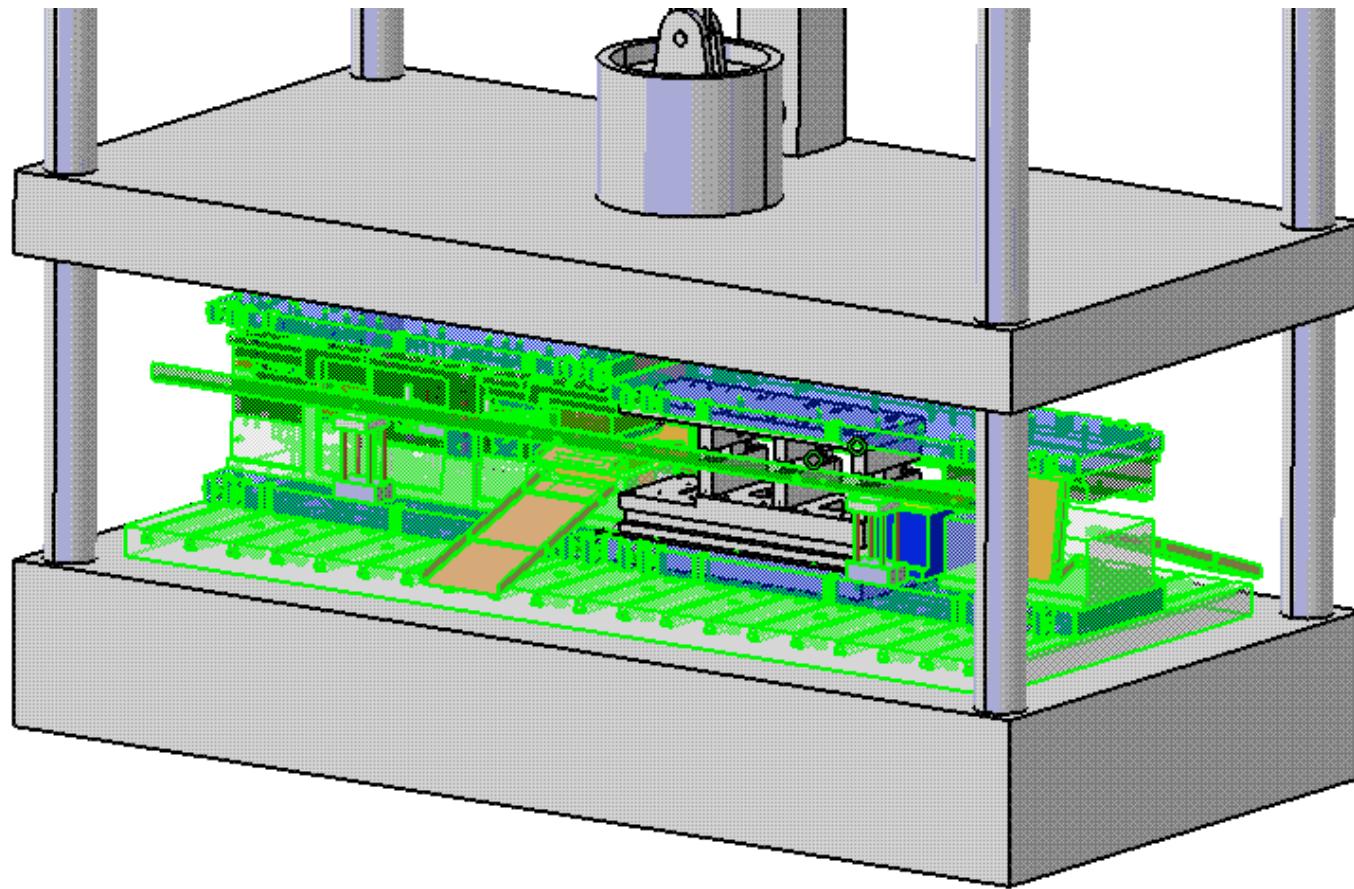


Optimierung industrieller Prozesse

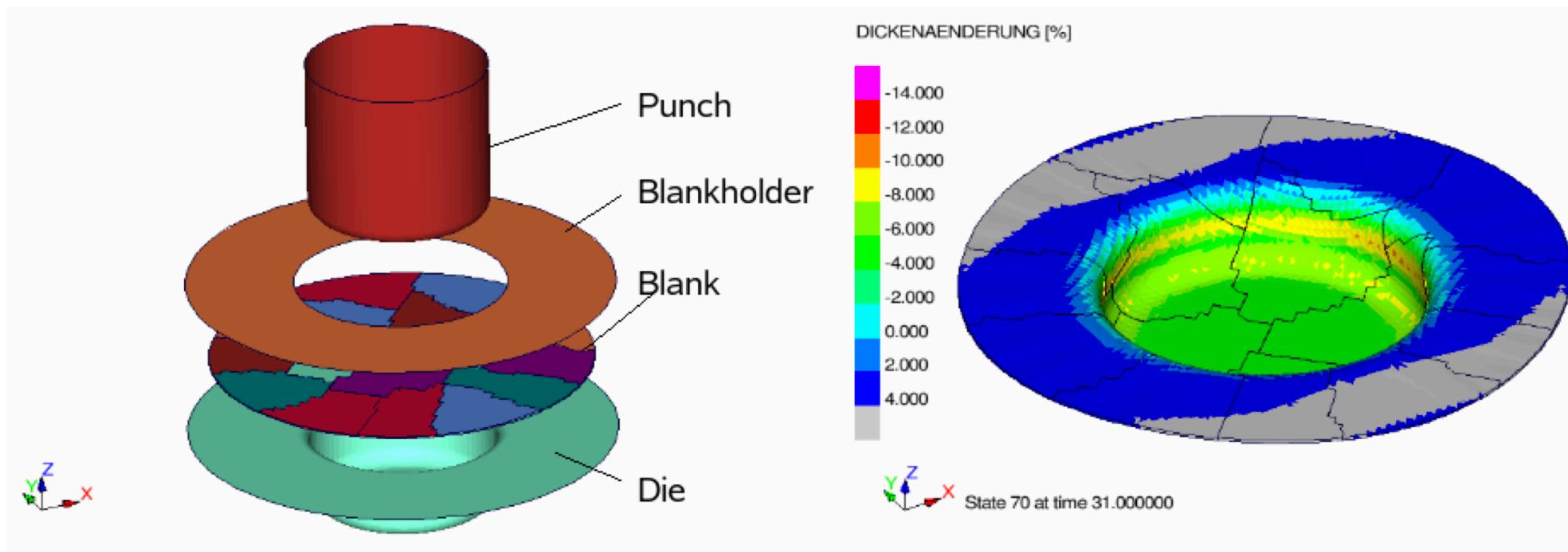
Prof. Dr. Julian Reichwald

Was ist ein industrieller Fertigungsprozess?

