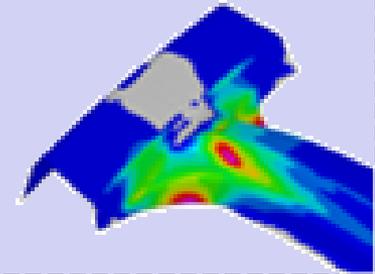
- 1. Einleitung**
- 2. Machbarkeitsuntersuchung beim Presshärten**
- 3. Thermische Werkzeugauslegung**
- 4. Vorhersage von Gefügestruktur und Bauteileigenschaften**
- 5. Wärmeunterstütztes Umformen von Leichtmetallen**
- 6. Ausblick**

- aktuelle Leichtbautrends erfordern neuartige Fertigungsverfahren und Werkstoffe
- zunehmende Anzahl an pressgehärteten Bauteilen insgesamt → komplexere Geometrie
- Bauteile mit maßgeschneiderten Eigenschaften → deutlich komplexere Prozesse
- Erweiterung des Umformvermögens von
 - Aluminium durch 2-stufige Kaltumformung mit Zwischenwärmebehandlung
 - Magnesium durch Halbwarmumformung



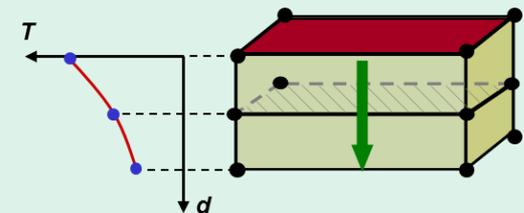
Hohe Vorhersagegüte erfordert detaillierte Abbildung wesentlicher Effekte

- Was sind wesentliche Effekte, die die Genauigkeit bestimmen ?
- Wie werden diese Effekte in der Simulation berücksichtigt ?

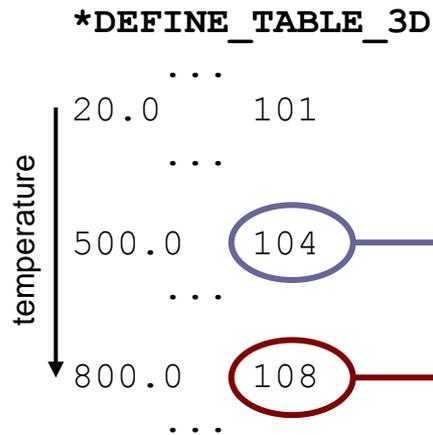


Simulation als Hilfsmittel des Prozessplaners erfordert effiziente Modellansätze

- Einfache Werkzeugmodellierung ohne Genauigkeitsverlust ?
- Numerische Maßnahmen zur Verkürzung der Rechenzeit ?

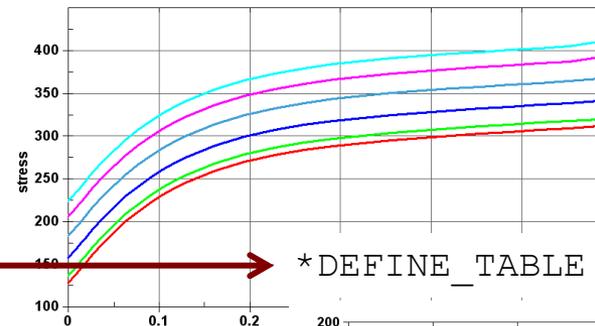


Genaue Umformsimulationen sind nur mit temperaturabhängiger Viskoplastizität möglich.

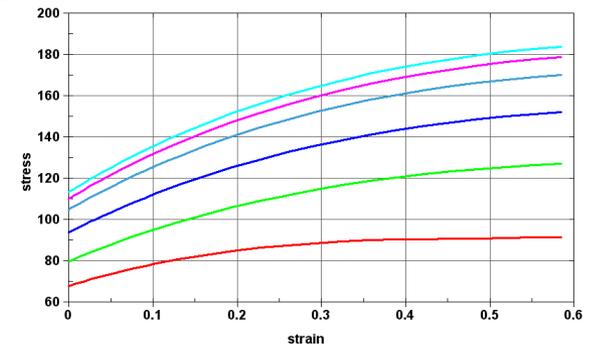


Für jede Temperatur
dehnratenabhängige Fließkurven

*DEFINE_TABLE



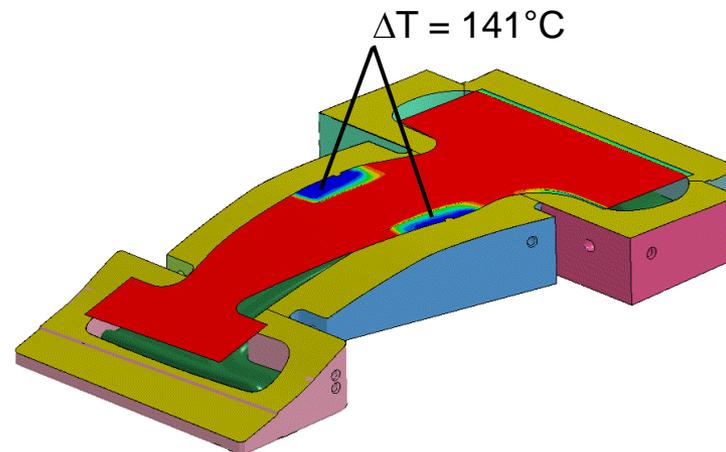
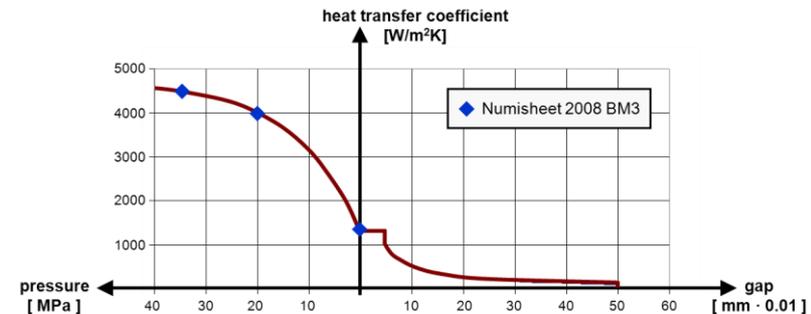
*DEFINE_TABLE



***Alternativ nur quasistatische Kurven & analytisches Modell
Cowper-Symonds Modell für die Viskoplastizität***

Temperaturabhängiges Materialverhalten erfordert eine genaue Berechnung der inhomogenen Platinentemperatur im Werkzeug.

