

DAIMLER

LS-DYNA UPDATE FORUM 2011

Thermische Auslegung von Umformwerkzeugen für das partielle
Presshärten zur Einstellung maßgeschneiderter
Bauteileigenschaften

Filderstadt, 13. Oktober 2011

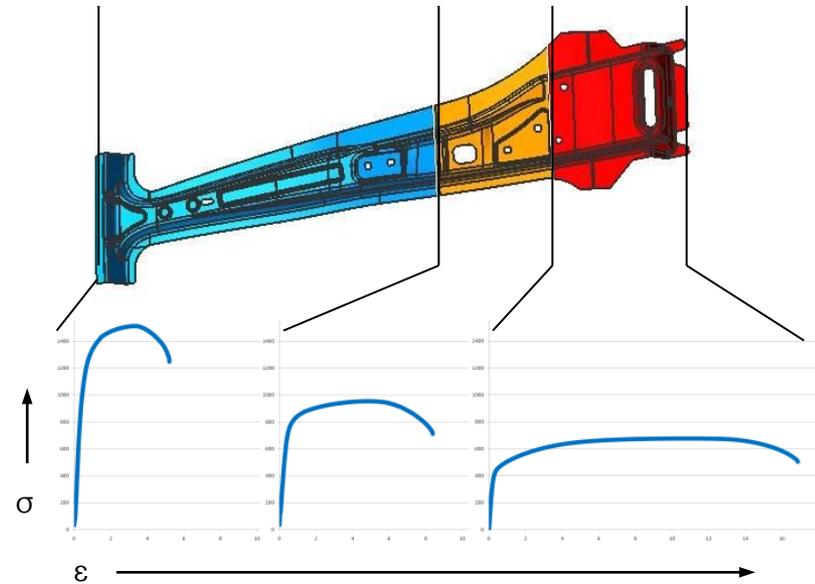
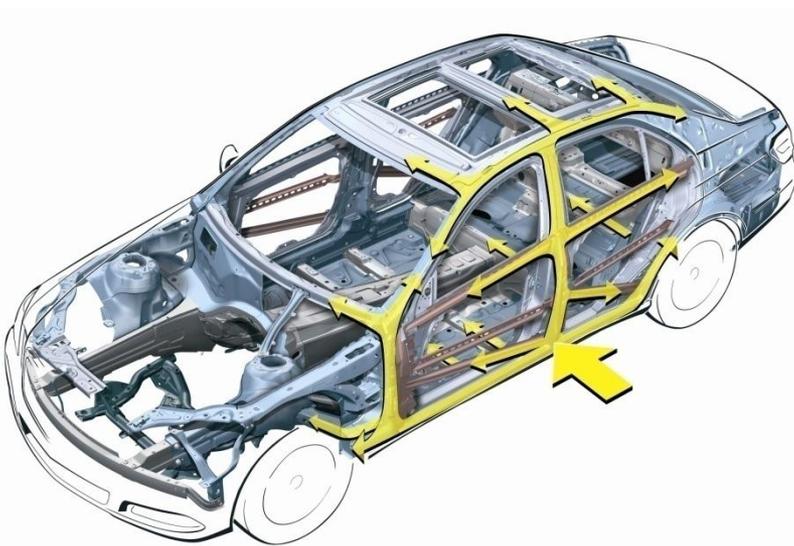
P. Feuser, T. Schweiker, A. Scherm / Abteilung Umformtechnik und Rapid Tooling / Daimler AG
D. Lorenz / Dynamore GmbH

Agenda

- [A] Partielles Presshärten von Karosseriekomponenten
- [B] Simulationsumfeld für die Bauteilherstellung
- [C] Thermische Werkzeugauslegung
 - Parameterermittlung
 - Validierung
- [D] Zusammenfassung

Partielles Presshärten von Karosseriekomponenten

Motivation: Anforderungsgerechte Einstellung von Werkstoffeigenschaften



Anforderungen:

- Stabilität der Fahrgastzelle
- Kraftübertragung und -leitung
- gezielte plastische Deformation
- Energieaufnahme

