

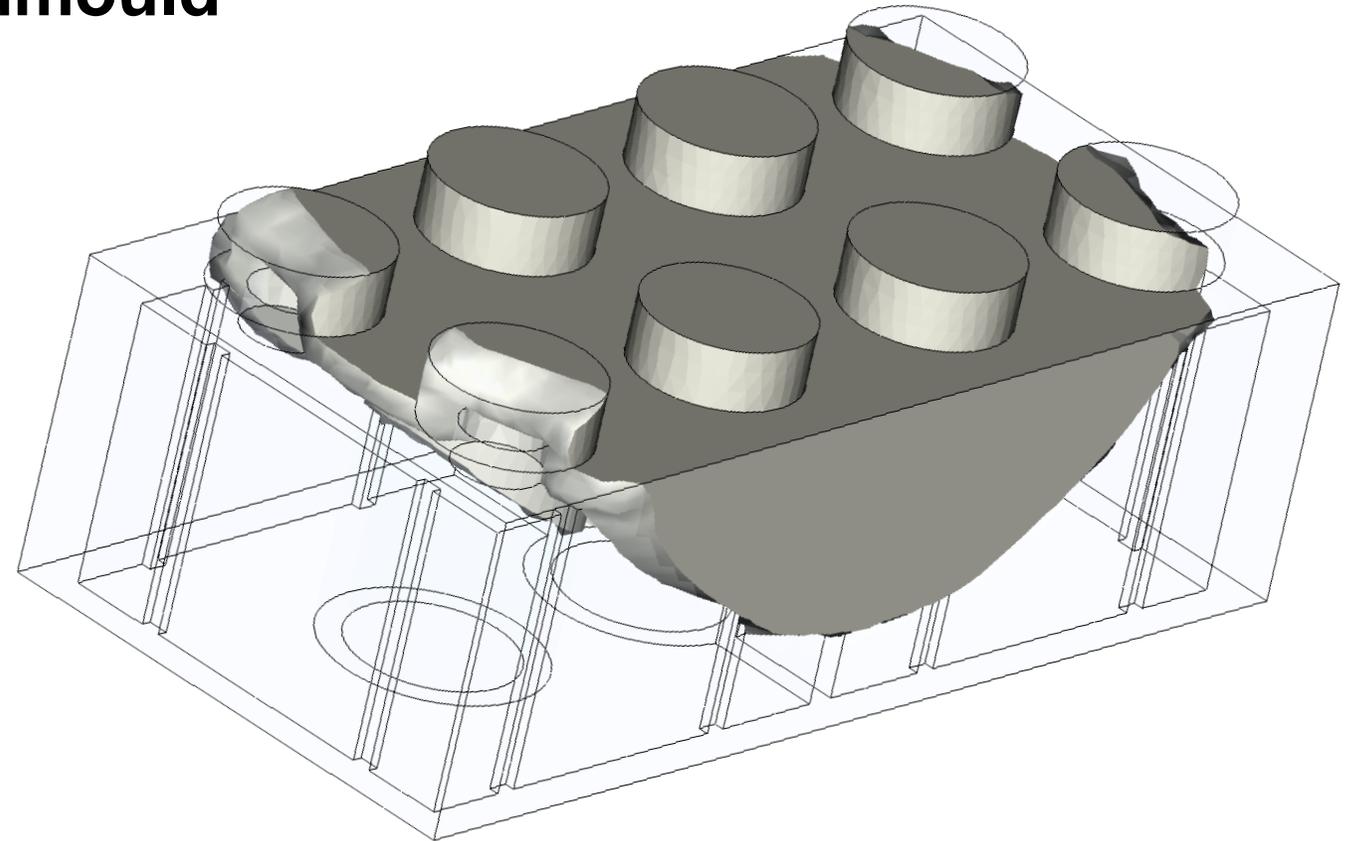
Spritzgießsimulation mit der kommerziellen Simulations-Software Cadmould®

Markus Baum, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
im Bereich Technische Mechanik und Strömungslehre

Prof. Dr.-Ing. Denis Anders

Professur für Technische Mechanik und Strömungslehre



Motivation für die Spritzgießsimulation

Die heutigen Marktanforderung an Spritzgußteile und -werkzeuge stellen eine große Herausforderung für die Entwicklung, Konstruktion, Werkzeugbau und Fertigung dar. Anforderungen können sein:

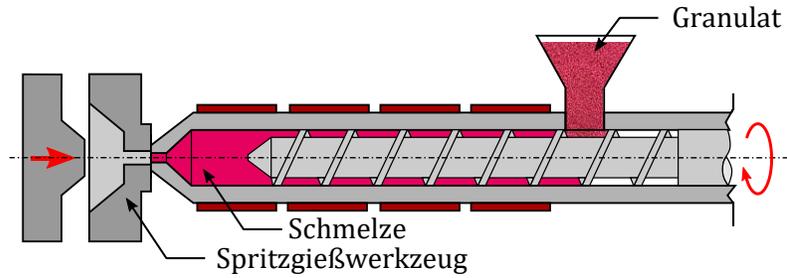
- sehr gute Oberflächenbeschaffenheit
- hohe Maßhaltigkeiten
- Schwindungs- und Verzugsarmut
- kurze Projektierungszeit bei geringen Kosten

Die **Entwicklung eines Spritzgußteils stellt nur ca. 5 % der Projektkosten** dar, legt aber durch dessen **Planung** (z.B. Angusspositionierung und Materialauswahl) **ca. 85 % der späteren Projektkosten** fest.

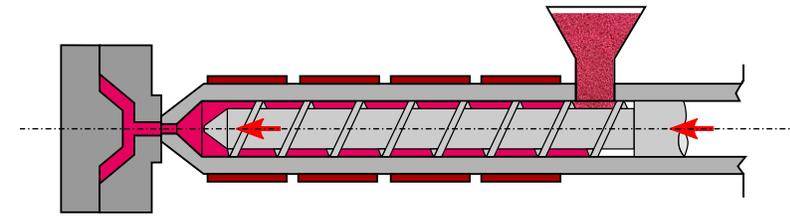
Vorteile der Spritzgießsimulation liegen bspw. in dem **frühzeitigen Erkennen von konstruktiven Fehlentscheidungen** hinsichtlich der Formteilqualität und der optimalen Prozessauslegung.