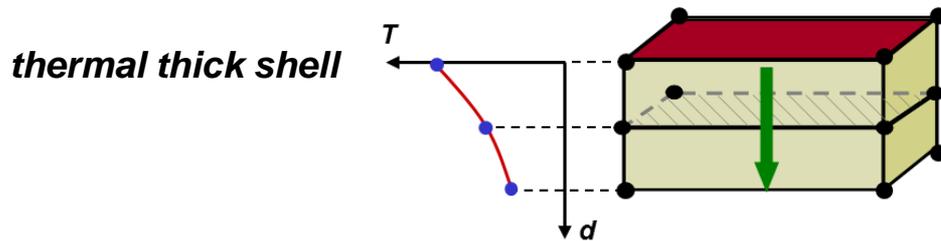
- Wärmeabgabe an die Werkzeuge
 - Kontakt, druckabhängig
 - Spaltwärmeübergang
- Wärmeabgabe an die Umgebung
 - Wärmestrahlung
 - Konvektion



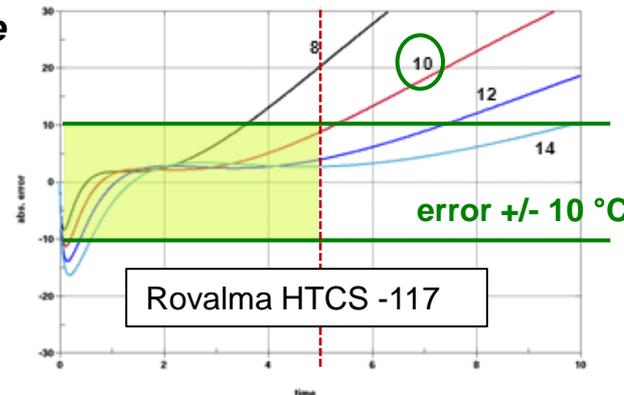
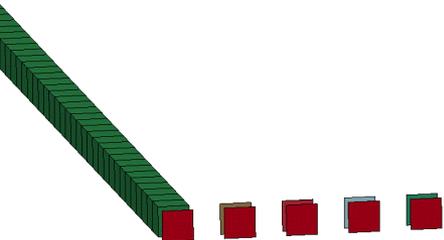
Die Wirkflächentemperatur beeinflusst den Wärmestrom vom Blech ins Werkzeug in den Kontaktzonen.

$$\dot{q}_{cont} = h_{cont} \cdot T_{blank} - T_{tool}$$

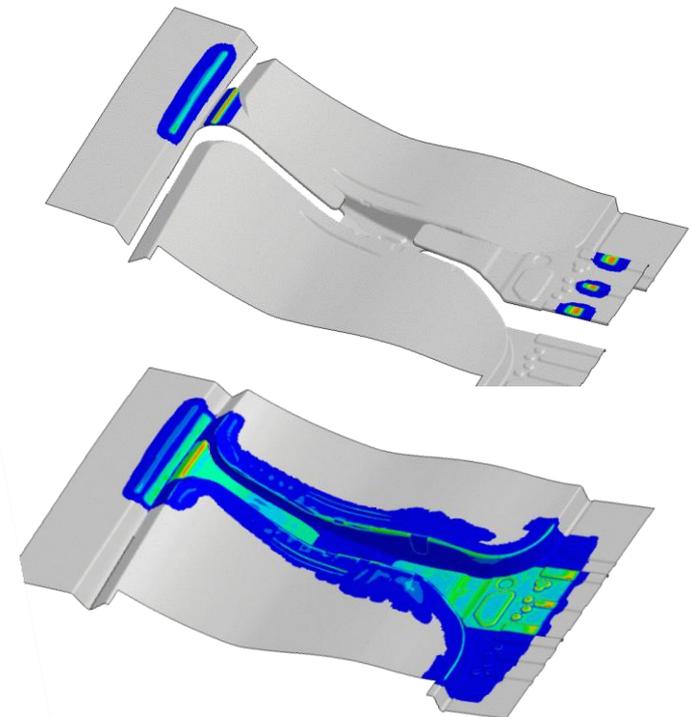
Beispiel Werkzeugtemperatur vor und nach der Umformung