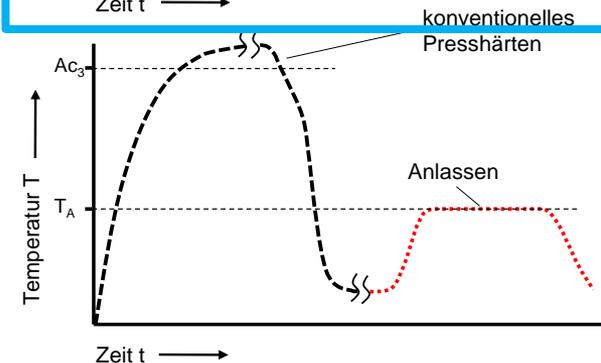
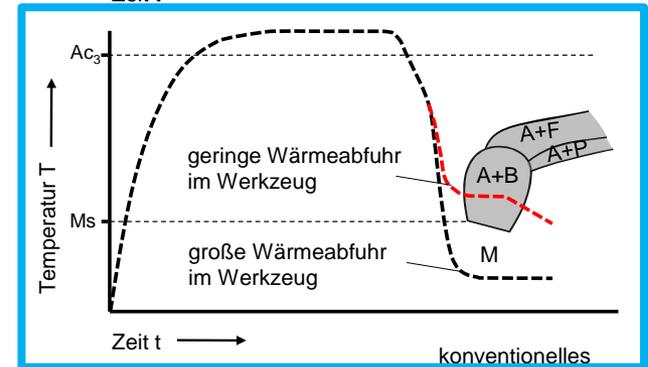
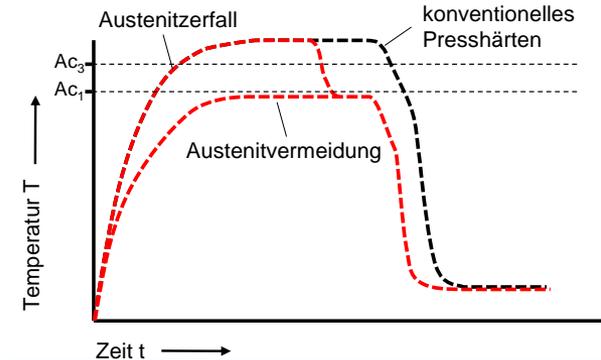
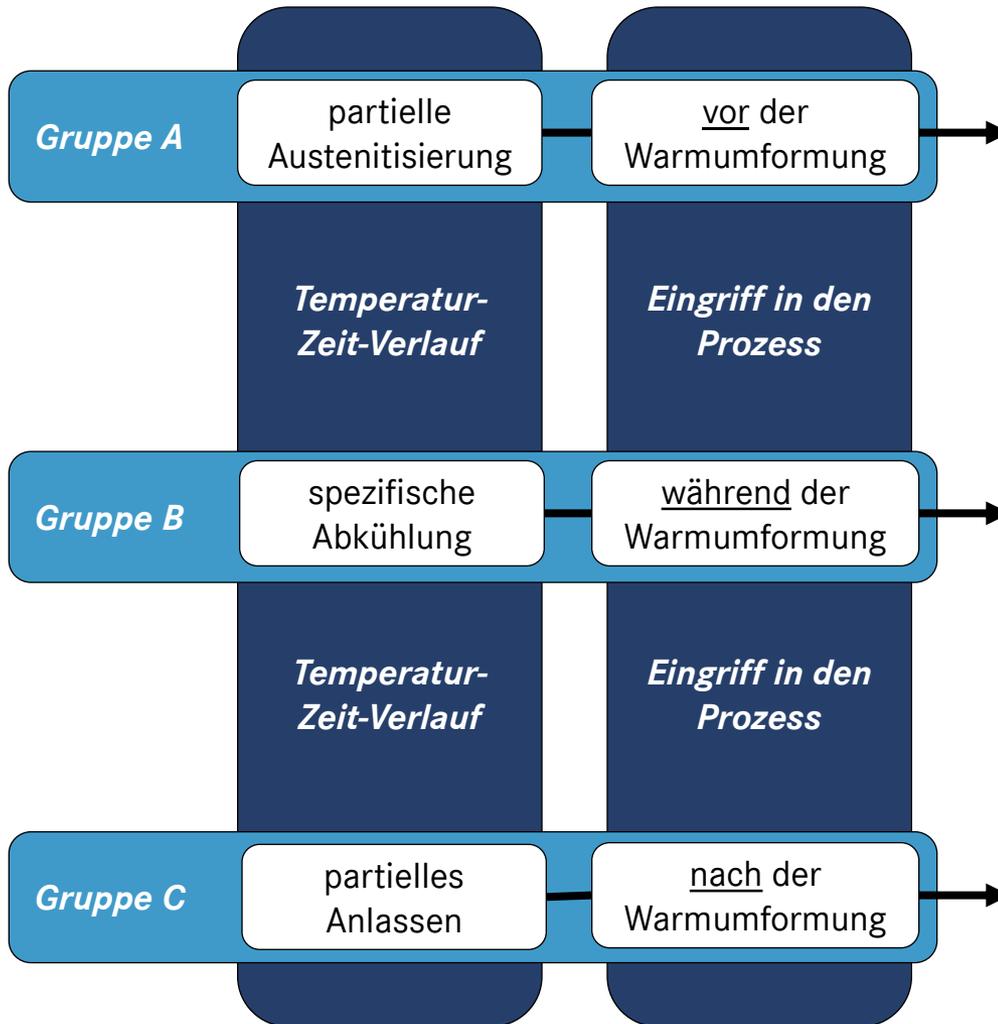
Beispielhafte Werkstoffeigenschaften

- $R_m = 650 \text{ MPa}$, $A_{30} \geq 15 \%$
- $R_m = 750 \text{ MPa}$, $A_{30} \geq 12 \%$
- $R_m = 850 \text{ MPa}$, $A_{30} \geq 9 \%$
- $R_m = 1200 \text{ MPa}$, $A_{30} \geq 7 \%$

→ Partielles Presshärten

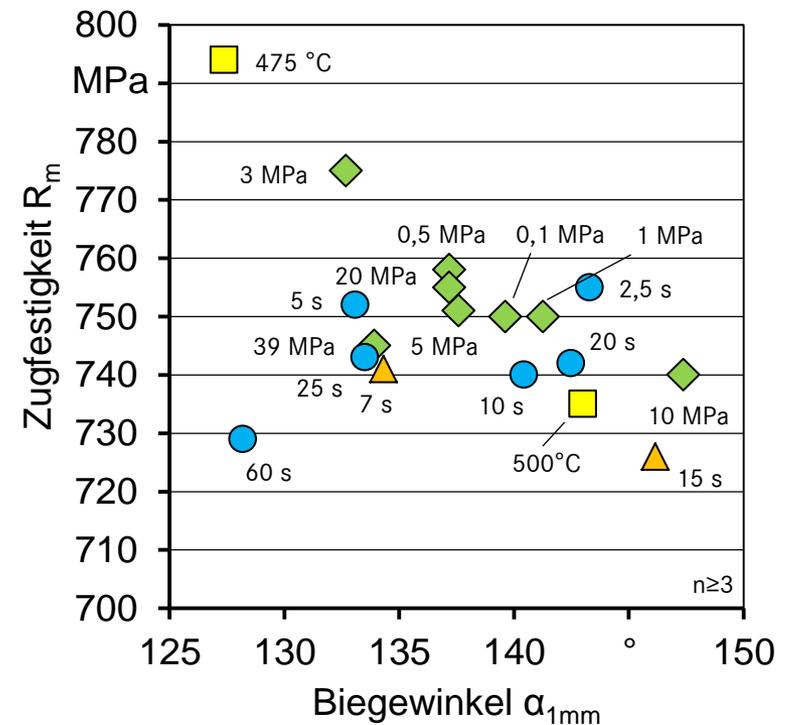
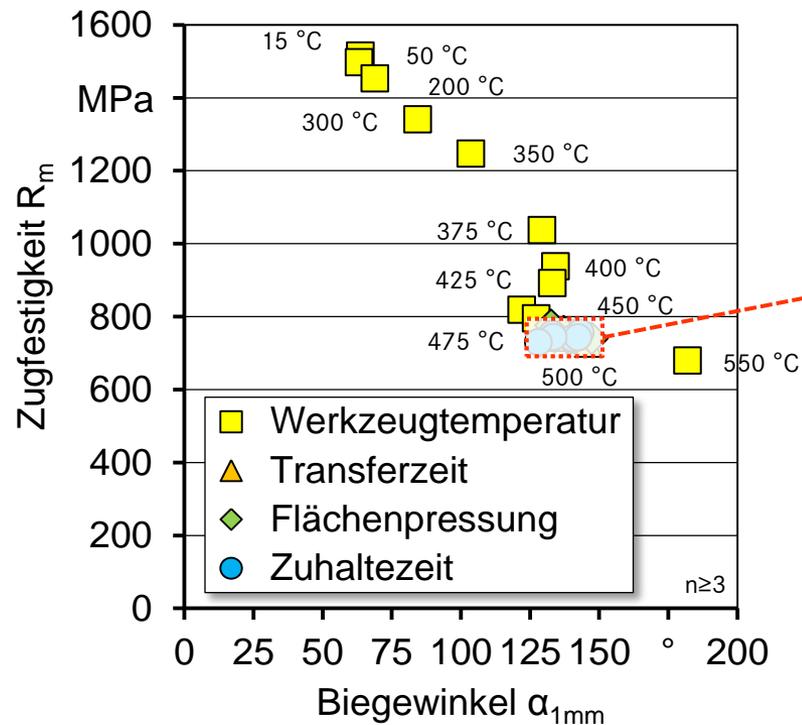
Partielles Presshärten von Karosseriekomponenten