Spritzgießprozess

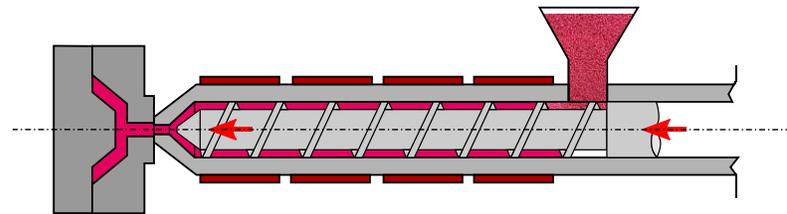
1. Plastifizieren & Dosieren



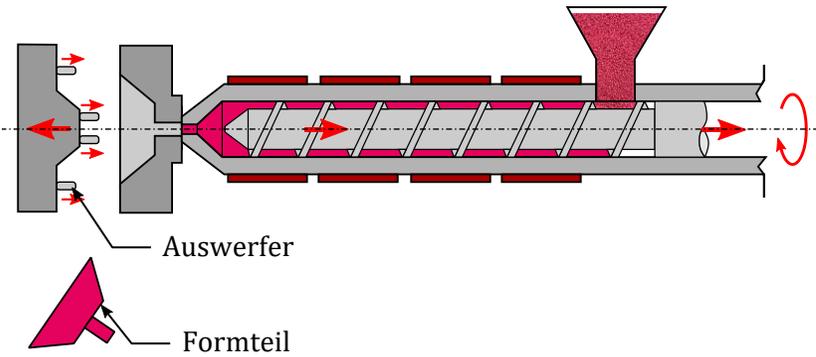
2. Einspritzen



3. Nachdrücken & Abkühlen

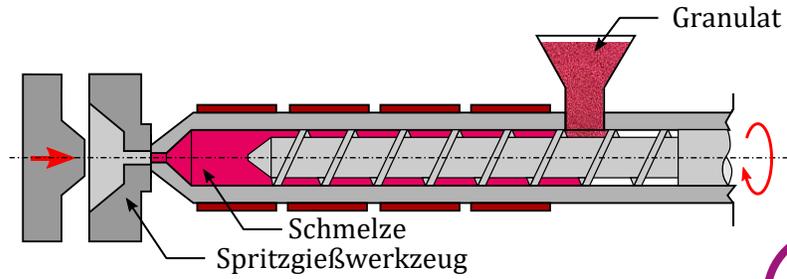


4. Entformen & Auswerfen

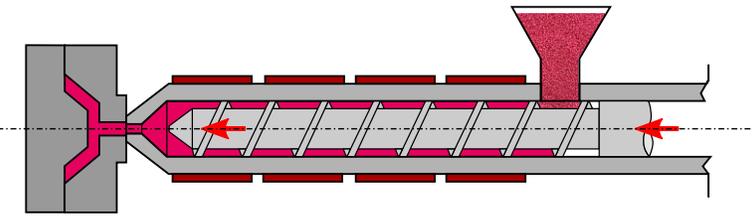


Spritzgießprozess

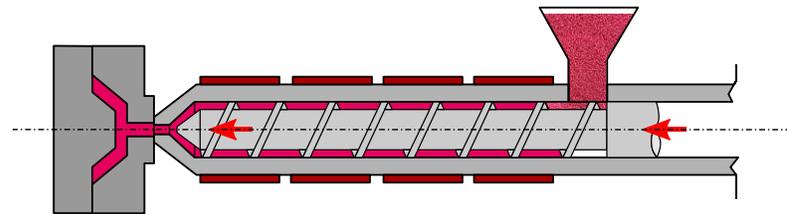
1. Plastifizieren & Dosieren



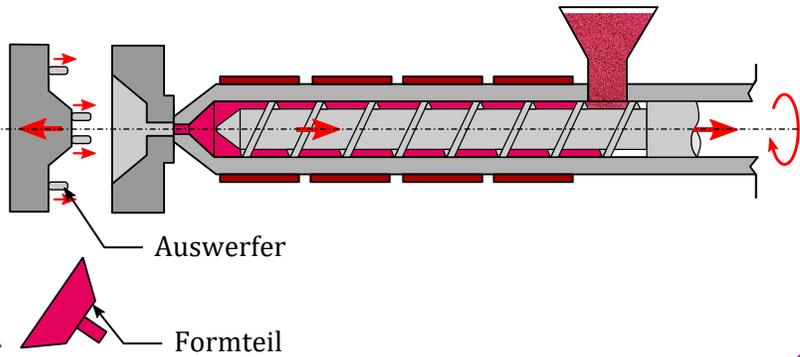
2. Einspritzen



3. Nachdrücken & Abkühlen

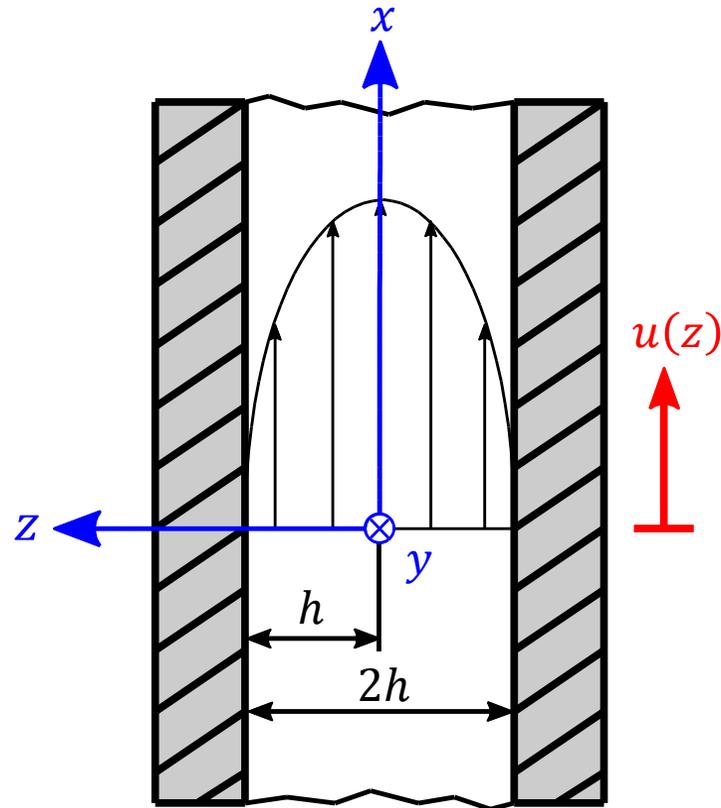


4. Entformen & Auswerfen



Werden durch
Cadmould® simuliert.

Das Berechnungsverfahren der Füll- und Nachdruckphase.



Impulsbilanz

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} = 0$$

Massenbilanz

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\int_0^h \rho u \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_0^h \rho v \, dz \right) = \int_0^h \frac{d\rho}{dt} \, dz$$

Druckgleichung

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \int_0^h \frac{d\rho}{dt} \, dz \quad \text{mit} \quad S = \int_0^h \rho \int_w^h \frac{z}{\eta} \, dz \, dw$$

Energiebilanz