Kalibrierung Schalendicke

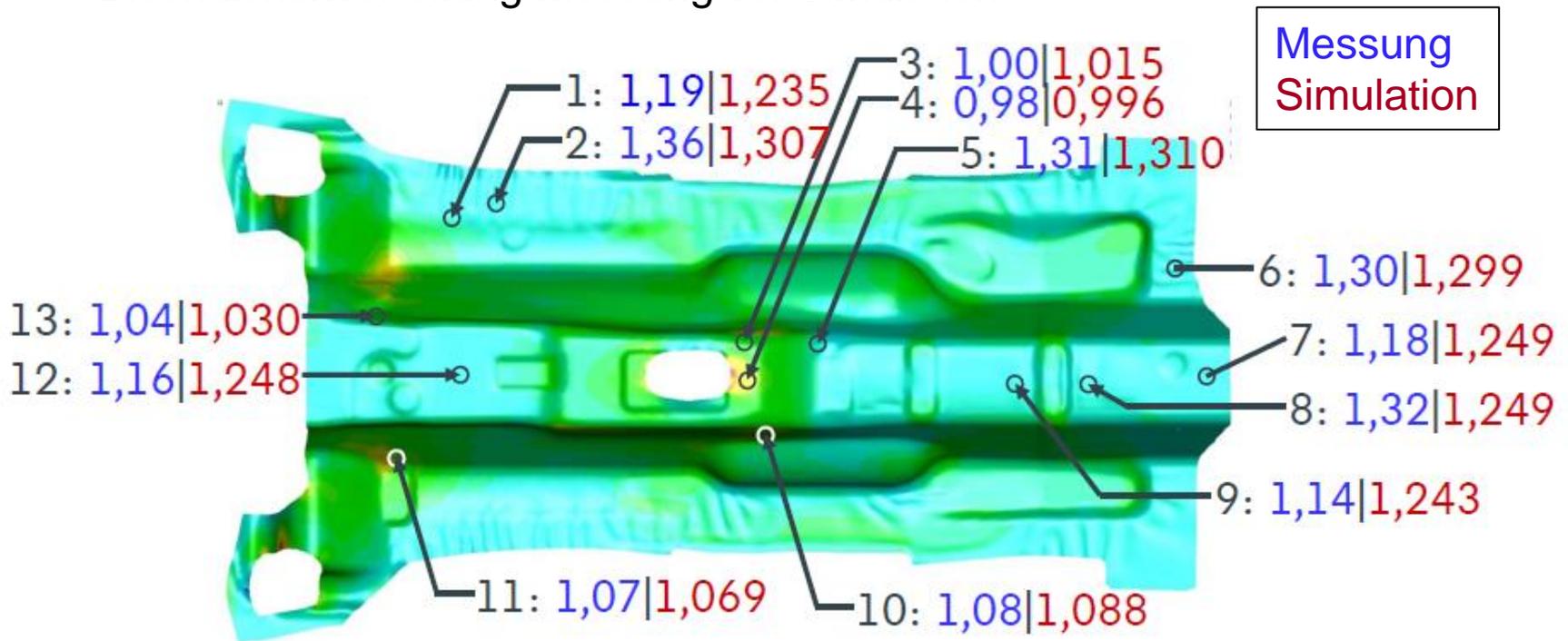


max. contact time ~5s



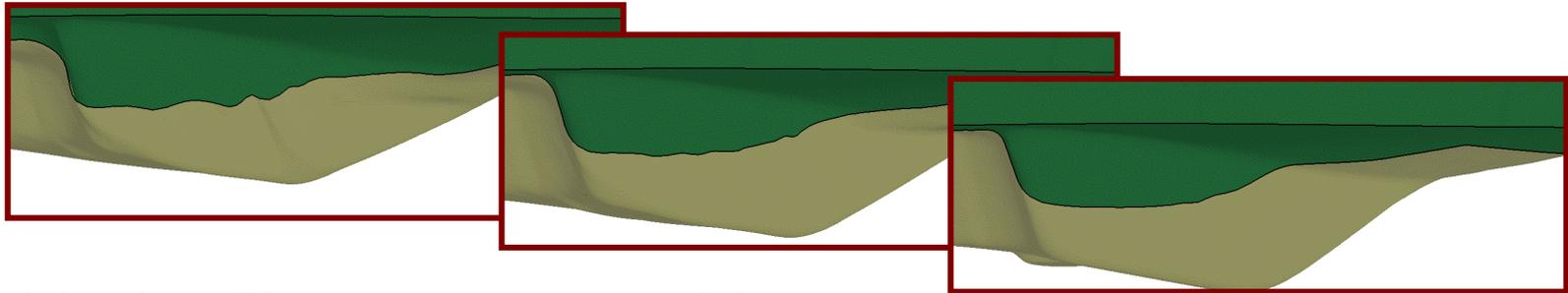
Validierung Prozesssimulation: Tunnel Volkswagen Passat