Ansätze für das partielle Presshärten



Partielles Presshärten von Karosseriekomponenten

Prozessfenster beim partiellen Presshärten mittels Werkzeugtemperierung



- Haupteinflussparameter: Werkzeugtemperatur

Simulationsumfeld für die Bauteilherstellung

Simulation als Hilfsmittel beim partiellen Presshärten

Thermische Werkzeugauslegung

Auslegung der
Temperierung

Aufheizverhalten
des Werkzeugs

Wärmeverteilung an
der Wirkfläche

Thermomechanische Umformsimulation

Temperaturabhän-
gige Werkstoff-
eigenschaften

Berechnung von
Ausdünnung

Bewertung der
geometrischen
Herstellbarkeit

Metallurgische Kopplung der Umformsimulation

Temperaturabhän-
gige Phasen-
transformation

Berechnung von
Werkstoffeigen-
schaften

Umsetzbarkeit der
werkstofftechnischen
Anforderungen

Thermische Werkzeugauslegung

Verwendung von LS-Dyna und benötigte Eingabewerte

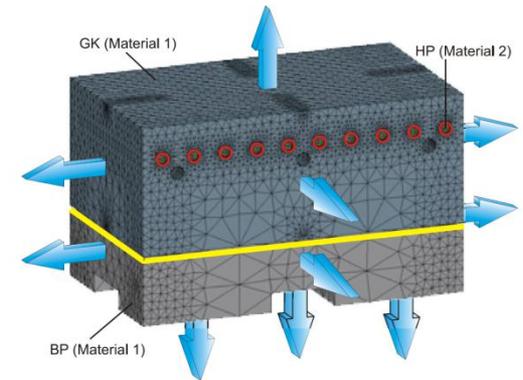
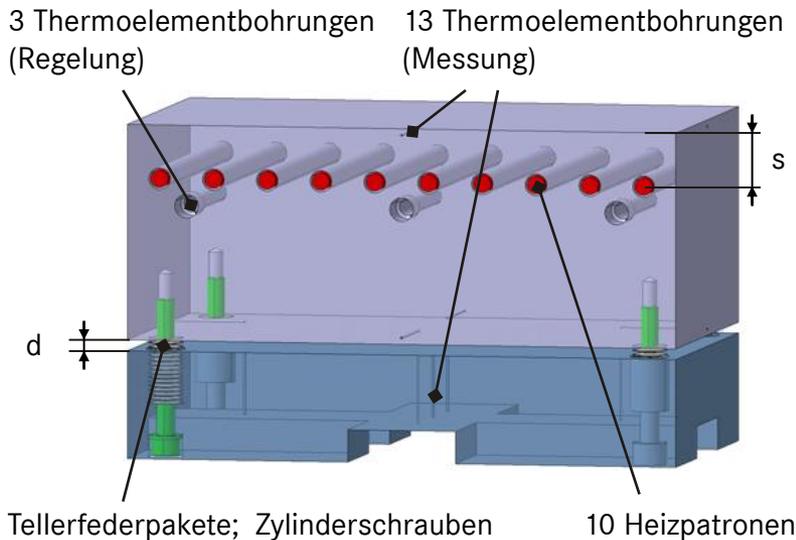
- Materialmodelle:
 - 020-RIGID
 - T06-THERMAL_ISOTROPIC
- Vernetzung:
 - Lineare Tetraeder-Elemente
- Kontakt:
 - AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE (THERMAL)
- Wärmequelle:
 - LOAD_HEAT_GENERATION mit LC für Stellgrad
- Wärmeverluste:
 - BOUNDARY_CONVECTION
 - BOUNDARY_RADIATION
- Solver:
 - 971_d_R5.1_64536

<i>Solverparameter</i>	<i>Thermophysikalische Werkstoffdaten</i>	<i>Prozessabhängige Parameter</i>
initialer thermischer Zeitschritt	Dichte: 7,8E-6 kg/mm ³	Heizleistung
minimaler thermischer Zeitschritt		Leistungsregelung
maximaler thermischer Zeitschritt	spez. Wärmekapazität als f(T): 461 – 578 J/kgK (DIN SEW 310)	Wärmeübergangskoeffizient Heizpatrone - Werkzeug; Wärmeaustausch zwischen Werkzeugmodulen
maximale Temperaturänderung pro Zeitschritt	Wärmeleitfähigkeit als f(T): 41,7E-6 – 43,4E-6 kW/mmK (DIN SEW 310)	Wärmeverluste an die Umgebung durch Emission und Konvektion
Berechnungszeit, Plotintervall		

Thermische Werkzeugauslegung

Vorgehen zur Parameterermittlung

Allgemein



	Wärmeverluste an die Umgebung
	Kontaktwärmeübergang HP - GK
	Wärmeübergang am Luftspalt GK - BP

d = variabel [0 mm bis 10 mm]

s = 15 mm, 25 mm, 35 mm

Werkstoff: 1.1730

Leistung HP: 10 x 500 W

Durchmesser HP: 10 mm

Grundkörper: 150 x 255 x 100 mm

Bodenplatte: 150 x 255 x 50 mm

Untersuchungen:

- Ermittlung des Emissionsgrads und des konvektiven Wärmeübergangs
- Einfluss der Luftspaltdicke auf HTC
- Einfluss der Heizpatronenanordnung auf Temperaturverteilung