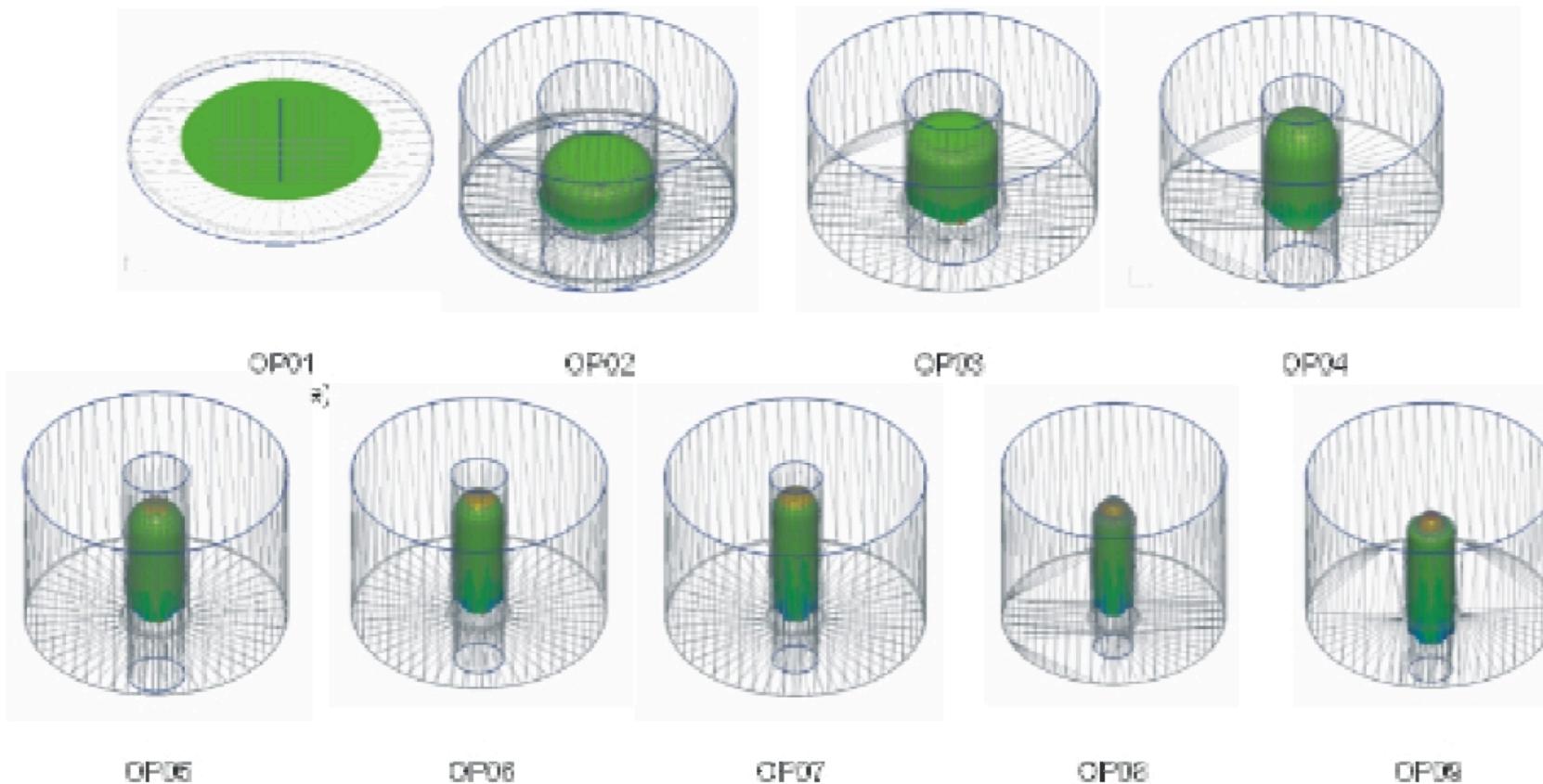
Mehrstufiger Tiefzieh-Prozess



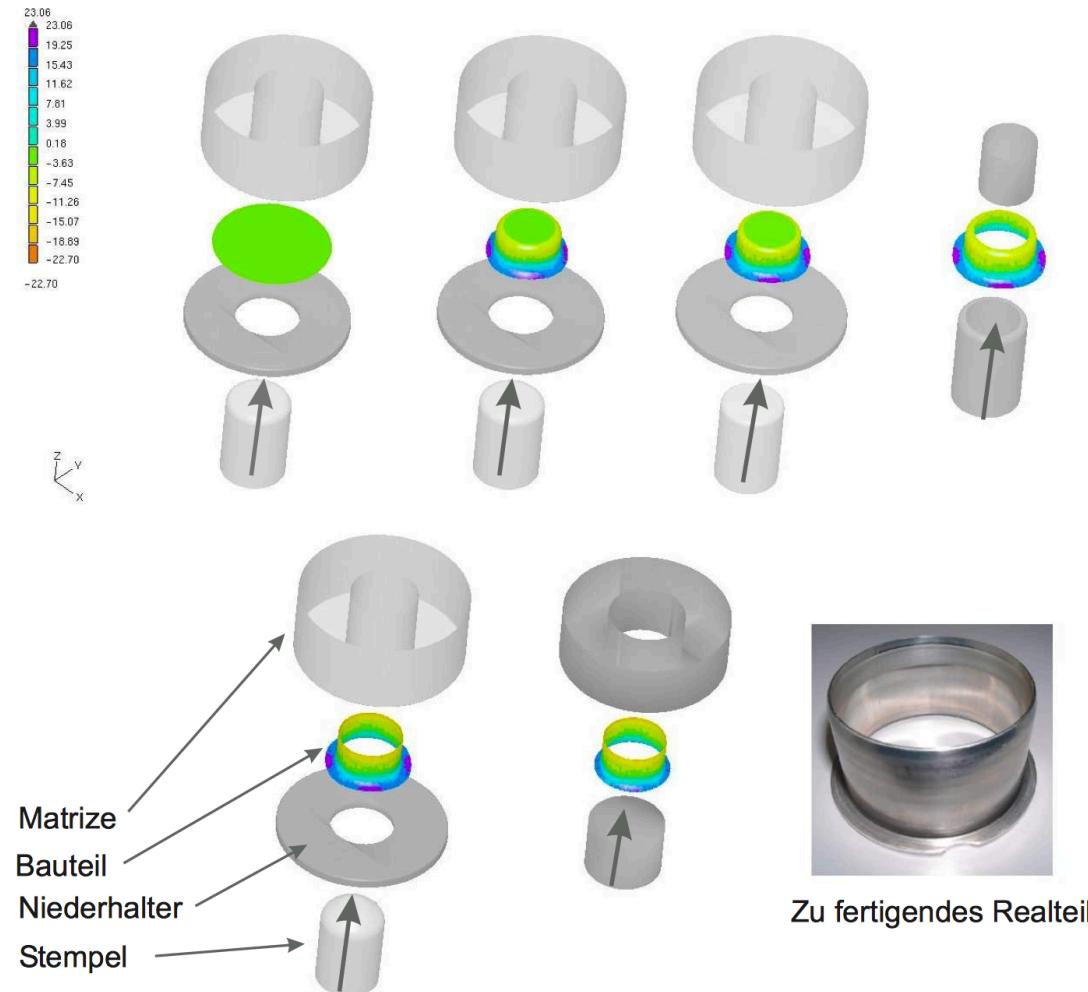
Mehrstufiger Tiefzieh-Prozess