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{dT}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(\lambda \frac{dT}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(\lambda \frac{dT}{dz} \right) + \dot{q}_{\text{ext}}(\eta \dot{\gamma})$$

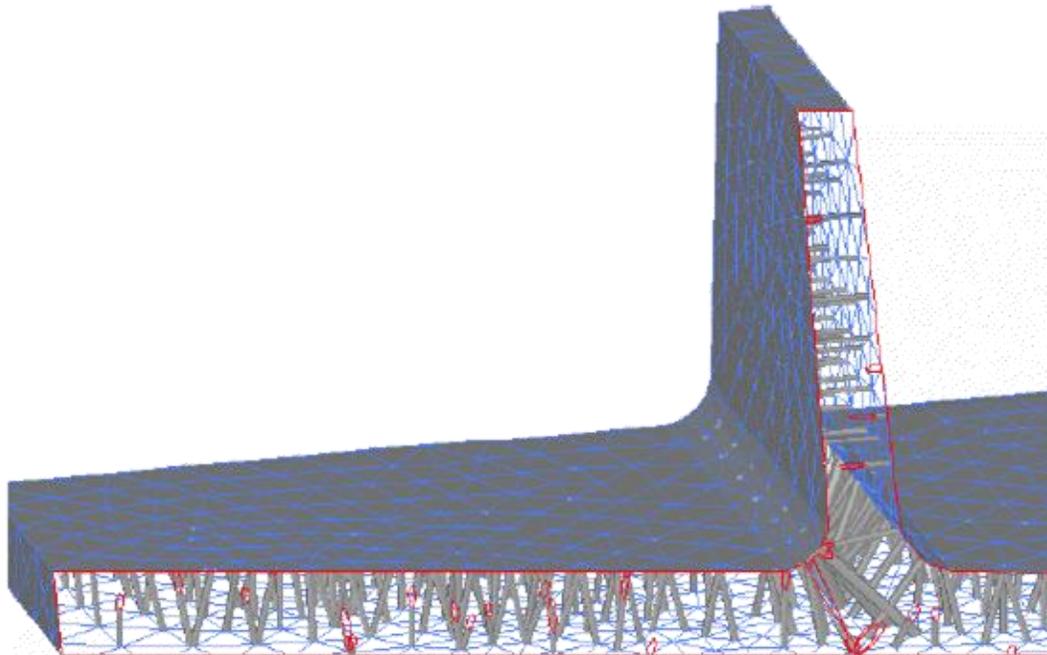
Hele-Shaw-Formulierung für die Geschwindigkeitskomponenten

$$u = -\frac{\partial p}{\partial x} \int_z^h \frac{\tilde{z}}{\eta} \, d\tilde{z}, \quad v = -\frac{\partial p}{\partial y} \int_z^h \frac{\tilde{z}}{\eta} \, d\tilde{z}$$

Das 3D-F Verfahren.

Lösung der Gleichungen erfolgt über semivolumetrisches FE-Netz (näherungsweise 3D).

- Diskretisierte Bauteiloberfläche mit flächigen Dreieckselementen.
- 1D-Rohrelemente, welche das von Oberflächenelementen umschlossene Volumen beschreiben.
- Generell sind alle benachbarten Knoten miteinander verbunden.



Quelle: M. Studer, F. Ehrig: *Reduktion von Formteilverzug beim Spritzgießen durch optimale Wanddickenverteilung*, Journal of Plastics Technology (2013)

- Schmelze kann sich in Ebenen- und Dickenrichtung ausbreiten.
- Annäherung an 3D Finite-Volumen-Modell bei geringerem Rechenaufwand.

Das Berechnungsverfahren des Abkühlverhaltens.