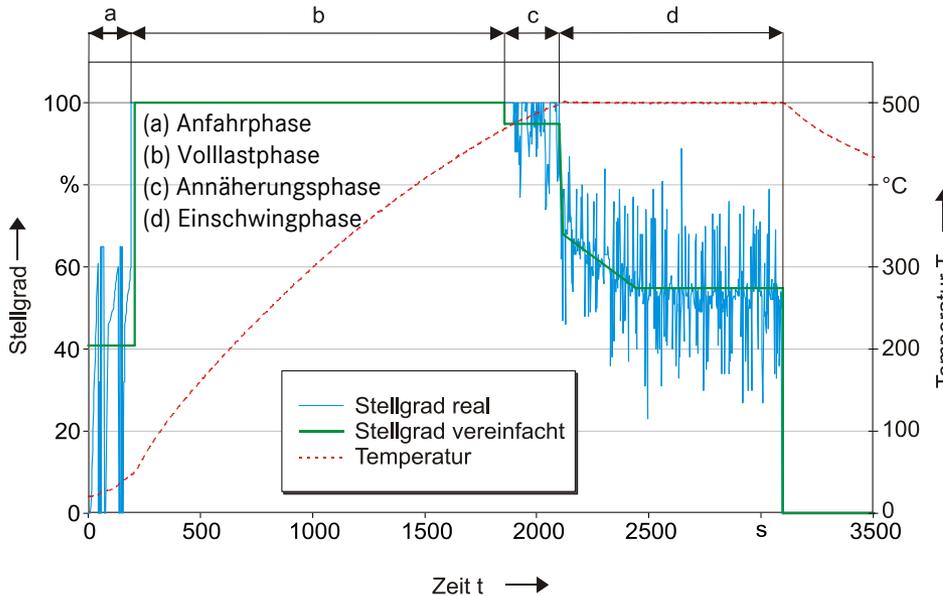
- Regelverhalten des Heizgerätes
- Untersuchung der Anordnung der Regelmessstelle

Thermische Werkzeugauslegung

Vorgehen zur Parameterermittlung

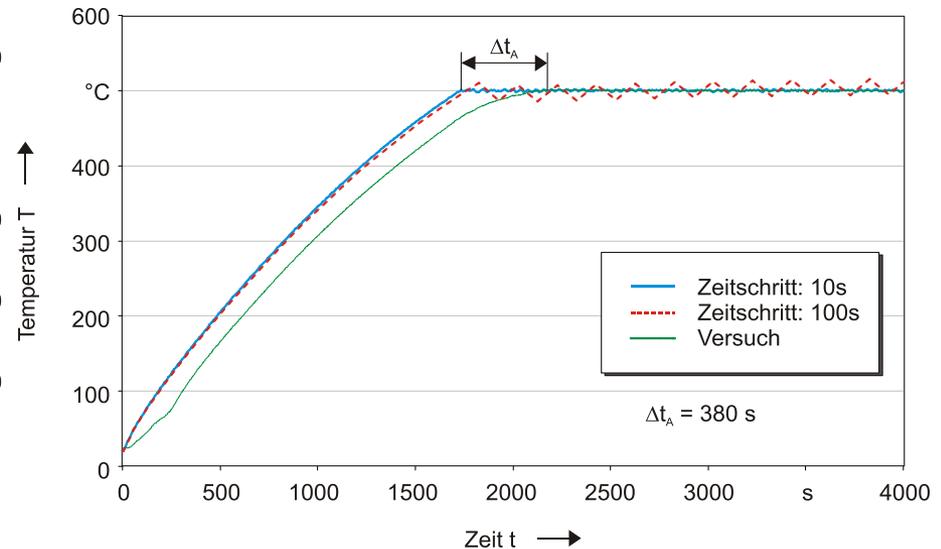
Leistung und Leistungsregelung

Zur Kalibrierung des Modells: Gemessen



- LOAD_HEAT_GENERATION mit LC für Stellgrad
- SET_SOLID für beheizte Körper
- Leistung der Heizpatronen pro Volumen

Zur Werkzeugauslegung: Thermostatregler



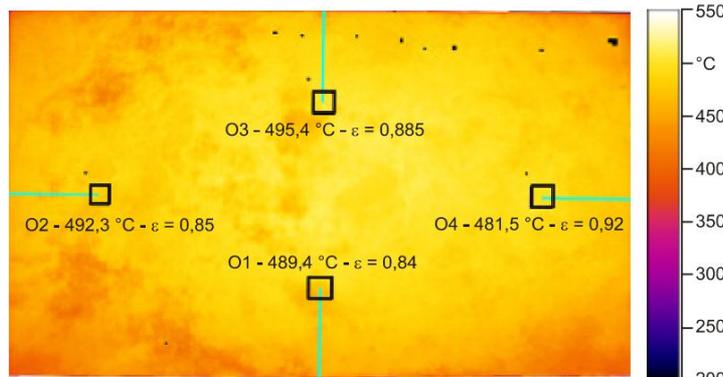
- LOAD_HEAT_CONTROLLER
- Definition NODE ID + Zieltemperatur + PID für beheizte Körper
- Leistung der Heizpatronen pro Volumen

Thermische Werkzeugauslegung

Vorgehen zur Parameterermittlung

Emission und Wärmeübergang

Emissionskoeffizient ϵ
(thermografische Ermittlung)



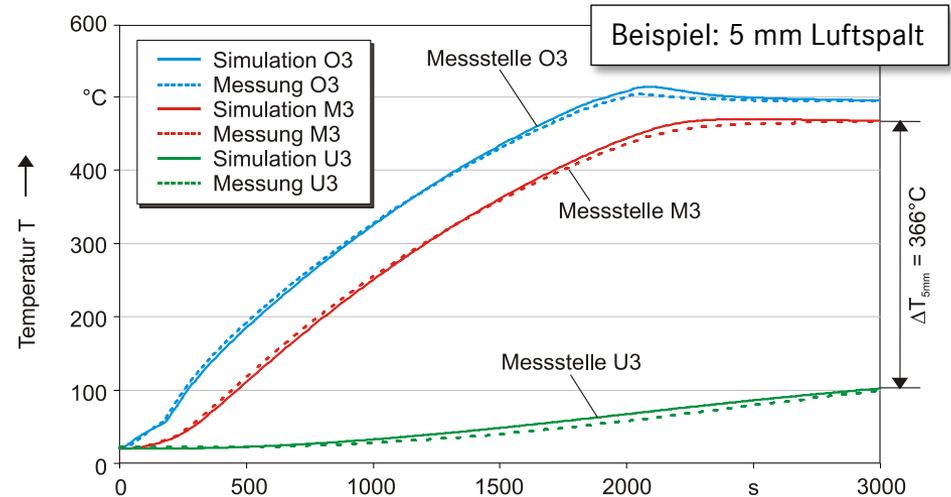
Starke Abhängigkeit von Anlassfarben

- metallisch glänzend $\epsilon = 0,25$
- einmaliges Aufheizen auf 500 °C $\epsilon = 0,62$
- 7-maliges Aufheizen auf 500 °C $\epsilon = 0,87$
- schwarz lackiert $\epsilon = 0,93$

konvektiver Wärmeübergangskoeffizient
 $\alpha_K = 1,3E-8 \text{ kW/mm}^2\text{K} = \text{konstant}$