Mehrstufiger Tiefzieh-Prozess



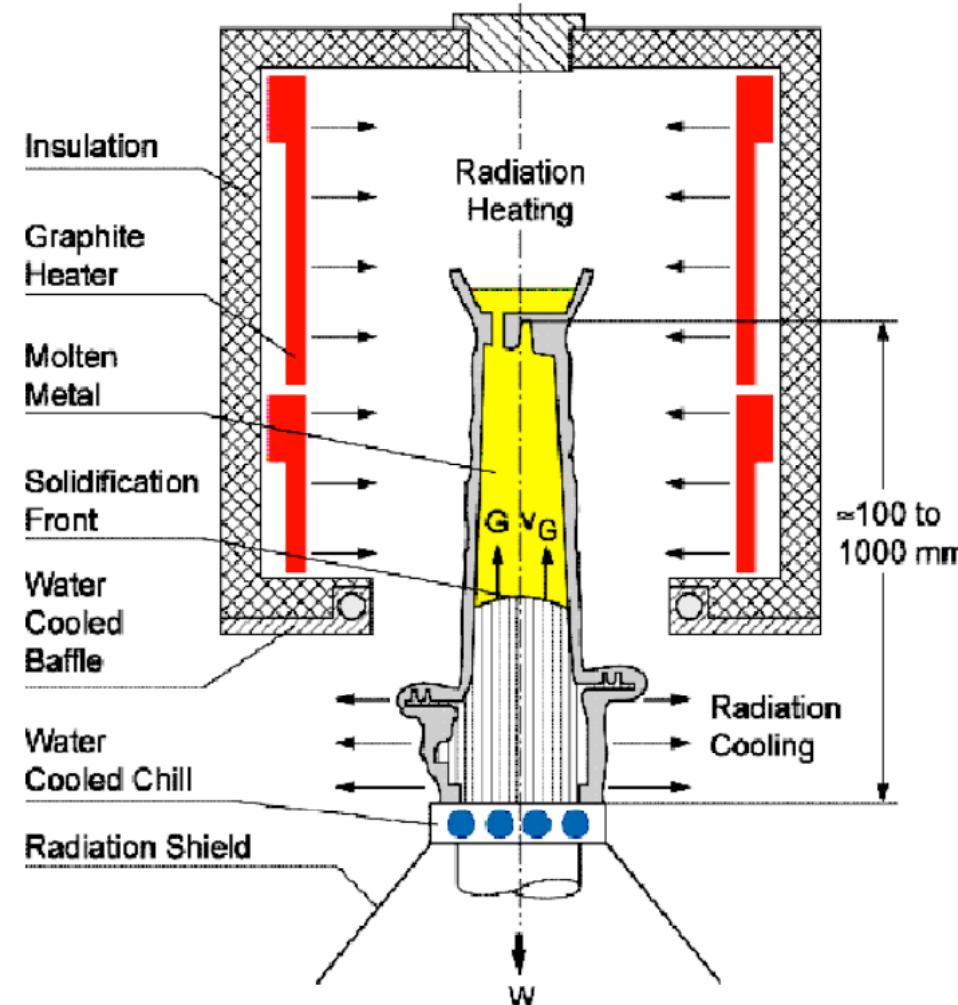
Mehrstufiger Tiefzieh-Prozess



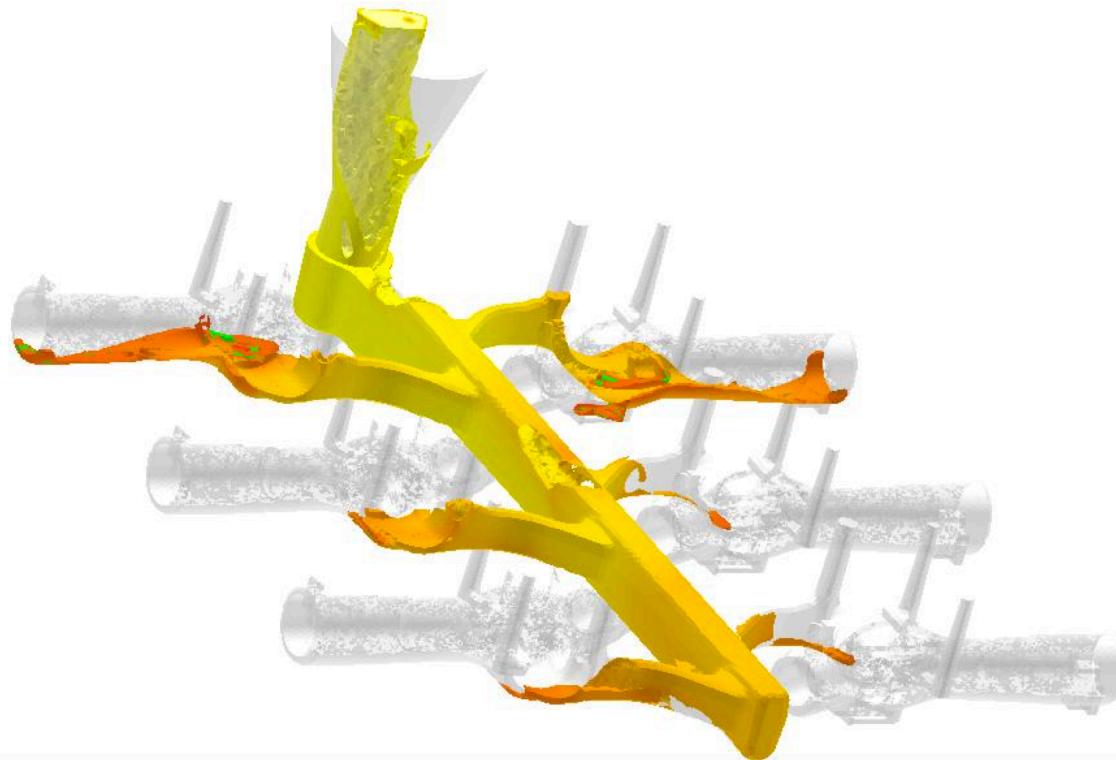
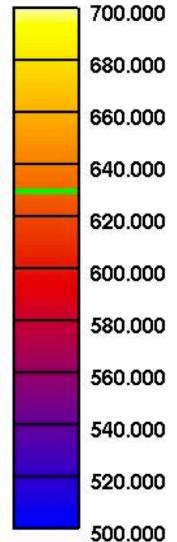