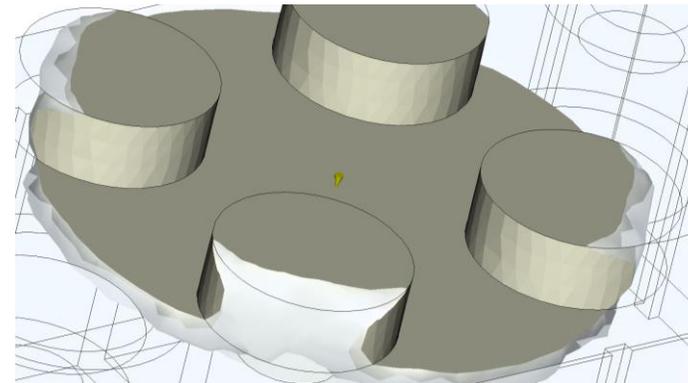
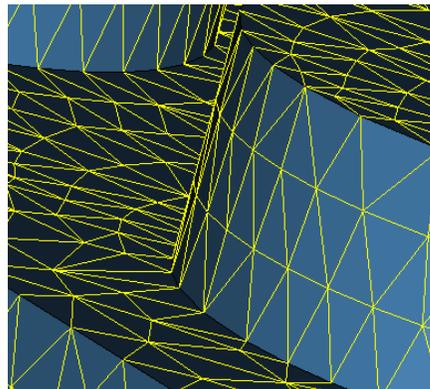
- Aus dem Abkühlverhalten lassen sich Schwindungs- und Verzugsergebnisse ableiten.
- Berechnung der Spannungskomponenten σ_{ij} im Formteil erfolgt durch viskos-thermo-elastischen Ansatz.

$$\sigma_{ij} = \begin{cases} 0, & T > T_{\text{NF}} \\ - \int_0^t K \left(\alpha_v \frac{\partial T}{\partial t'} - \frac{\partial \epsilon_{kk}}{\partial t'} \right) dt' + 2G \int_0^t \frac{\partial}{\partial t'} \left[\epsilon_{ij} - \frac{\delta_{ij} \epsilon_{kk}}{3} \right] dt', & T \leq T_{\text{NF}} \end{cases}$$

mit $T_{\text{NF}} = \text{No-Flow-Temperatur}$

- Oberhalb T_{NF} verhält sich das Material rein viskos.
- Unterhalb T_{NF} verhält sich das Material wie ein thermo-elastischer Festkörper.

Programmablauf der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F.



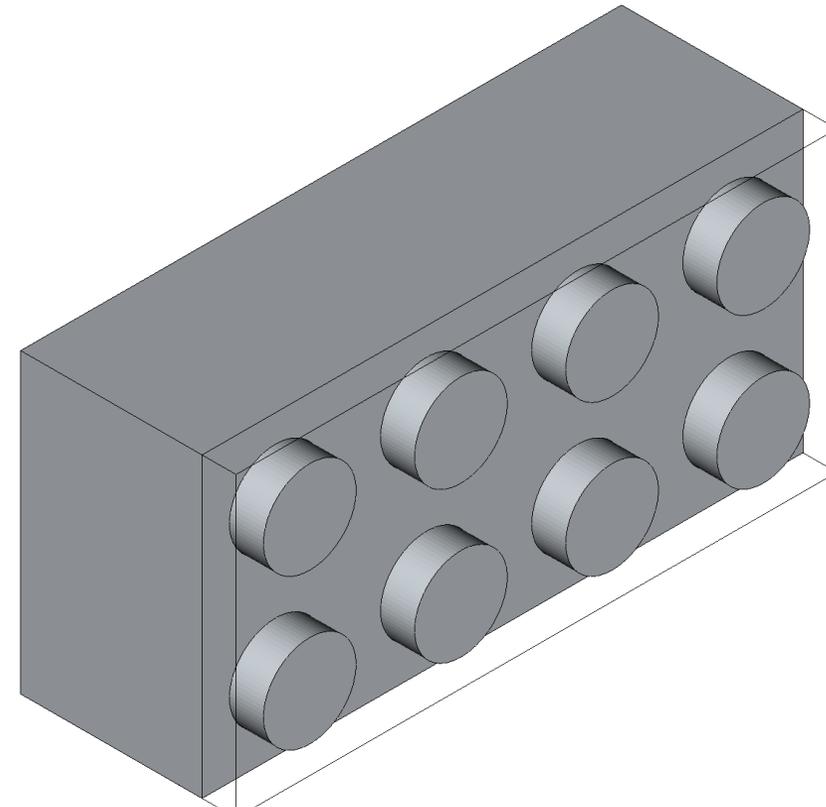
Quelle: Simcon GmbH: Simulation einer Flüssigkeitsströmung und Strukturanalyse einer dünnwandigen Geometrie, Patentschrift DE 602 14 696 T2 (2007)

Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.