Blechdickenverteilung Messung vs. Simulation

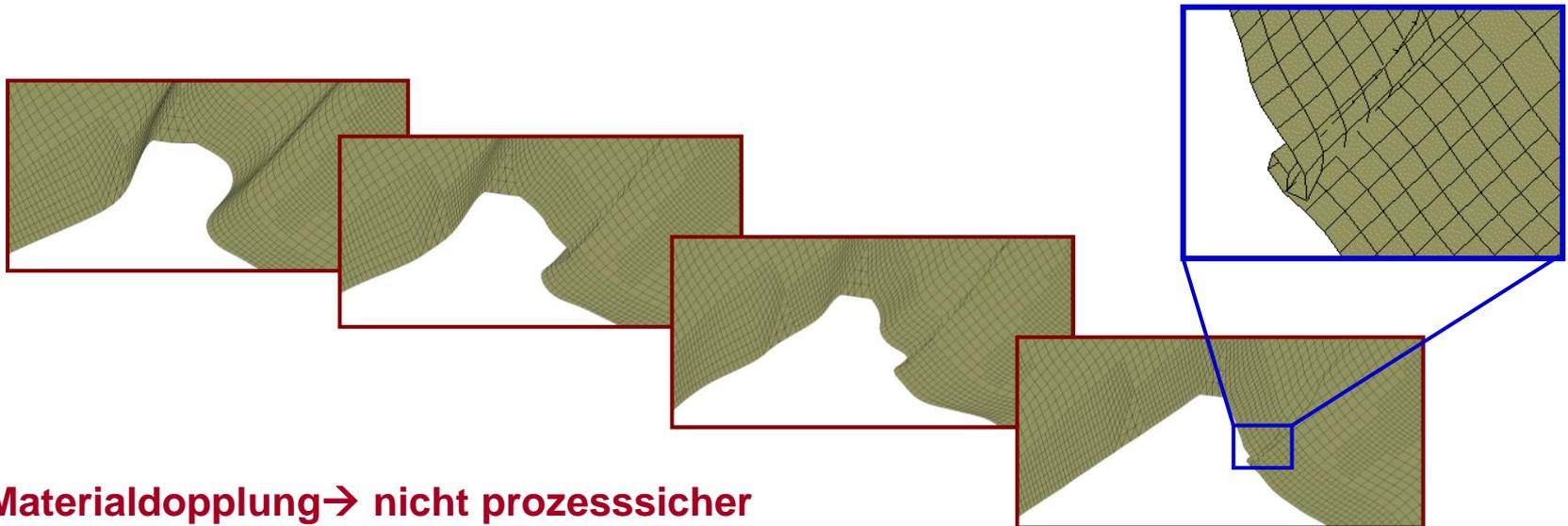


Quelle: Volkswagen AG, H. Verhoeven

Genauere Vorhersage von Bildung und Einebnung von Falten

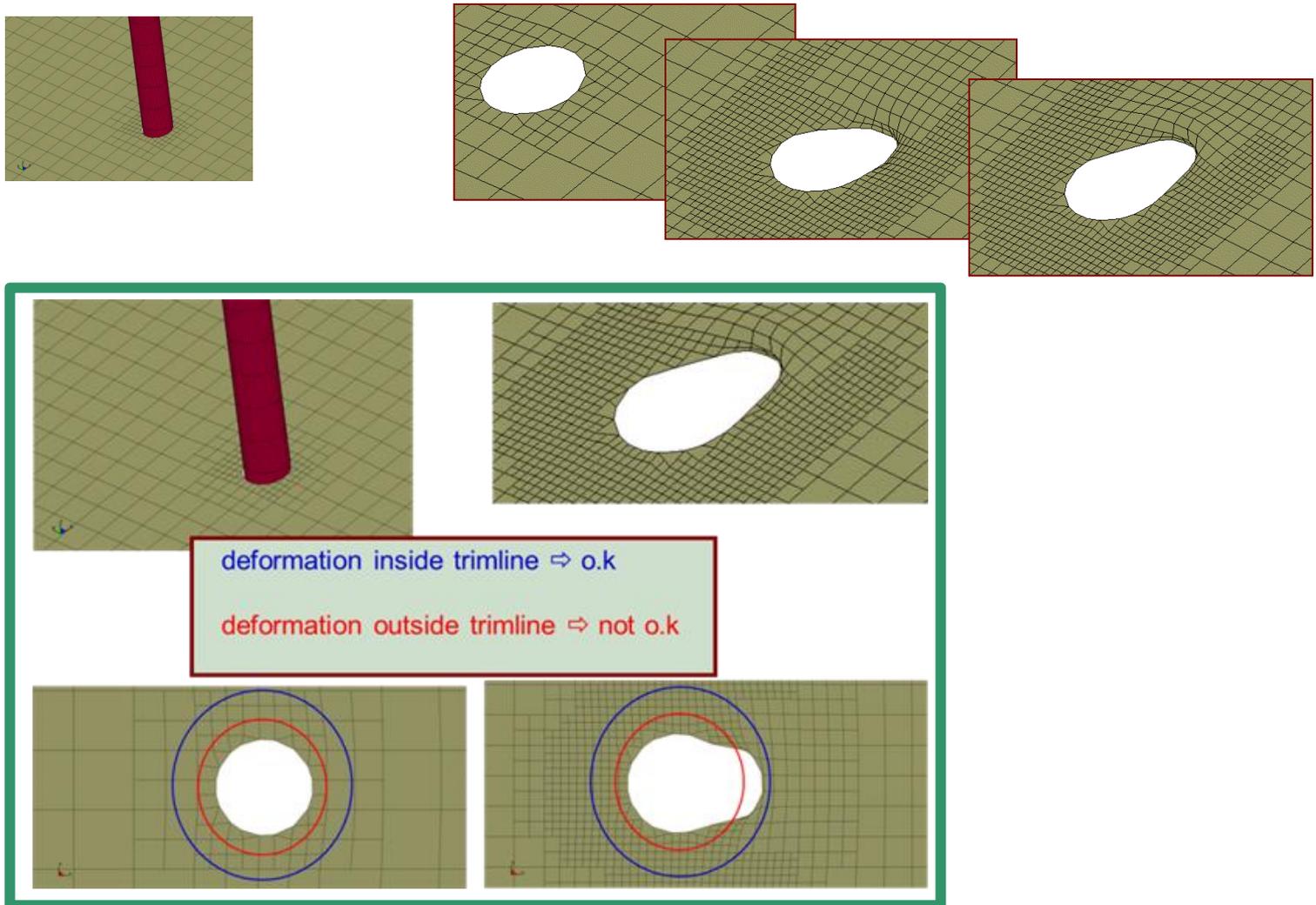


erfolgreiche Einebnung → prozesssicher

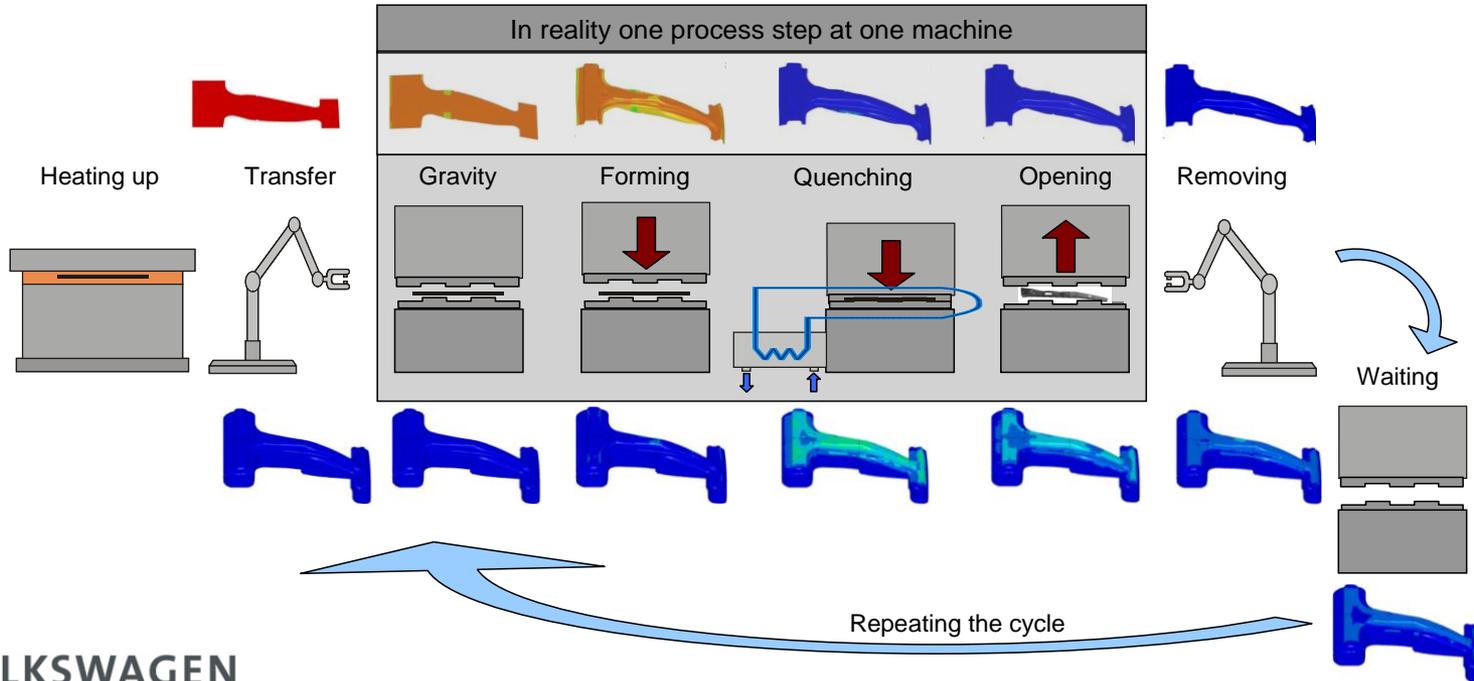


Materialdopplung → nicht prozesssicher

Lokale Deformation im Bereich von Zentrierstiften



Thermische Werkzeugauslegung

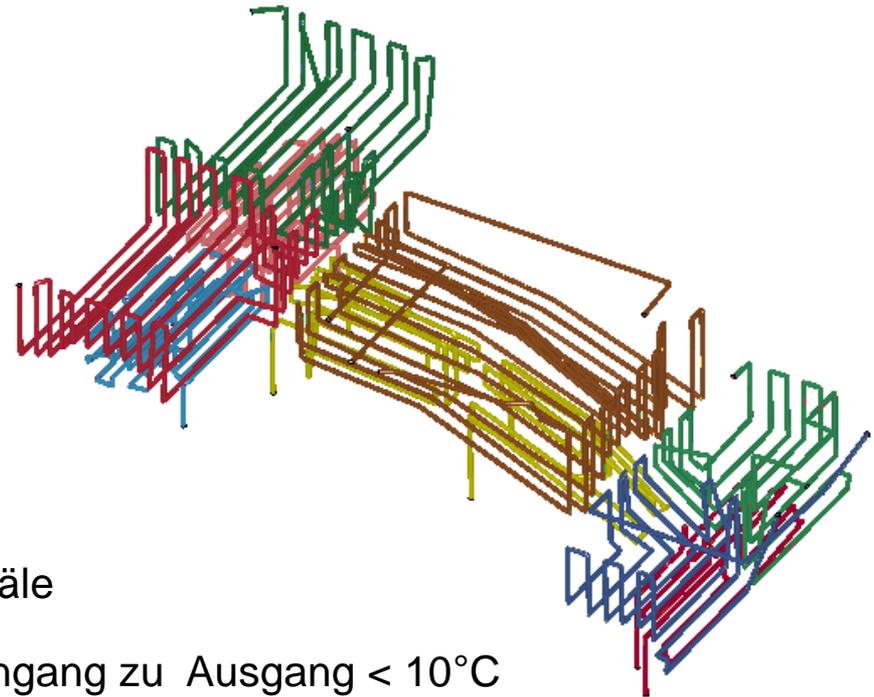
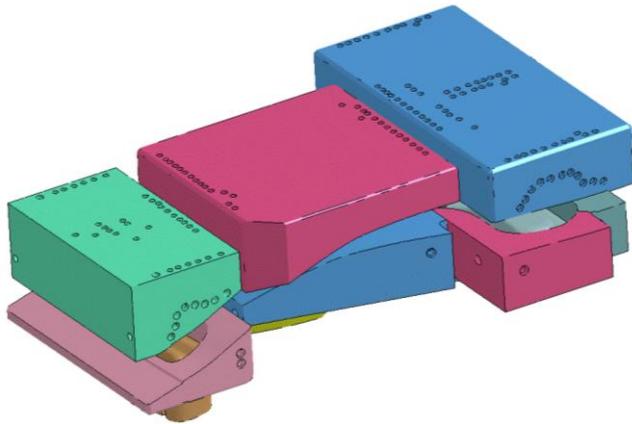