Mehrstufiger Tiefzieh-Prozess

- Freie Parameter:
 - Anpressdruck in einer bestimmten Tiefzieh-Stufe
 - Zugdauer
 - Materialeigenschaften
 - Materialtemperatur
 - Vorschubgeschwindigkeit des Transfersystems

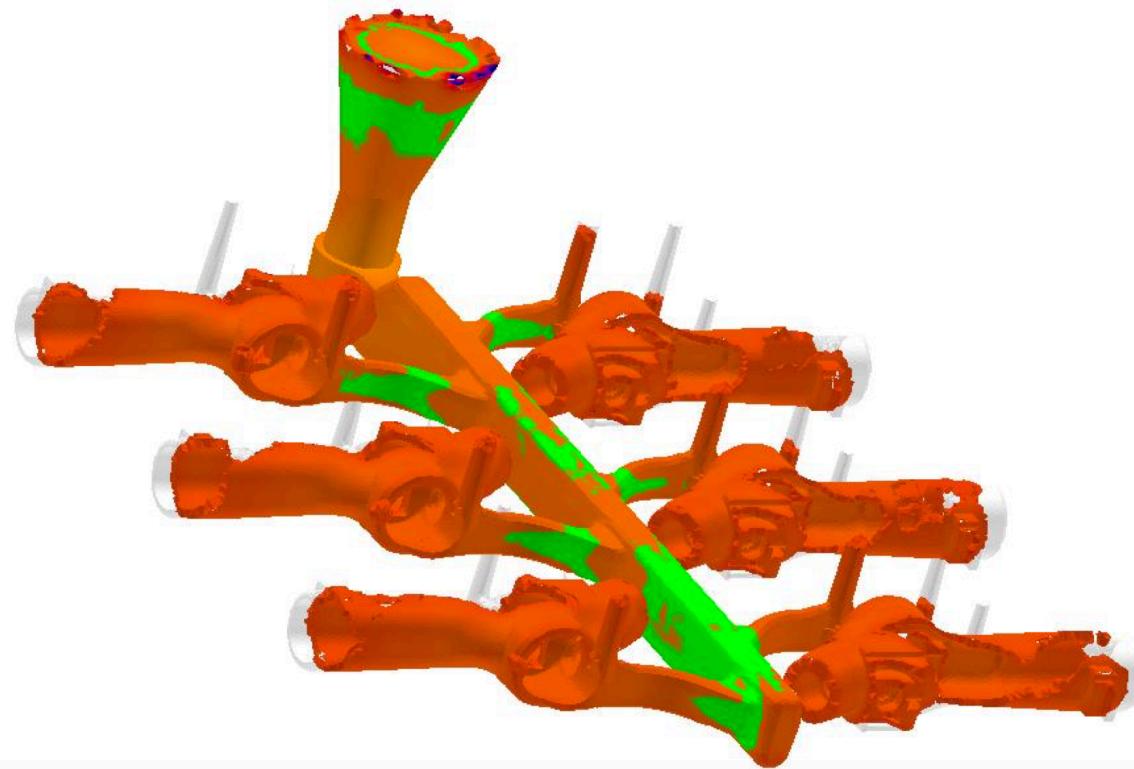
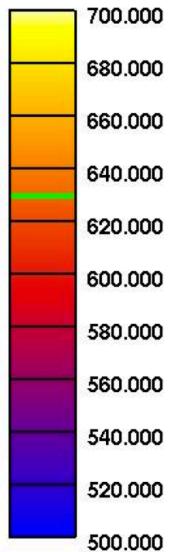
Gießereiprozesse