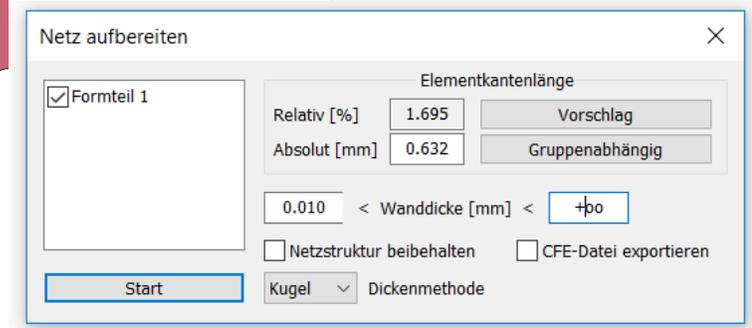
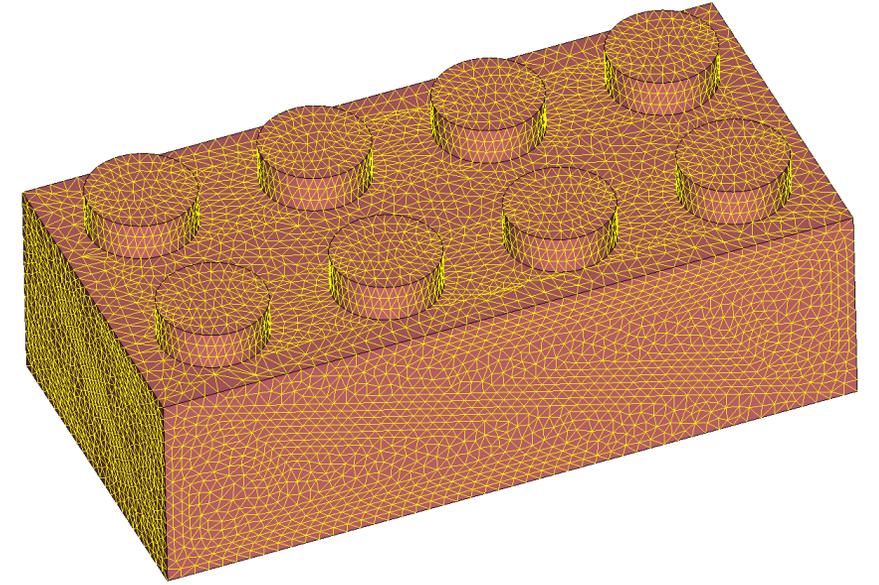
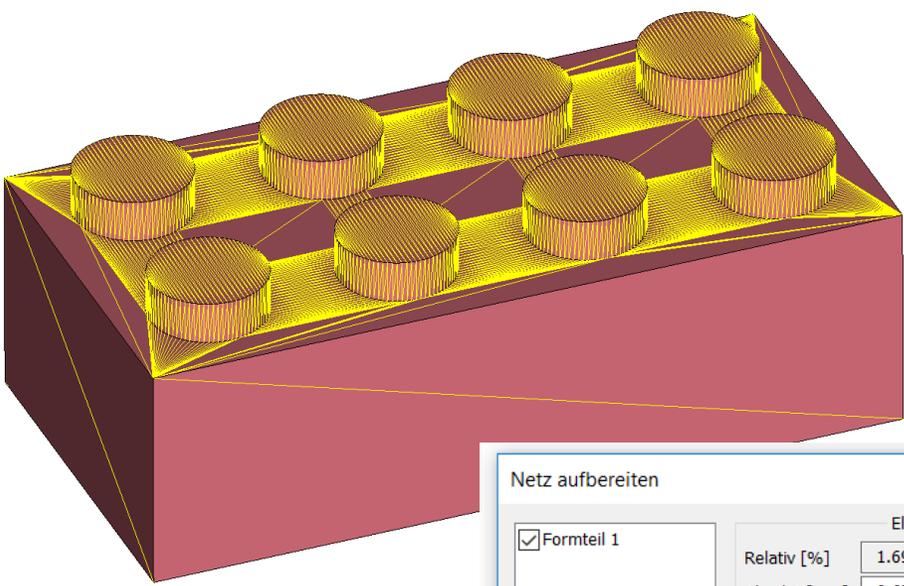


Teil auf Millimeter skalieren

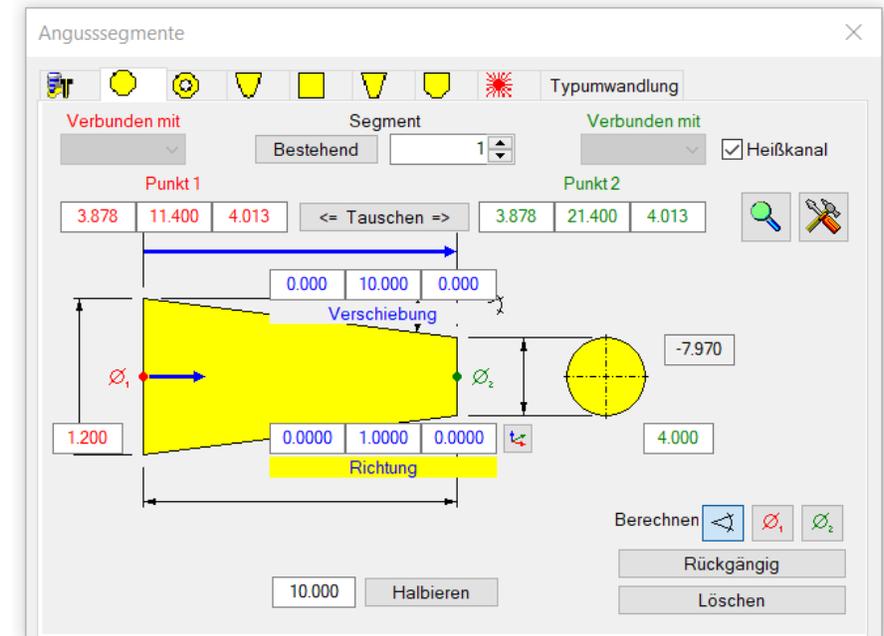
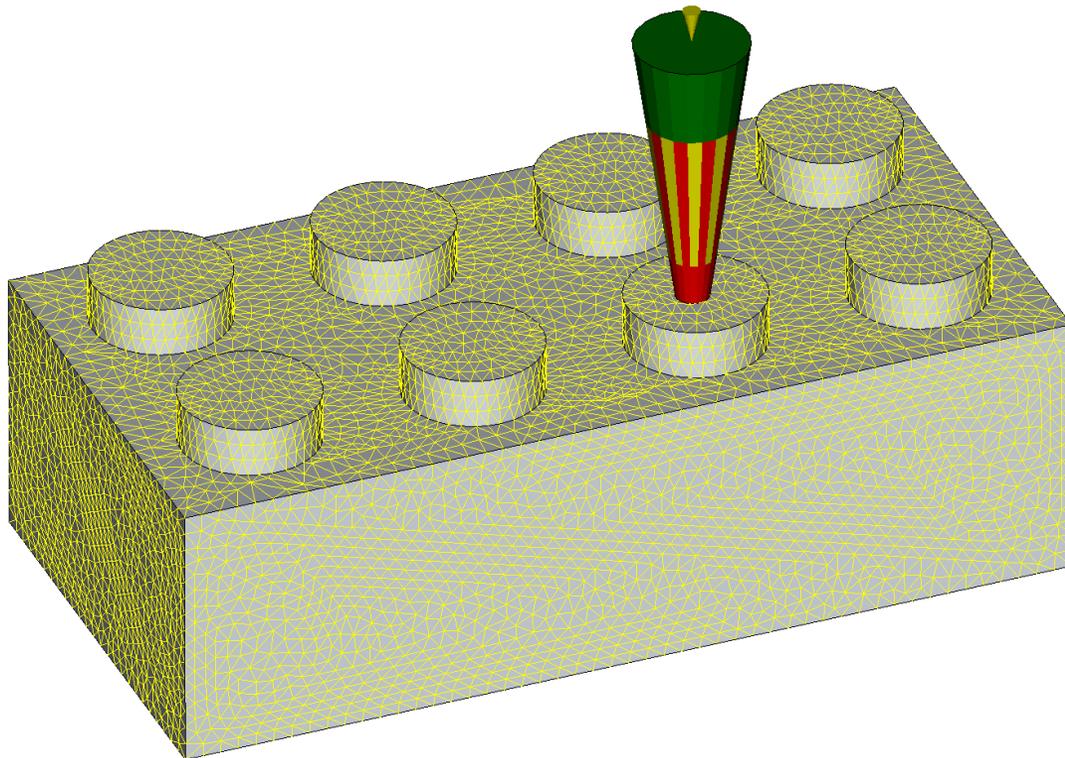
Einheit	Maßstab	Abmessungen [mm]	Volumen [cm³]
<input checked="" type="button" value="Millimeter"/>	1	31.8 X 11.4 X 15.8	2.09
<input type="button" value="Meter"/>	1000	3.18e+004 X 1.14e+004 X 1.58e+004	2087872392.31
<input type="button" value="Inch"/>	25.4	807.7 X 289.6 X 401.3	34214.10
<input type="button" value="Mil"/>	0.0254	0.8077 X 0.2896 X 0.4013	0.03
<input type="button" value="?"/> 1	1	31.8 X 11.4 X 15.8	2.09