VOLKSWAGEN
AKTIENGESELLSCHAFT

courtesy of M. Medricky
Volkswagen AG



Modellbildung Wasserkühlung



- Hohe Massenströme durch Kühlkanäle
- Änderung der Wassertemperatur Eingang zu Ausgang < 10°C

→ Konvektionsrandbedingung

$$\dot{q} = h_{con} \cdot T_{Wand} - T_{Wasser}$$

Modellbildung Wasserkühlung

- Konvektionsrandbedingung auf den Kanalwänden
- Wärmeübergangskoeffizient mit analytischen Modellen für Rohrströmung

$$h = 0.023 \frac{k}{D} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.3} \quad \text{Dittus-Boelter (conservative)}$$

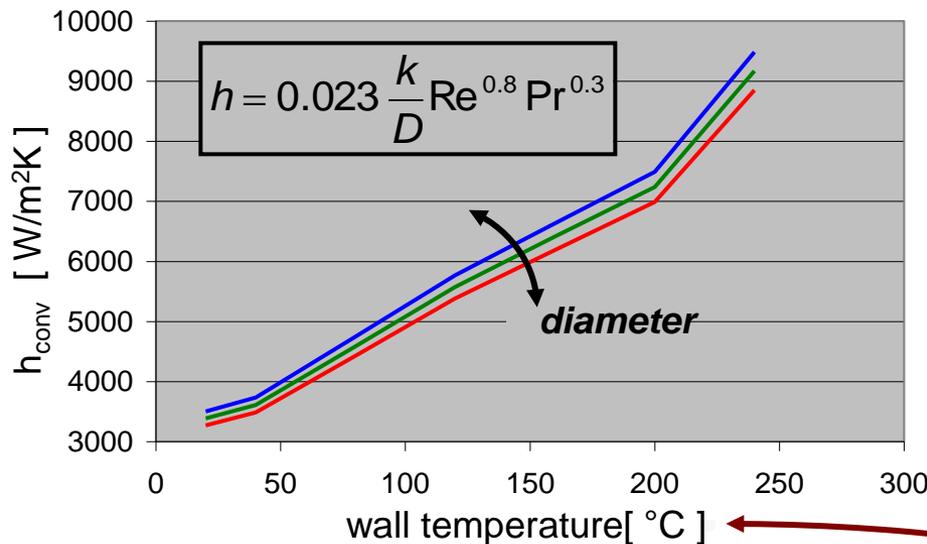
$$h = 0.023 \frac{k}{D} \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.3} \left(\frac{\mu_{bulk}}{\mu_{wall}} \right)^{0.14} \quad \text{Sieder-Tate (temperature correction)}$$

$$h = \left(\frac{k}{D} \right) \left[\frac{0.6 \text{Re}^{-0.5} \text{Pr}^{0.4}}{1 + 12.7 \text{Re}^{-0.5} \text{Pr}^{0.4}} \right] \left[\text{Pr}^{2/3} - 1 \right] \quad \text{Gnielinski (wall friction effect)}$$

- Mittlere Strömungsgeschwindigkeit wird benötigt (Reynolds Zahl Re)
 1. aus Massenstrom per Kühlkanal
 2. Berechnung mit pipe network calculator
 3. Berechnung durch CFD Analyse

Modellbildung Wasserkühlung

Beispiel für Dittus-Boelter Gleichung



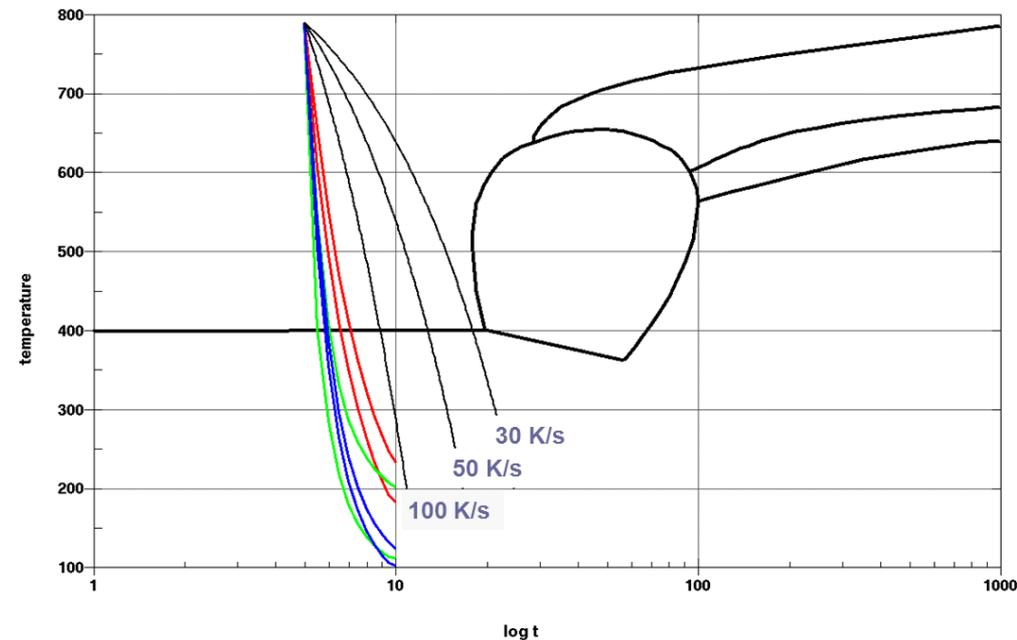
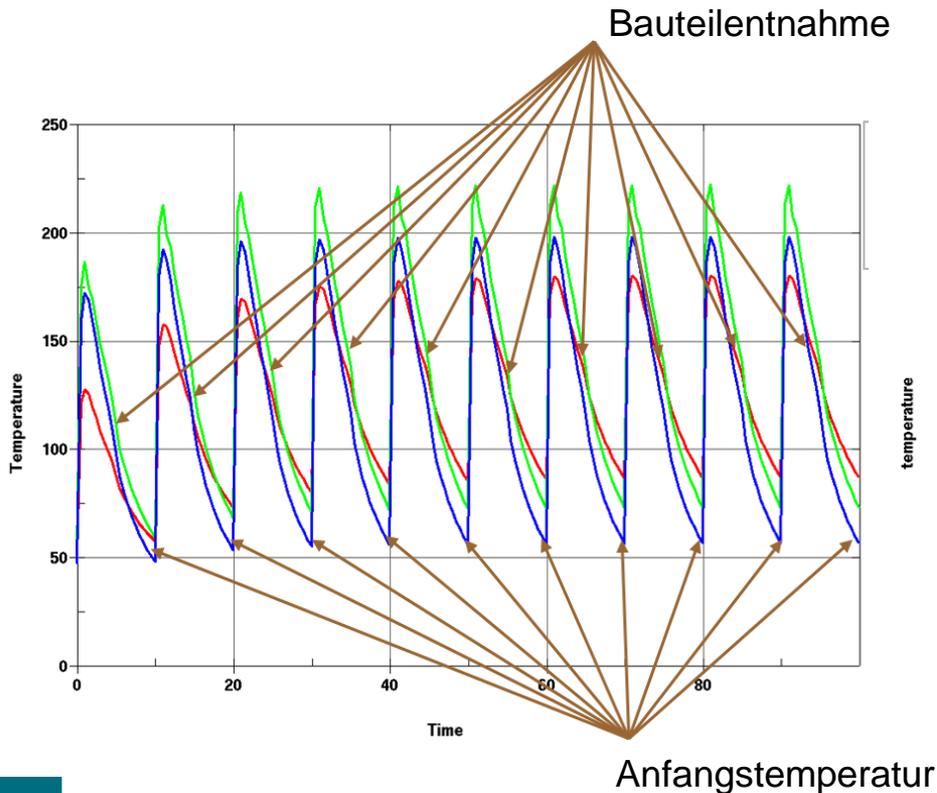
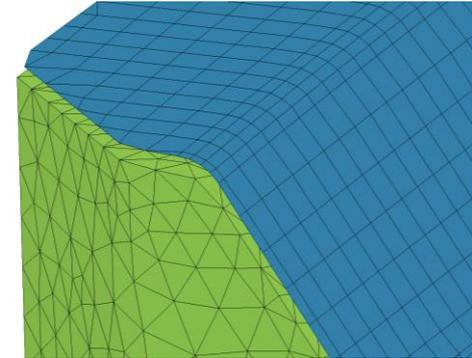
water properties				
T [C]	ρ [kg/m ³]	C_p [J/kg C]	μ [kg/m s]	k [W/m C]
20	998.	4182.	1.002e-03	0.603
40	992.	4179.	0.651e-03	0.632
60	983.	4185.	0.462e-03	0.653
80	972.	4197.	0.350e-03	0.670
100	958.	4216.	0.278e-03	0.681