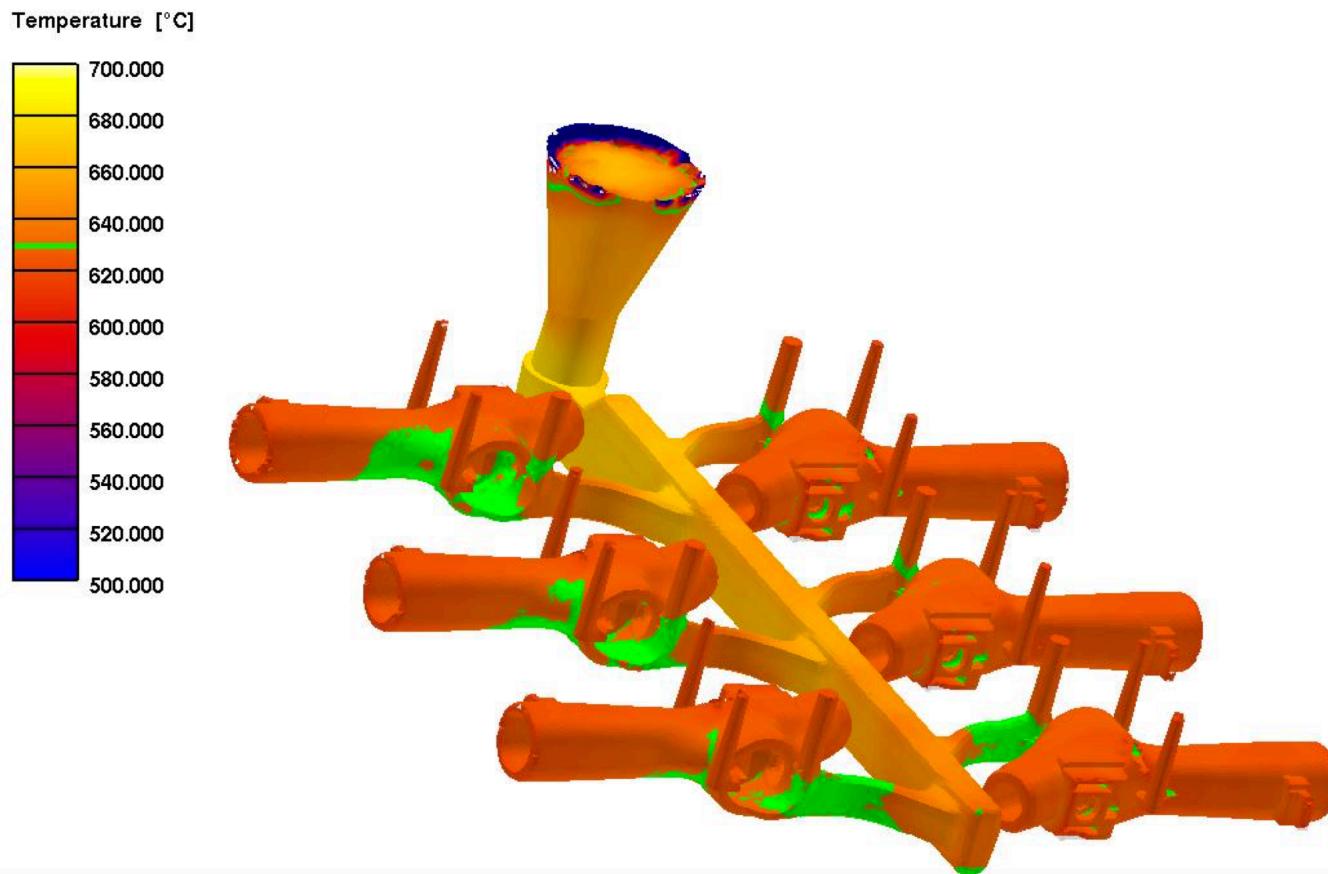
Temperature [°C]