Wärmeübergangskoeffizient α zwischen
Modulen (Kalibrierung mittels Messwerten)



Starke Abhängigkeit vom Luftspalt d

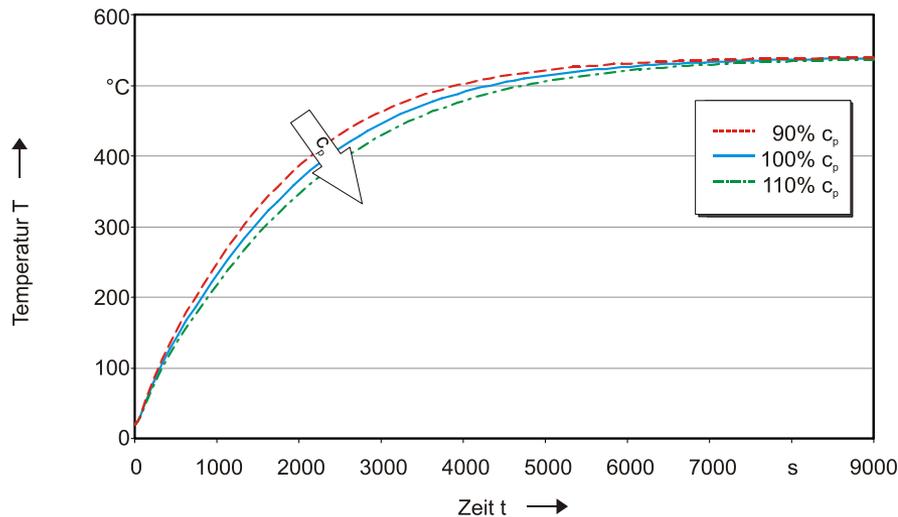
- 0 mm $\alpha = 3,0E-7 \text{ kW/mm}^2\text{K}$
- 1 mm $\alpha = 4,9E-8 \text{ kW/mm}^2\text{K}$
- 5 mm $\alpha = 1,9E-8 \text{ kW/mm}^2\text{K}$
- 10 mm $\alpha = 1,1E-8 \text{ kW/mm}^2\text{K}$

Thermische Werkzeugauslegung

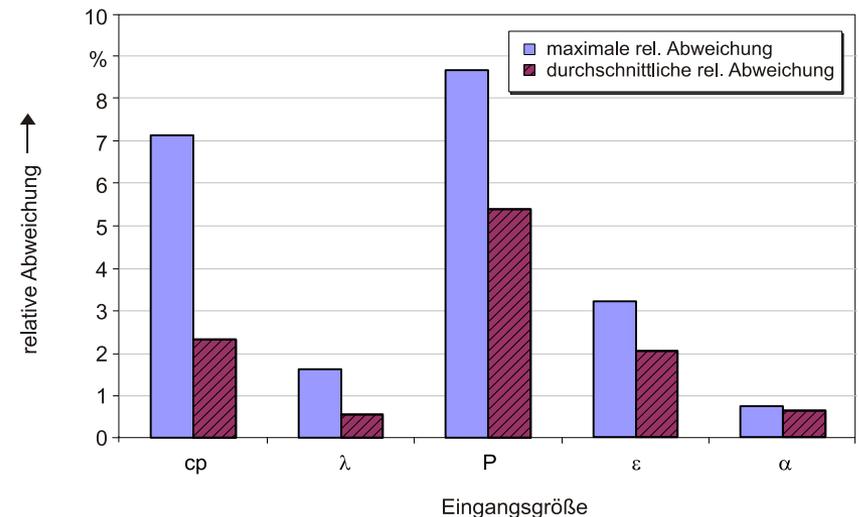
Vorgehen zur Parameterermittlung

Sensibilitätsanalyse

Parametervariation im Bereich ± 10 Prozent am Beispiel der spez. Wärmekapazität c_p



Ergebnis für relevante Simulationsparameter

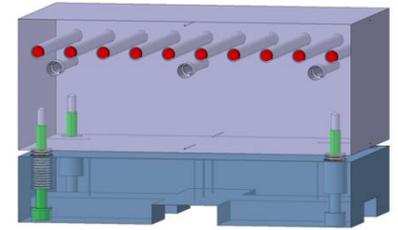
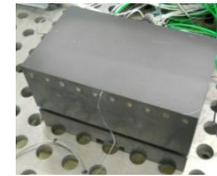
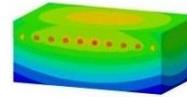


Bewertung

- Fehler kleiner 2 % bei Variation der Wärmeleitfähigkeit λ und des konvektiven Wärmeübergangs α
- Fehler größer 2 % bei Variation der spez. Wärmekapazität c_p , des Emissionskoeffizienten ϵ und der Leistung P
- größter Fehler durch Ungenauigkeiten in Bezug auf die Leistung