$$T_{film} = \frac{1}{2} (T_{wall} + T_{water})$$

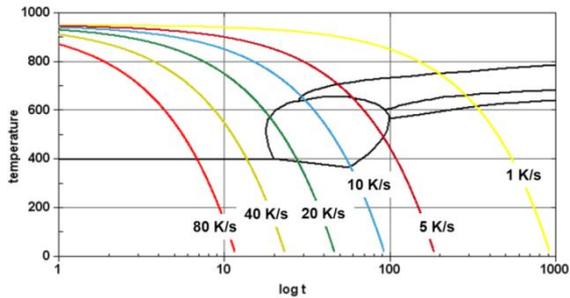
- using *BOUDARY_CONVECTION and giving h as load curve vs. **film temperature**
- increasing wall temperature causes higher cooling effect

Beispiel Werkzeugauslegung A-Säule

- Modellgröße: 284.602 shells, 2.946.238 tet4, 634.193 nodes
- total CPU time ~20 min per stroke @ 1node with 8CPUs

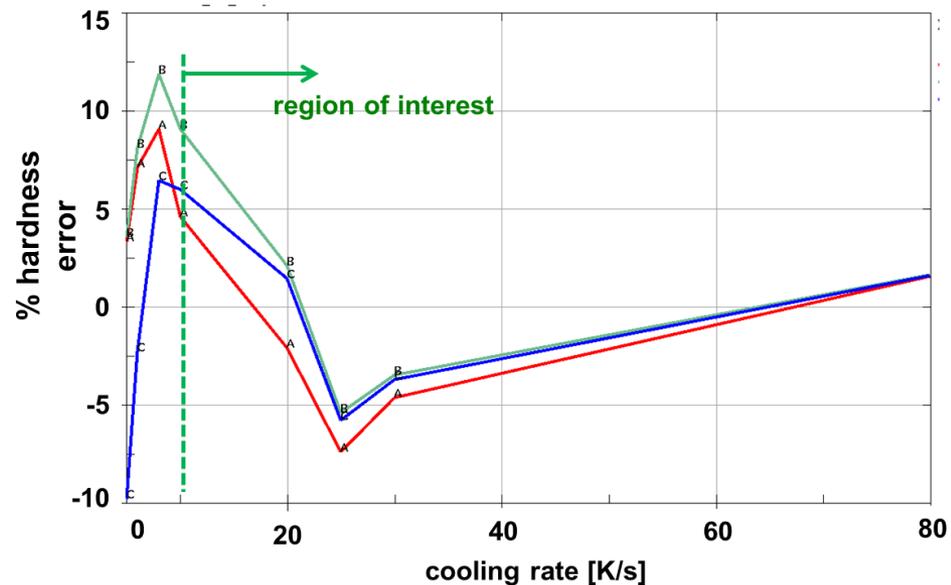


Parameteranpassung MAT_UHS_STEEL (MAT_244)

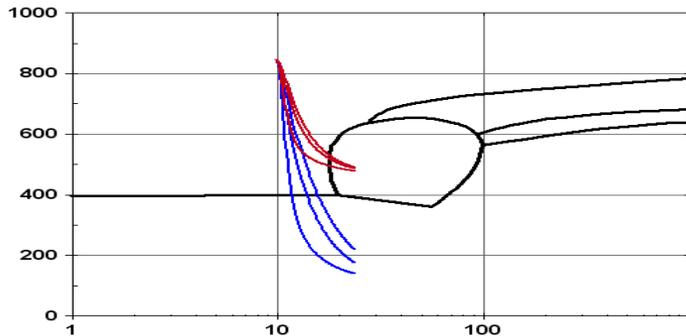
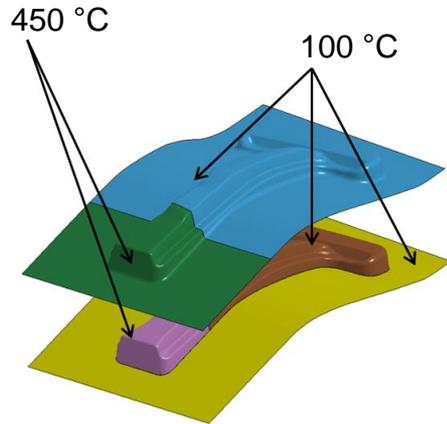


#	QR2	QR3	QR4	KFER	KPER	ALPHA
A	11600	14900	15400	3.0e+5	4340	0.033
B	11600	14900	15600	3.0e+5	4340	0.033
C	11600	14500	15600	2.0e+5	4340	0.033