Temperature [°C]

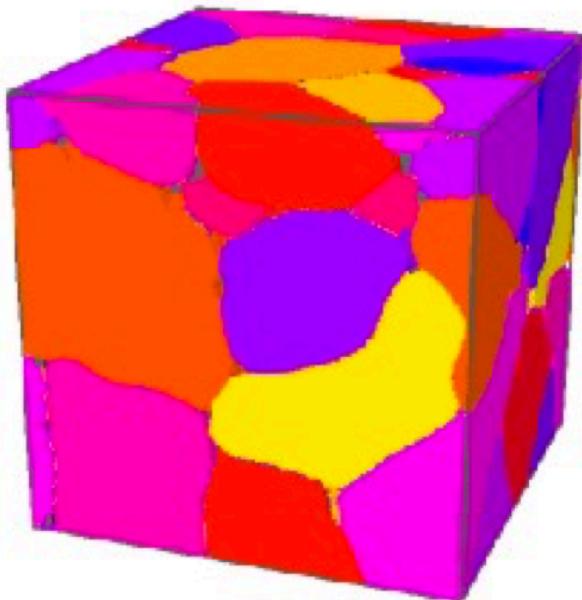


Gießereiprozesse



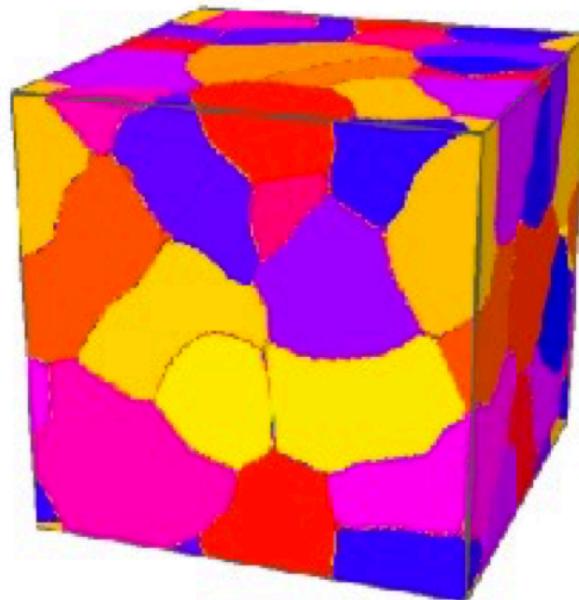
Gießereiprozesse

$\dot{T} = 1.1 \text{ K/s}$



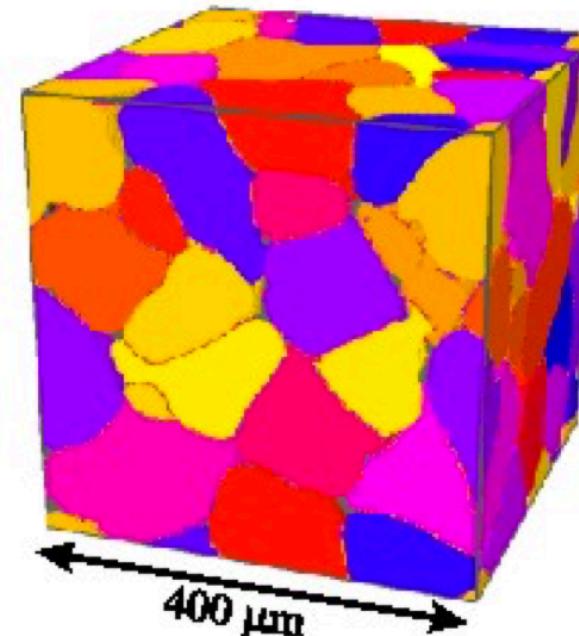
$\bar{r} = 105.5 \mu\text{m}$

$\dot{T} = 2.1 \text{ K/s}$



$\bar{r} = 87.2 \mu\text{m}$

$\dot{T} = 3.0 \text{ K/s}$



$\bar{r} = 79.9 \mu\text{m}$

Gießereiprozesse

- Freie Parameter:
 - Temperatur der Schmelze
 - Materialeigenschaften
 - Einschusswinkel der Schmelze
 - Einschussgeschwindigkeit
 - Anzahl und Position der Entlüftungslöcher in der Form

Eigenschaften industrieller Fertigungsprozesse

- Formen- und Werkzeugbau im Verhältnis sehr teuer
 - Gussformen im Bereich mehrerer zehntausend Euro
 - Tiefzieh-Werkzeuge im Bereich von 250.000 – 500.000 Euro
 - Ist ein Werkzeug/eine Gussform nicht adäquat, wird es/sie Verschrottet
 - Prototypenentwicklung erweist sich als extrem teuer.
- Prototypenentwicklung soll besser/virtuell durchgeführt werden.