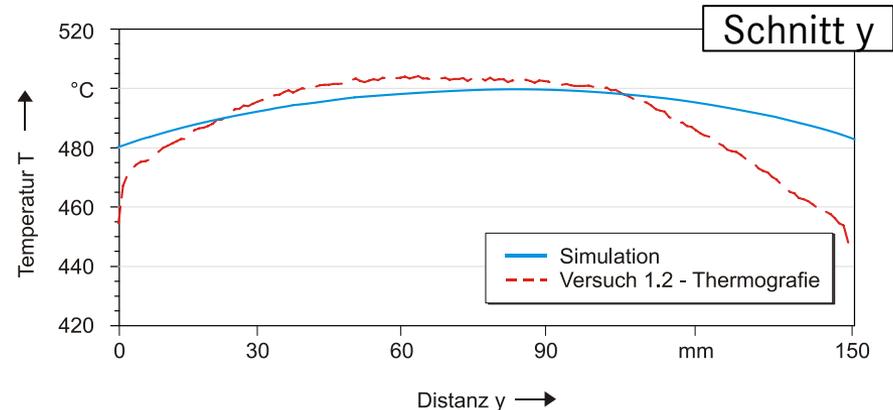
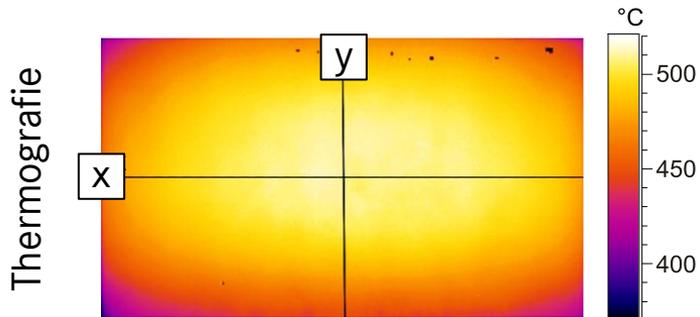
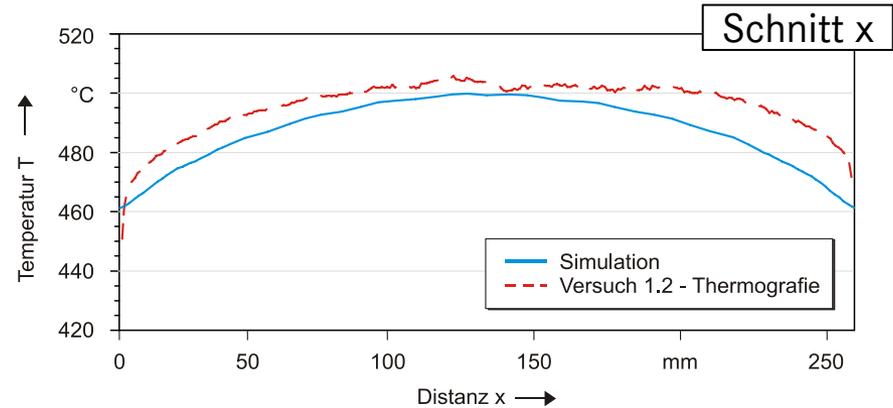
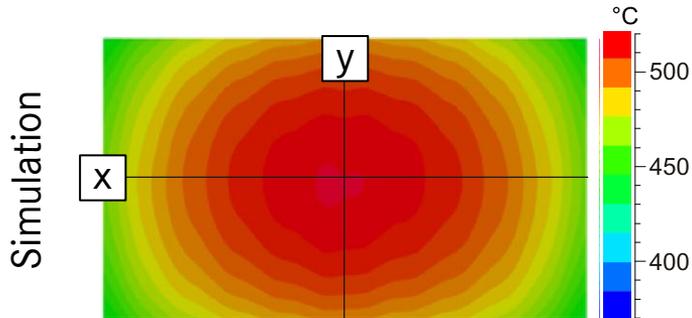
Thermische Werkzeugauslegung

Validierung der Simulation



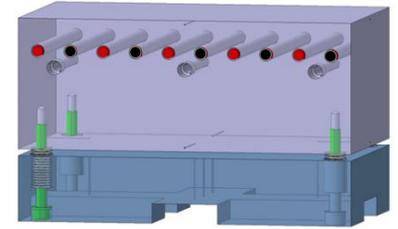
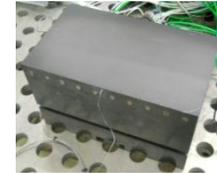
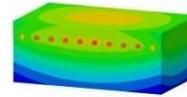
Versuche mit dem ebenen Versuchswerkzeug

Temperaturverteilung



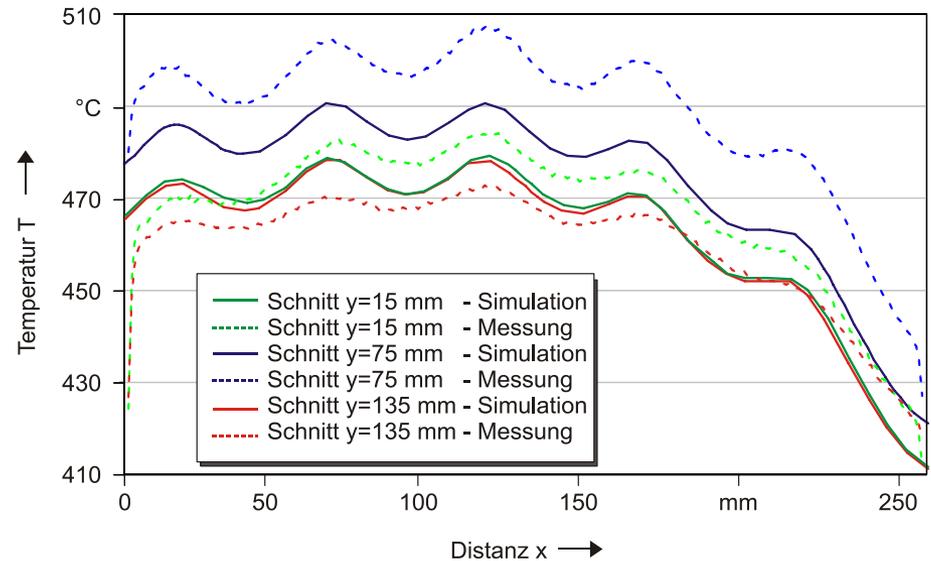
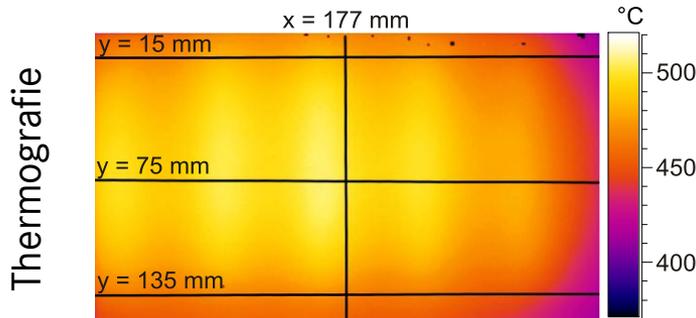
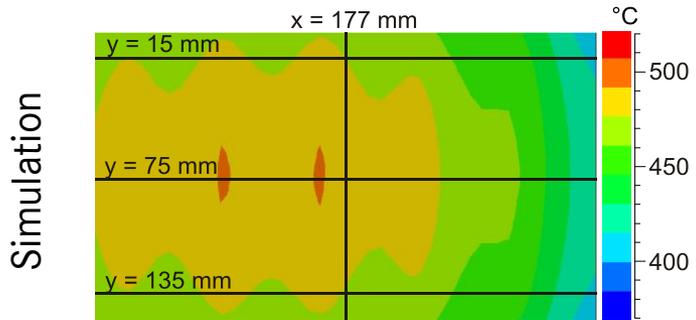
Thermische Werkzeugauslegung