Relativer Fehler HV₁₀ Modell

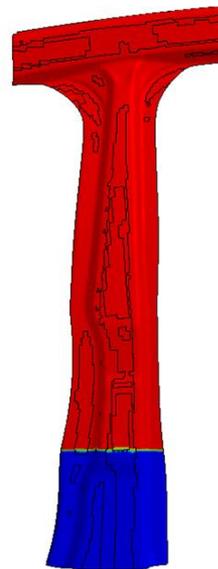


Tailored Tempering einer B-Säule



Gefügestruktur nach 14 s Zuhaltezeit

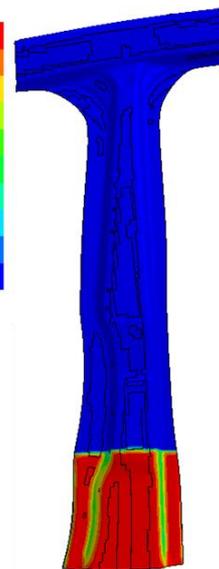
Martensite



Fringe Levels



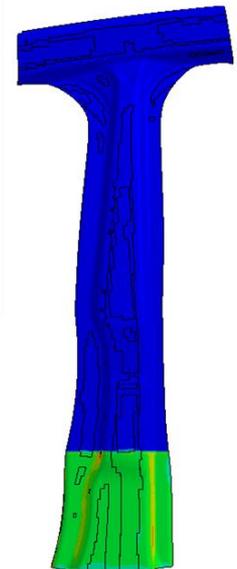
Bainite



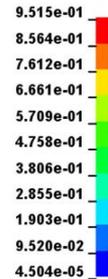
Fringe Levels



Austenite



Fringe Levels



Steigerung des Kaltumformvermögens von Aluminium durch WBH

1-stufige Kaltumformung



2-stufige Kaltumformung mit Zwischenwärmebehandlung

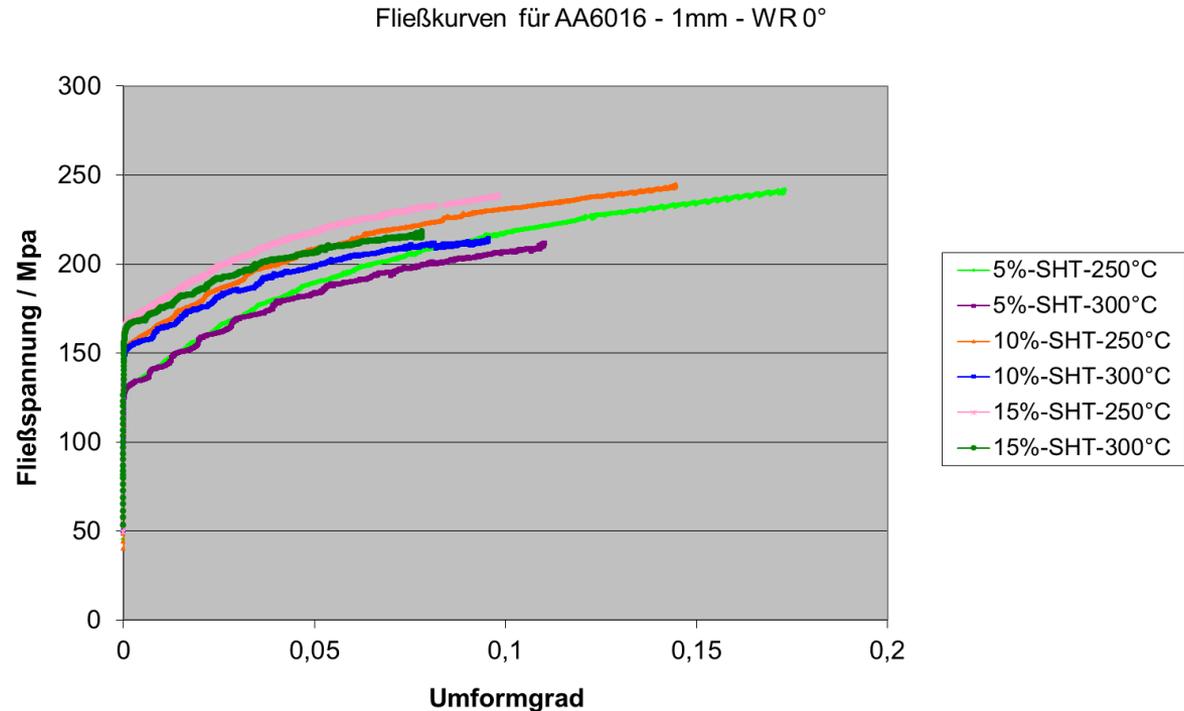


→ induktive WBH an lokalen Zonen

Quelle: Prof. Roll Daimler AG, Automotive Grand Challenges 2011

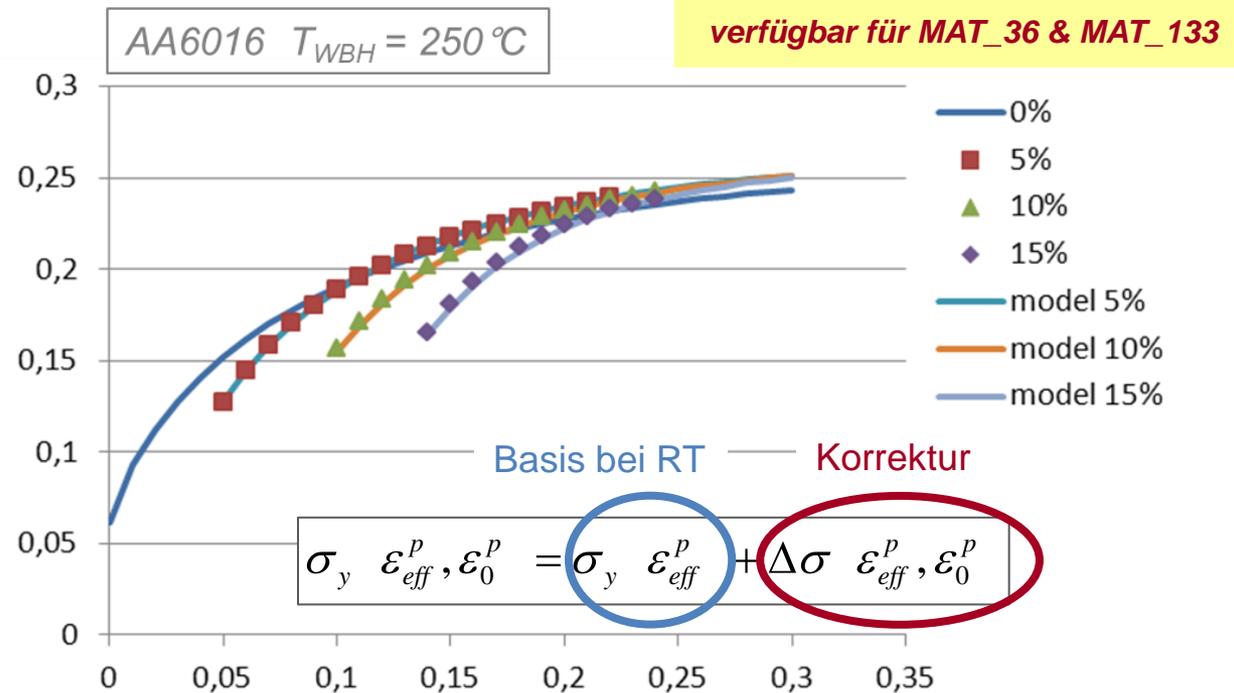
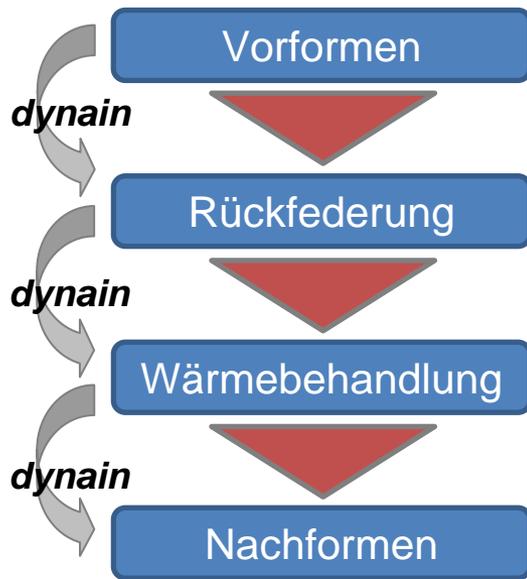
- Gesteigertes Umformvermögen durch Veränderung des Materialverhaltens
- systematische Untersuchung mit Zugversuchen (Vordehnung, WBH-Temperatur)
- ***Integration in bestehendes Materialmodell (MAT_36 MAT_133) ?***