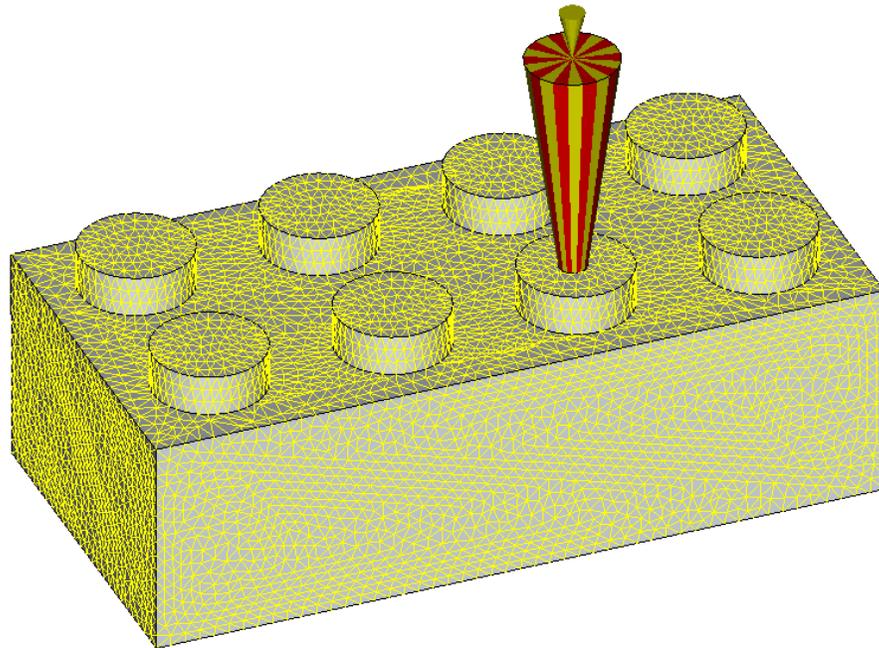
Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



CMDB, Cadmould Database V3.5.3.7 | ABS - LUSTRAN ABS H604 - INEOS STYROLUTION / Cadmould 10.0

Suche | Allgemein | Prozess | Thermisch | Viskosität | pvT | Mechanisch | Diagramm

Typ: [] Materialname: [] Hersteller: []