Validierung der Simulation



Versuche mit dem ebenen Versuchswerkzeug

Temperaturverteilung mit fünf aktiven Heizpatronen



Bewertung

- qualitativ sehr gute Übereinstimmung
- maximale Abweichung: 18 °C

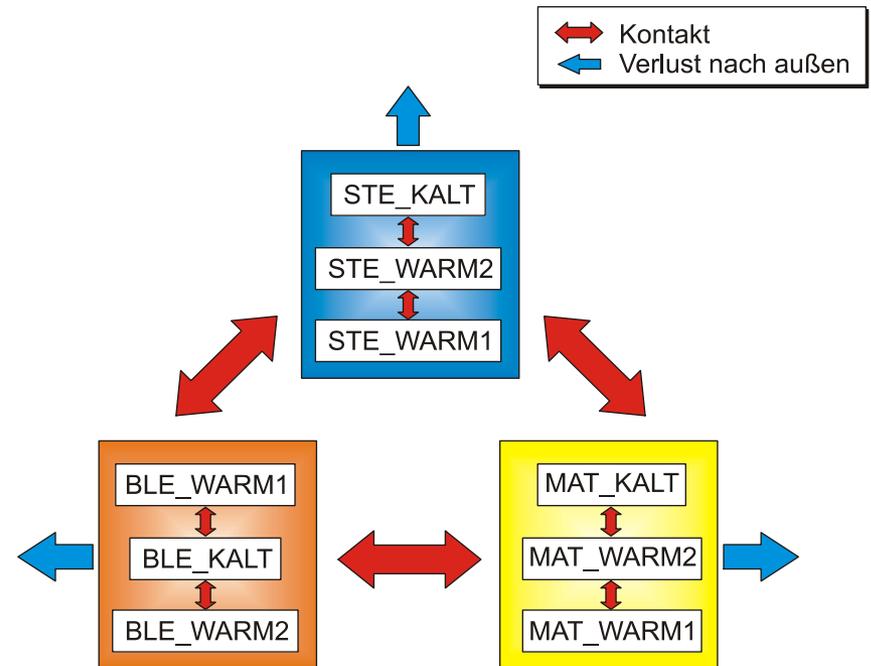
Thermische Werkzeugauslegung

Validierung der Simulation

Versuche mit einem realen temperierten Presshärtezeug

Geometrie

Aufbau des Modells

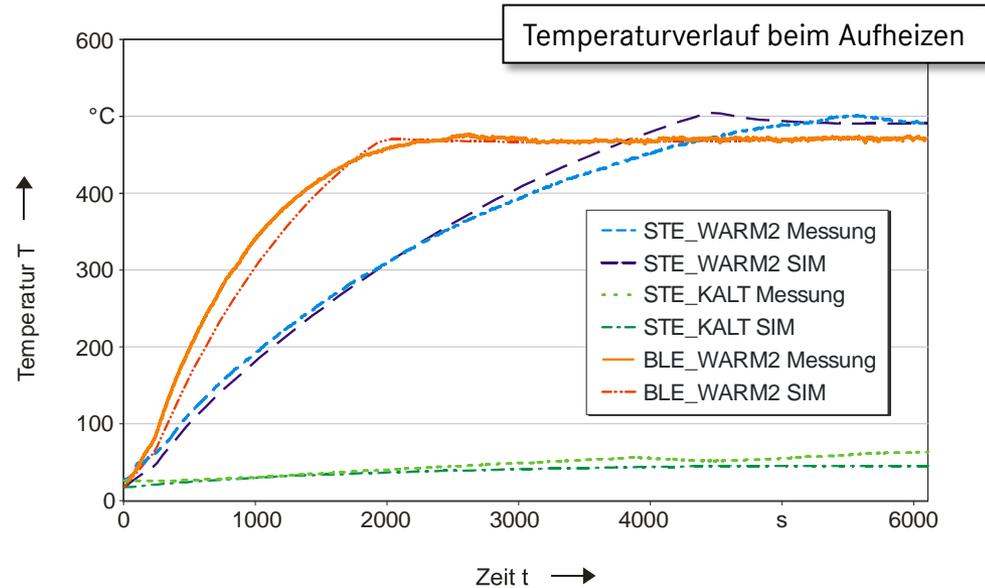
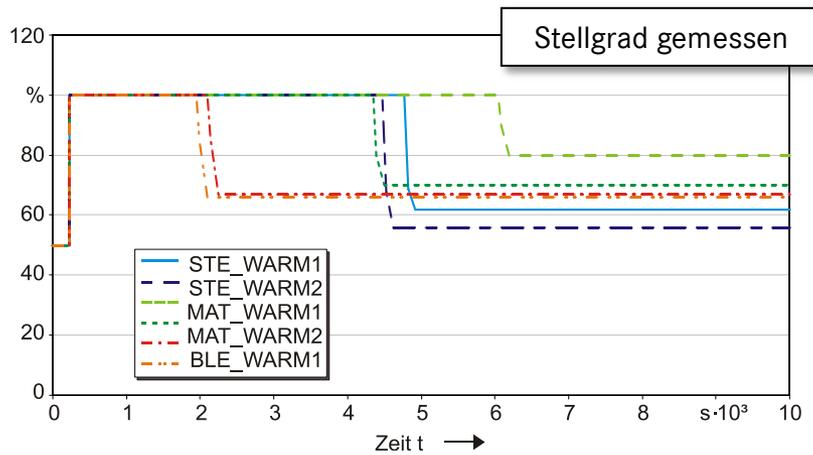


Thermische Werkzeugauslegung

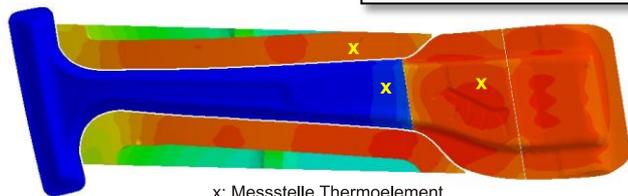
Validierung der Simulation

Versuche mit einem realen temperierten Presshärtezeug

Aufheizzeit am Beispiel Stempel



Temperaturmessstellen



x: Messstelle Thermoelement

Bewertung

- ermittelte Parameter führen zu guter Übereinstimmung zwischen Simulation und Messung (Aufheizzeiten und Absoluttemperatur)