Steigerung des Kaltumformvermögens von Aluminium durch WBH



- Reduktion der Fließspannung durch WBH → Material wird weicher
 - Höhere Steigung der Fließkurven in Vgl. zum Basismaterial → höhere Umformbarkeit
- Fließkurve muss über Vordehnung und WBH-Temperatur parametrisiert werden

Steigerung des Kaltumformvermögens von Aluminium durch WBH



Rückfederungsrechnung

➔ Entlastung, Gleichgewicht, Spannungen sind elastisch

Wärmebehandlung

➔ reale Temperaturverteilung im Bauteil → WBH-Temperatur

$$T_{WBH} = \max\{T(t)\}$$

Bestimmung des Korrekturterms $\Delta\sigma$ → speichern in **dynain**

Halbwarmumformung von Magnesium

- Anisotropie (r-Werte) abhängig von Temperatur
- Temperaturabhängige Fließkurven
- Viskoplastizität
→ bis auf Anisotropie analog Presshärten

Benchmark 2 Numisheet 2011

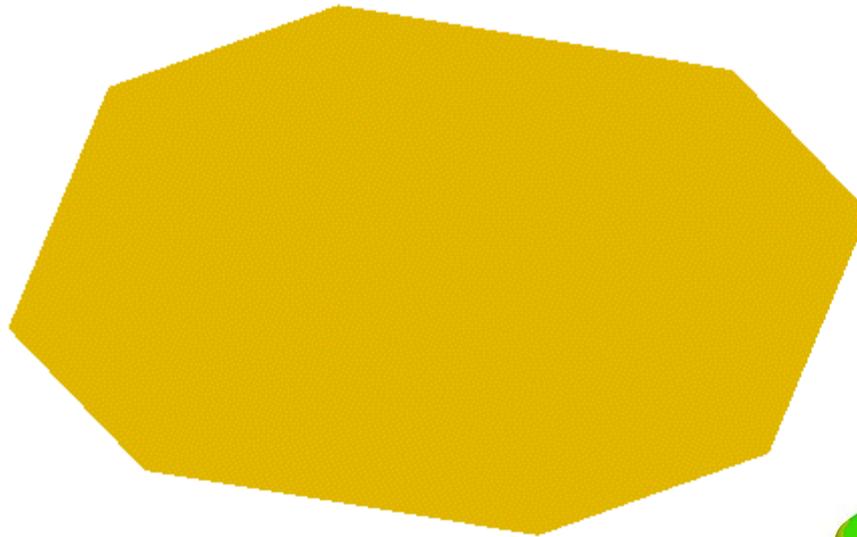


AZ31B (Magnesium alloy sheet)

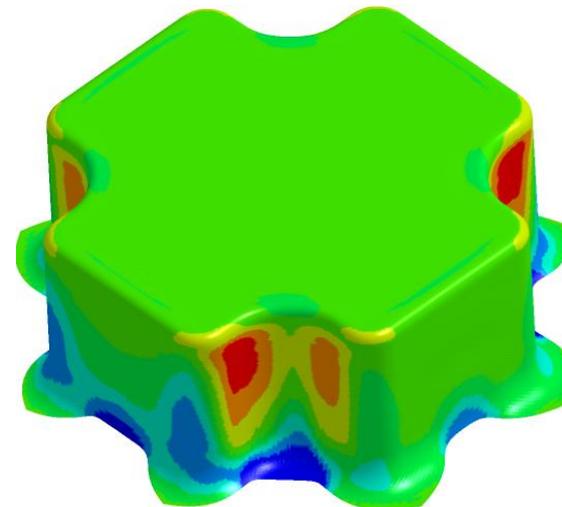
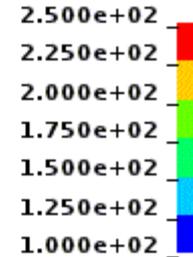
Table 1 Uniaxial tension test: R-value data

Test direction	Strain rate : 0.016 /s					
	Temperature [°C]					
	RT	100	150	200	250	300
0°	1.347	2.006	1.291	1.621	1.344	1.374
45°	2.793	2.412	1.976	2.118	1.532	1.477
90°	4.109	4.406	3.189	2.672	1.799	1.881
Mean	2.760	2.809	2.108	2.132	1.552	1.552

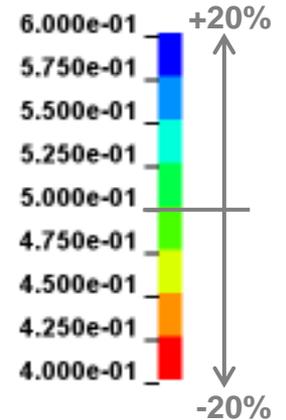
Halbwarmumformung von Magnesium



Temperatur



Blechdicke



- **Kontinuierliche Verbesserung der Prognosegüte für tailored tempering**
- **Erweiterung MAT_UHS_STEEL für Aufheizphase (Kornwachstum, Schweißen)**
- **Gefügeabhängige Versagensmodelle für Crashlastfälle (GISSMO)**
- **CFD-Analyse gekoppelt mit Struktur und Temperaturberechnung**
- **Validierung Wärmebehandlung Aluminium für mehrstufige Prozesse (Rollfalzen)**