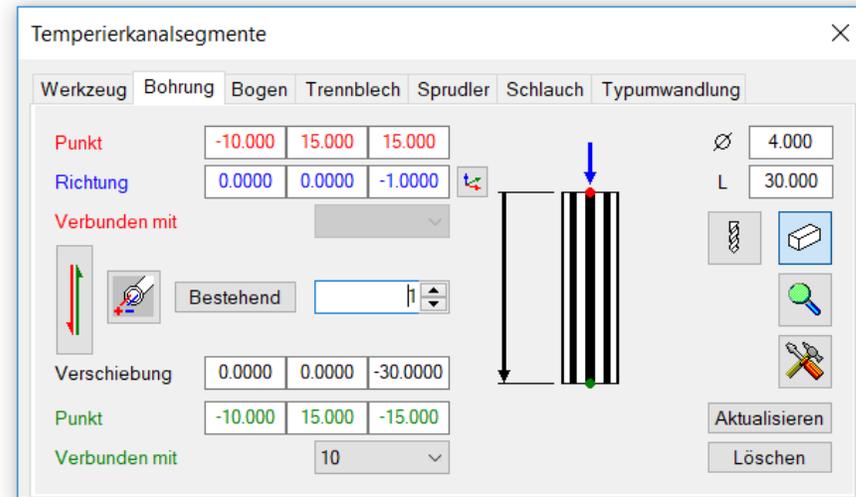
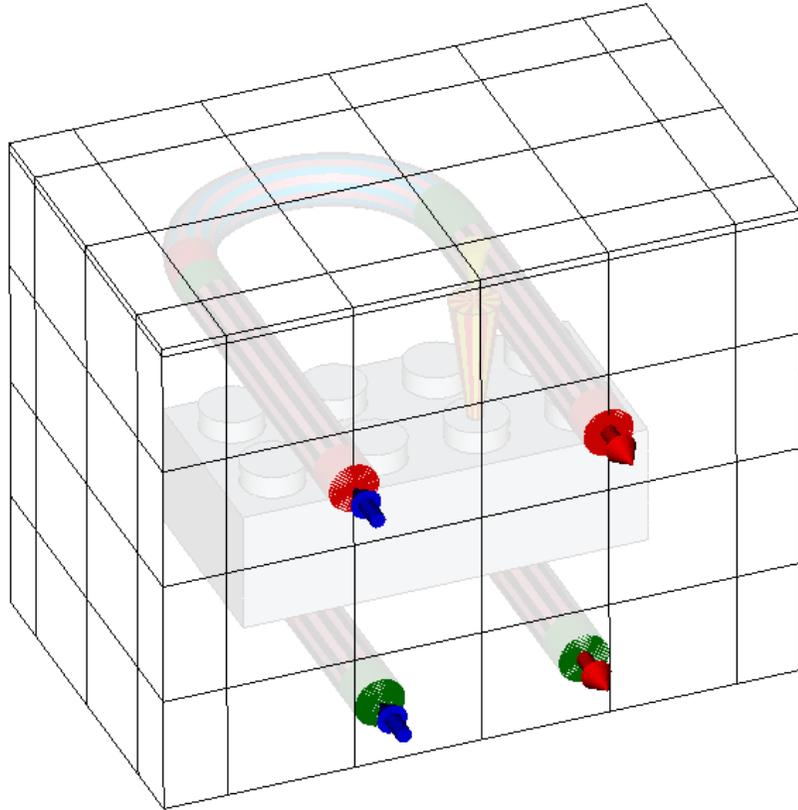
Typ	Materialname	Hersteller		
(PC+ASA)	LURAN S KR 2863 C	INEOS STYROLUTION		▲
(PC+ASA)	LURAN S KR 2863 C_calibrated	INEOS STYROLUTION		▲
(PC+ASA)	LURAN S KR 2864 C	INEOS STYROLUTION		▲
(PC+ASA)	LURAN S KR 2866 C	BASF		▲
(PC+ASA)	LURAN S KR 2867 C WU	INEOS STYROLUTION		▲
(PPE+PS)	LURANYL KR 2403 G6	ROMIRA GmbH		▲
ABS	LUSTRAN ABS 2863	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS 5300	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS ELITE HH1827	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS H604	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS H606 LS	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS H802	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS H950	INEOS STYROLUTION		▲
ABS	LUSTRAN ABS M203FC	INEOS STYROLUTION		▲

gewählter Thermoplast = ABS - LUSTRAN ABS H604 - INEOS STYROLUTION / Cadmould 10.0

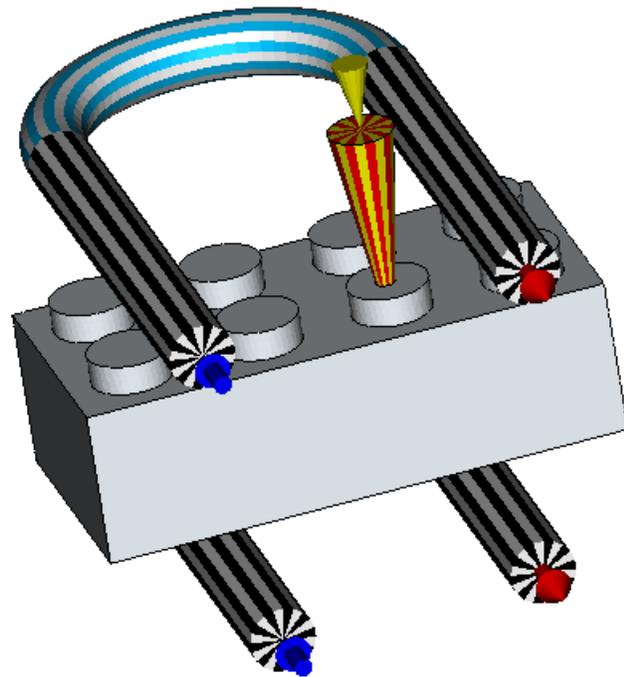
pvT | Faser | Füllstoff | Verzug

Auswählen | Abbrechen

Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Prozessparameter

Füllzeit [s]	0.489
Druckgesteuertes Füllen [%]	99.0
Schmelztemperatur [°C]	250.0
Einheitliche Heißkanaltemperatur [°C]	250.0
Element-WT für Füll- + Kühlphase [°C]	70.0 / 70.0
Entformungstemperatur [°C]	90.0
<input checked="" type="checkbox"/> Nachdruck	Nachdruckzeit [s] 3.300
<input checked="" type="checkbox"/> S + V	Kühlzeit [s] 4.000
<input type="checkbox"/> Spritzprägen	Eingabe

Standard Laden Optionen Variieren

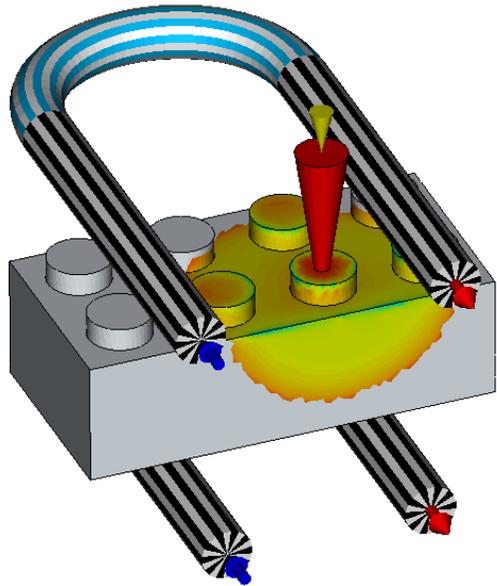
OK Abbrechen

Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



001 - SAXSIM-Klemmstein

Momentaufnahme Füllung
Temperatur [°C]
0.135 s / 27.22 %



The 'Ergebnisauswahl' dialog box shows the following settings:
Simulation: 001 - SAXSIM-Klemmstein
Gruppe: Momentaufnahme Füllung
Detail: Temperatur [°C]
Time: 0.13894 s
Fill level: 27.220 %
The dialog also includes navigation icons and a progress bar at the bottom.

Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Ergebnisauswahl

Simulation 001 - SAXSIM-Klemmstein

Gruppe Momentaufnahme Füllung

Detail Temperatur [°C]

0.31739 64.151

Zeit [s] Füllstand



Ergebnisauswahl

Simulation 001 - SAXSIM-Klemmstein

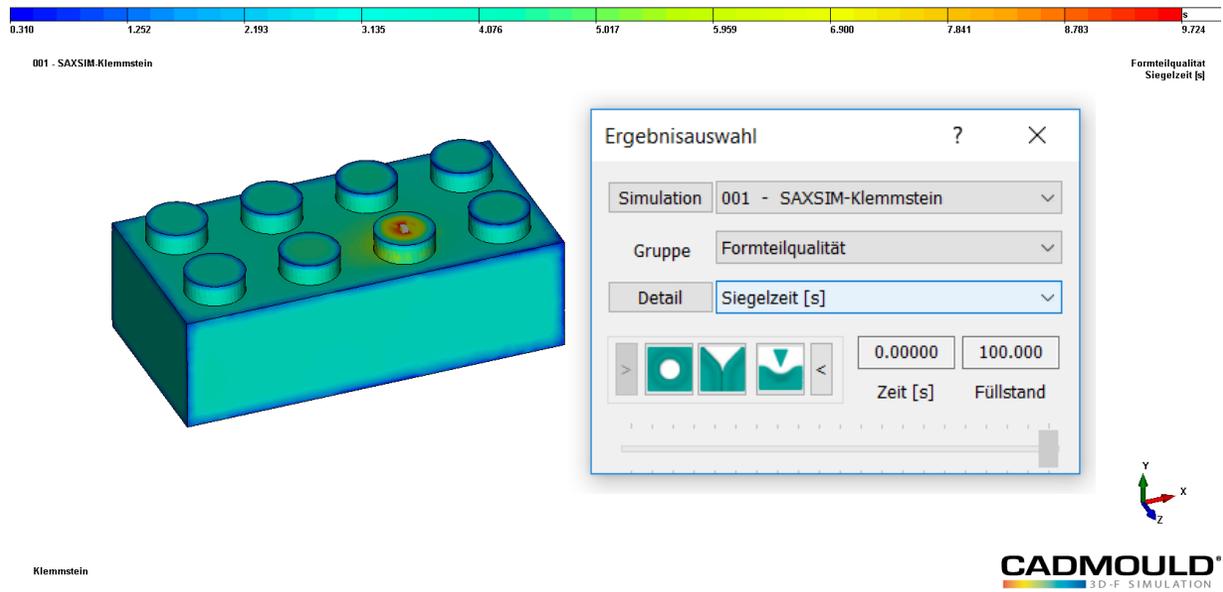
Gruppe Momentaufnahme Nachdruck

Detail Druck [bar]

2.79981 100.000

Zeit [s] Füllstand

Anwendung der Spritzgießsimulation mit Cadmould® 3D-F am Beispiel eines Klemmsteins.



Ergebnisauswahl ? X

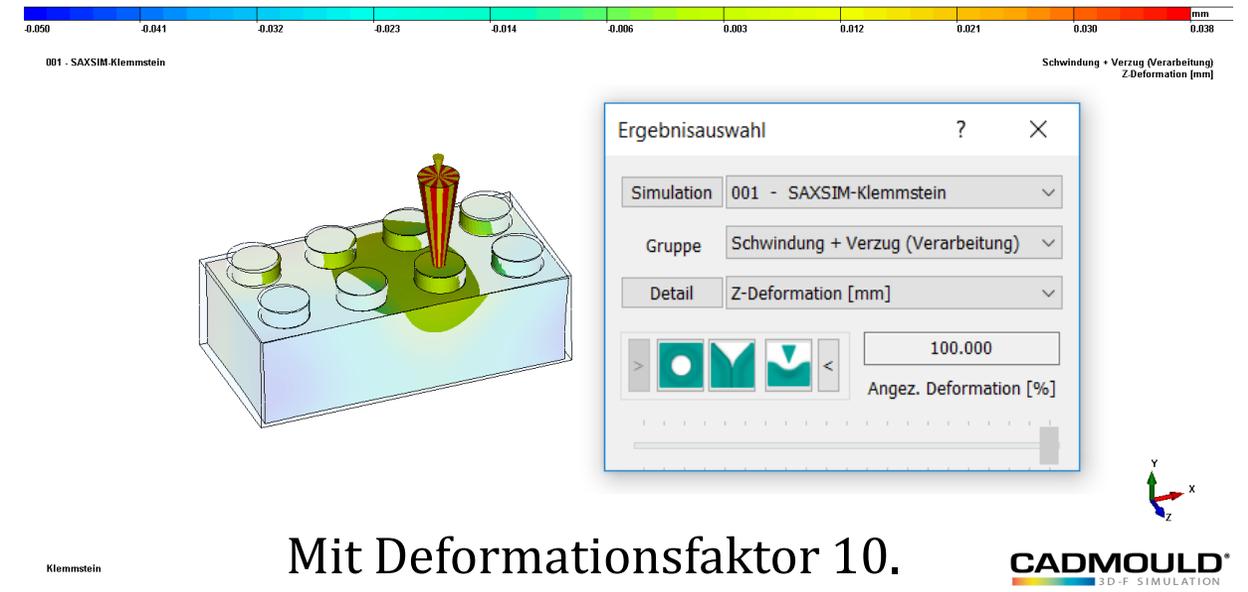
Simulation 001 - SAXSIM-Klemmstein

Gruppe Formteilqualität

Detail Siegelzeit [s]

0.00000 100.000

Zeit [s] Füllstand



Ergebnisauswahl ? X

Simulation 001 - SAXSIM-Klemmstein

Gruppe Schwindung + Verzug (Verarbeitung)

Detail Z-Deformation [mm]

100.000

Angez. Deformation [%]

Mit Deformationsfaktor 10.

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit.**