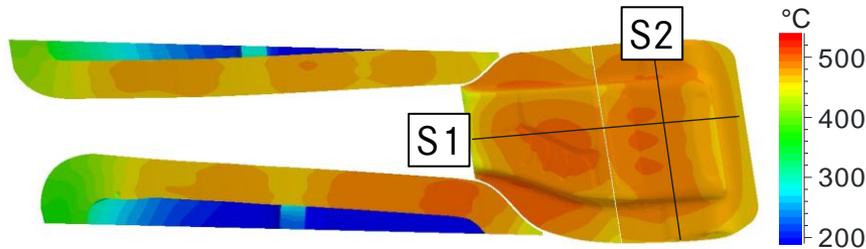
Thermische Werkzeugauslegung

Validierung der Simulation

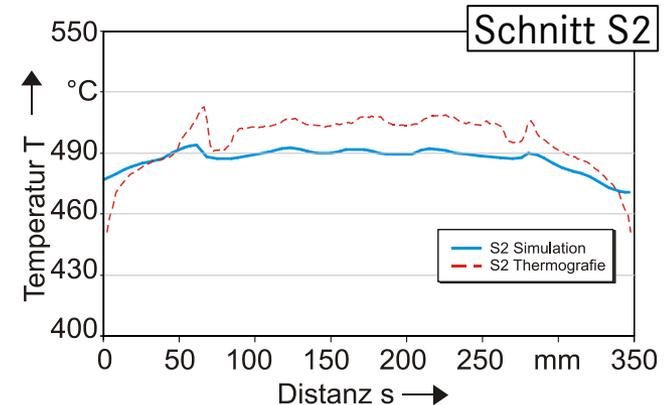
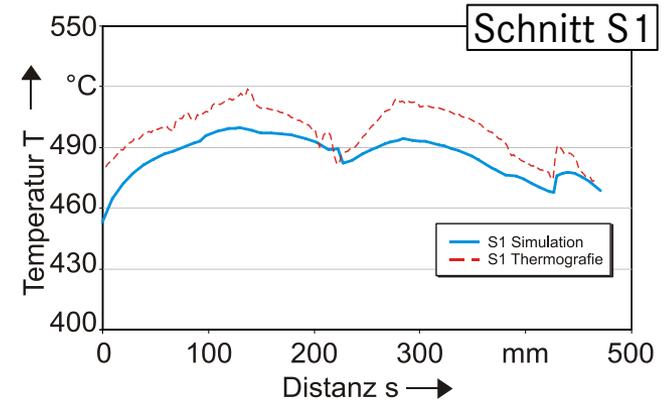
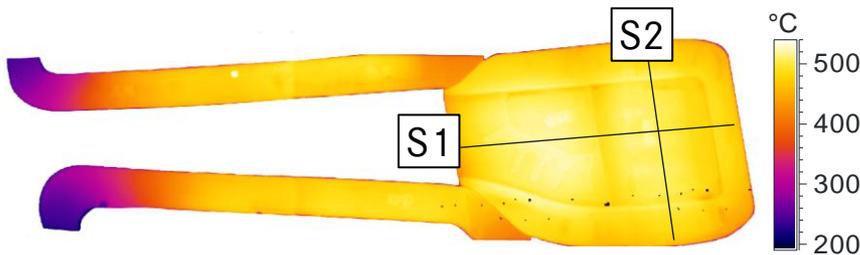
Versuche mit einem realen temperierten Presshärtezeug

Temperaturverteilung am Beispiel Stempel

Simulation



Thermografie



Thermische Werkzeugauslegung

Ableitung praktischer Hinweise für die thermische Auslegung

**Abstand: Heizpatronen
- Oberfläche**

möglichst gering, gleicher
Abstand dA

Empfehlung:
 $dA = 1,5 \cdot \text{Heizpatronendurchmesser}$

**Abstand: Heizpatrone
- Heizpatrone**

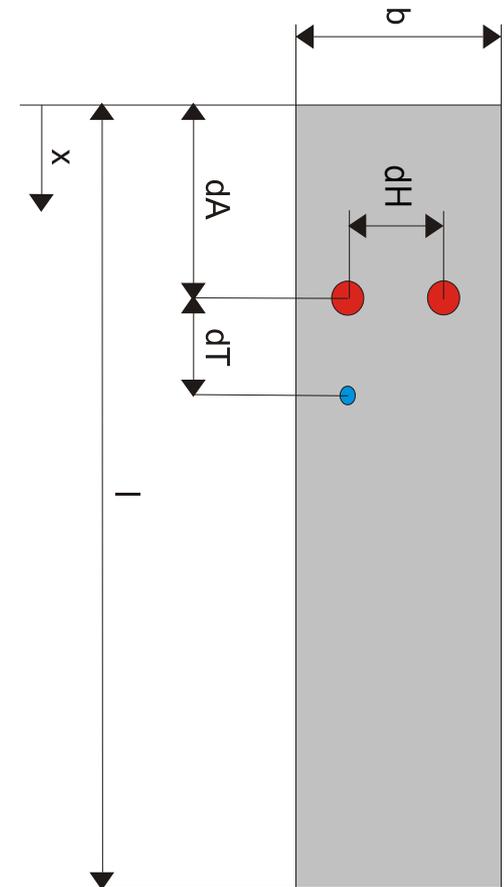
möglichst gering,
symmetrisch

Empfehlung:
 $dH = 2,5 \cdot \text{Heizpatronendurchmesser}$

**Abstand: Heizpatrone
- Thermoelement**

abhängig von Werkzeuggeometrie

Empfehlung:
 $dA/dT = 1,5 \dots 2,0$



Zusammenfassung

- ☑ Motivation aufgezeigt
- ☑ Parameterermittlung für thermische Werkzeugsimulation mit LS-Dyna abgeschlossen
- ☑ Validierungsversuche mit einem realen partiell beheizten B-Säulenwerkzeug bestätigen die Übertragbarkeit der Parameter auf den allgemeinen Fall
- ☑ Qualitativ und quantitativ gute Übereinstimmung mit den Messwerten
- ☑ Ableitung praktischer Hinweise für die Auslegung temperierter Werkzeuge auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse
- ☐ Handlungsbedarf besteht bei Umsetzung des Regelverhaltens;
Thermostatregler für MPP; Verwendung mehrerer Thermostatregler für verschiedene Module

Danke für die Aufmerksamkeit!