Optimierung industrieller Fertigungsprozesse

Virtuelles Prototyping

- Freie Parameter können auf Variablen abgebildet werden. Bsp:
 - x_1 : Schmelztemperatur
 - x_2 : Anzahl der Lüftungslöcher
 - x_3 : Einschusswinkel der Schmelze
 - x_4 : Einschussgeschwindigkeit
- Ggf. Nebenbedingungen:
 - x_1 muss kleiner als 700 Grad sein
 - x_3 und x_4 müssen in einem fixen Verhältnis zueinander stehen

Problem-Modellierung

Freie Variablen können als Vektor gesehen werden: $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

Abbildung als Zielfunktion: $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$

Damit wir die Berechnung eines
Parametersets möglich:
 $f(\mathbf{x}) = y$

Modellierung als Optimierungsproblem (I)

$$\left\{ \min f(\mathbf{x}) \mid \mathbf{x} \in \mathcal{U}_{POD} \subseteq \mathbb{R}^n \right\},$$

mit $\mathcal{U}_{POD} = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n \mid g(\mathbf{x}) = \mathbf{0}, h(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}\}.$

Modellierung als Optimierungsproblem (II)

minimize $\{f(x_1, x_2, \dots, x_n)\}$

$$s_k = t_k(s_{k-1}, x_k), \quad \forall k = 1, \dots, n;$$

subject to: $s_0 = a, s_n = b;$

$$s_k \in S_k, \quad \forall k = 1, \dots, n-1;$$

$$x_k \in X_k(s_{k-1}), \quad \forall k = 1, \dots, n$$

Software-Tools ersetzen Zielfunktion

- Berechnung des Zielfunktionswertes durch numerische Simulation
 - Finite-Elemente (FEM)-Simulation (Statik-Systeme, Engineering-Systeme)
 - „normale“ FEM-Simulation
 - FETI-Methode (Finite Element Tearing and Interconnecting)
 - Computational Fluid Dynamics (CFD)
 - Gießereiprozesse
 - Strömungsdynamik
 - Basierend auf Navier-Stokes-Gleichungen

→ **Extrem** rechenintensiv!

Software-Tools ersetzen Zielfunktion

- Problemstellung:
 - Zielfunktion ist nicht bekannt, d.h. ZF
 - Nicht ableitbar
 - Nicht stetig

→ZF nicht ableitbar, daher kann mathematisch kein Optimum bestimmt werden

→Anwendung von Metaheuristiken

Liste von Metaheuristiken (I)

- Nelder-Mead-Simplex (Downhill Simplex)
 - Direktes Suchverfahren, arbeitet auf einer Menge an Lösungskandidaten, die ein Polytop im Suchraum bilden. Geometrische Operationen (Reflektieren, Kontrahieren) erzeugen neue Kandidaten
- (Parallel) Scatter Search
 - Metaheuristik, welche eine Menge von Lösungskandidaten verwaltet und deren Fitness und Vielfalt durch Kombination der Lösungen sicherstellt.
- Simulated Annealing (Simulierte Abkühlung)
 - Störungsfunktion erzeugt neue Lösungskandidaten, die durch einen Temperaturparameter akzeptiert werden können, auch wenn sie ungültig sind. Sinkt die Temperatur, werden ungültige Lösungen nicht mehr akzeptiert

Liste von Metaheuristiken (II)

- Great Deluge Algorithm
 - Ähnlich Simulated Annealing, anstelle der Temperatur wird eine Wasserstandshöhe verwendet
- Genetic Algorithm
 - Mutationen, Kreuzungen und Selektion werden nachgebildet, um „Populationen“ von Lösungskandidaten sukzessive zu verbessern.
- Particle Swarm Optimization
 - Ein „Schwarm“ von Lösungskandidaten, welcher sich durch den Suchraum bewegt, wird simuliert.

Capture the Flag!

- https://hub.docker.com/r/jreichwald/dhbw_oip/
- Docker-Compose-File startet komplette Infrastruktur, bestehend aus :
 - RabbitMQ Message Queue
 - Capture The Flag – Server, der ein Simulationssystem realisiert
 - Input: Vektor x im JSON-Format
 - Output: Berechneter Zielfunktionswert und Gültigkeit im Rahmen der Nebenbedingungen

Aufgabenstellung:

$$f \rightarrow \min!$$