KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN

KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Simulation des Einflusses der thermischen Eigenschaften des Werkzeugstahls auf den Spritzgießprozess

Thomas Lucyshyn

26.02.2016

4a TECHNOLOGIETAG

MONTAN UNIVERSITÄT

Otto Glöckel-Straße 2, A-8700 Leoben, Tel.: +43 3842 402 3501
kv@unileoben.ac.at
www.kunststofftechnik.at

Inhalt

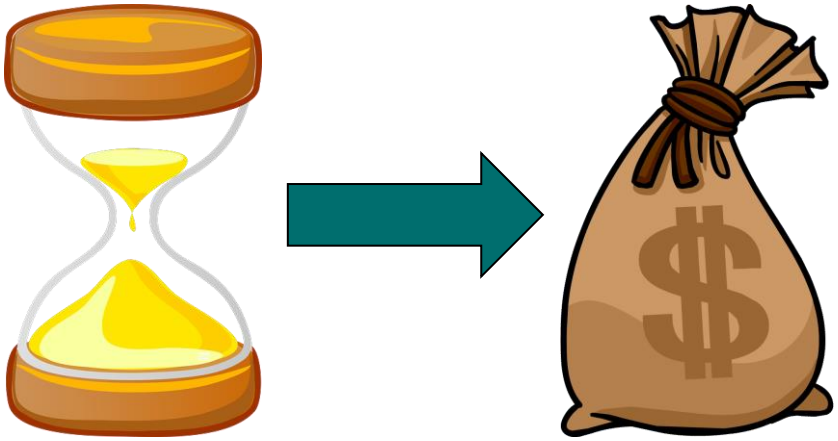
- Motivation und Zielsetzung
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- Validierung des Regressionsmodells
- Zusammenfassung und Ausblick

Inhalt

- **Motivation und Zielsetzung**
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- Validierung des Regressionsmodells
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation

- Zykluszeit ist wesentlicher ökonomischer Faktor im Spritzguss



- Welchen Einfluss hat Werkzeugmaterial auf Zykluszeit
  - Wie groß ist dieser Einfluss?
  - Ist das bei jedem Kunststoff gleich?
  - Wodurch wird die Wirkung des Werkzeugmaterials beeinflusst?

Zielsetzung

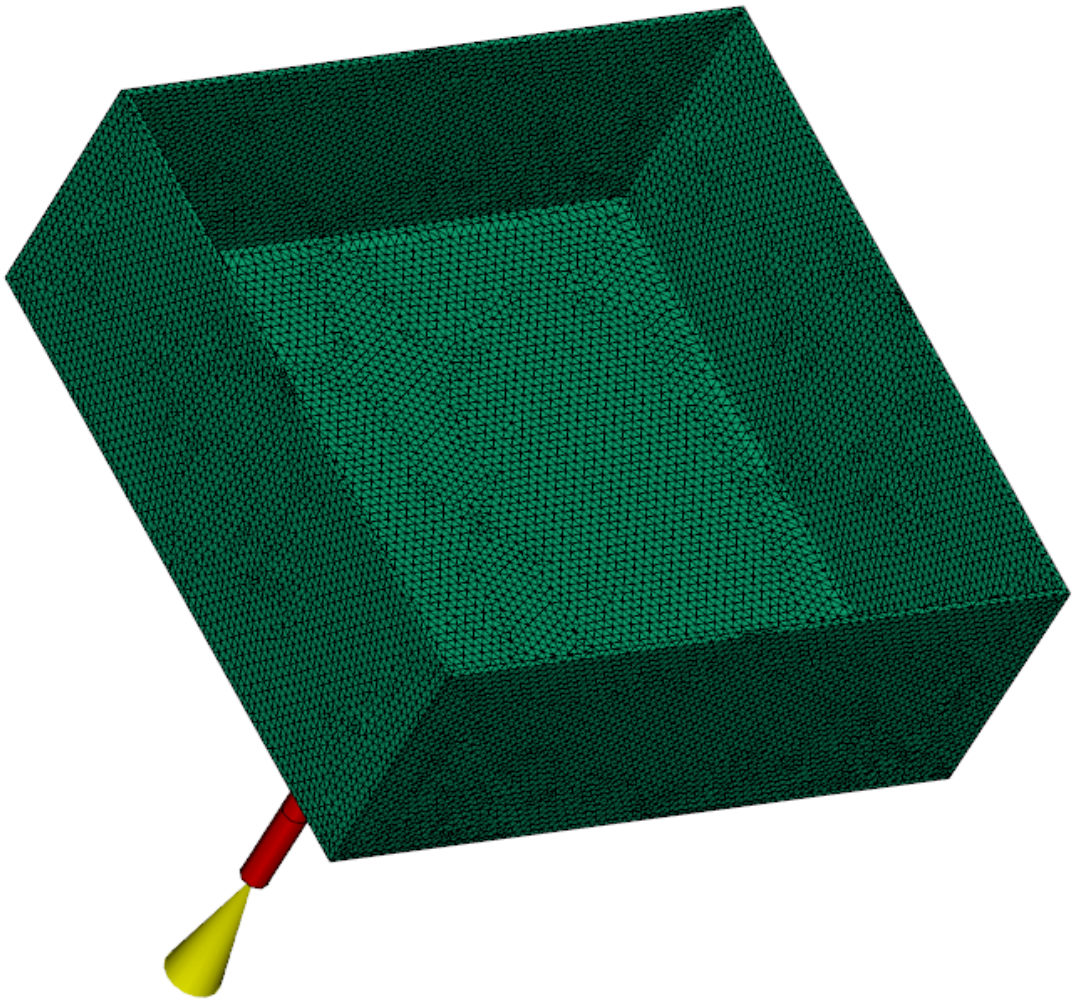
- Untersuchung des Einflusses der thermischen Daten des Werkzeugmaterials auf Spritzgießprozess und Bauteil
  - Vergleich der Stähle 1.2343 ESU und W620 ISOBLOC von Böhler
  - Zykluszeitreduktion als Hauptfokus
  - Einfluss auf Fülldruck, Schließkraft und Verzug

- Parameterstudie mit Autodesk Moldflow Insight 2016
  - Bauteil mit zwei unterschiedlichen Wanddickenvariationen
  - Zwei Werkzeugstähle für gesamtes Werkzeug
  - 3D-Modell des Werkzeugs und Bauteils
  - Transiente 3D-FEM-Kühlsimulation
  - Faktorenversuchsplan mit „Modell"-Polymer
  - Studie mit 18 kommerziellen Polymeren
  - Exemplarische Simulation mit Stahlvariation nur im Kerneinsatz

Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- **3D-Modellierung des Werkzeugs**
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- Validierung des Regressionsmodells
- Zusammenfassung und Ausblick

3D Bauteilmodell



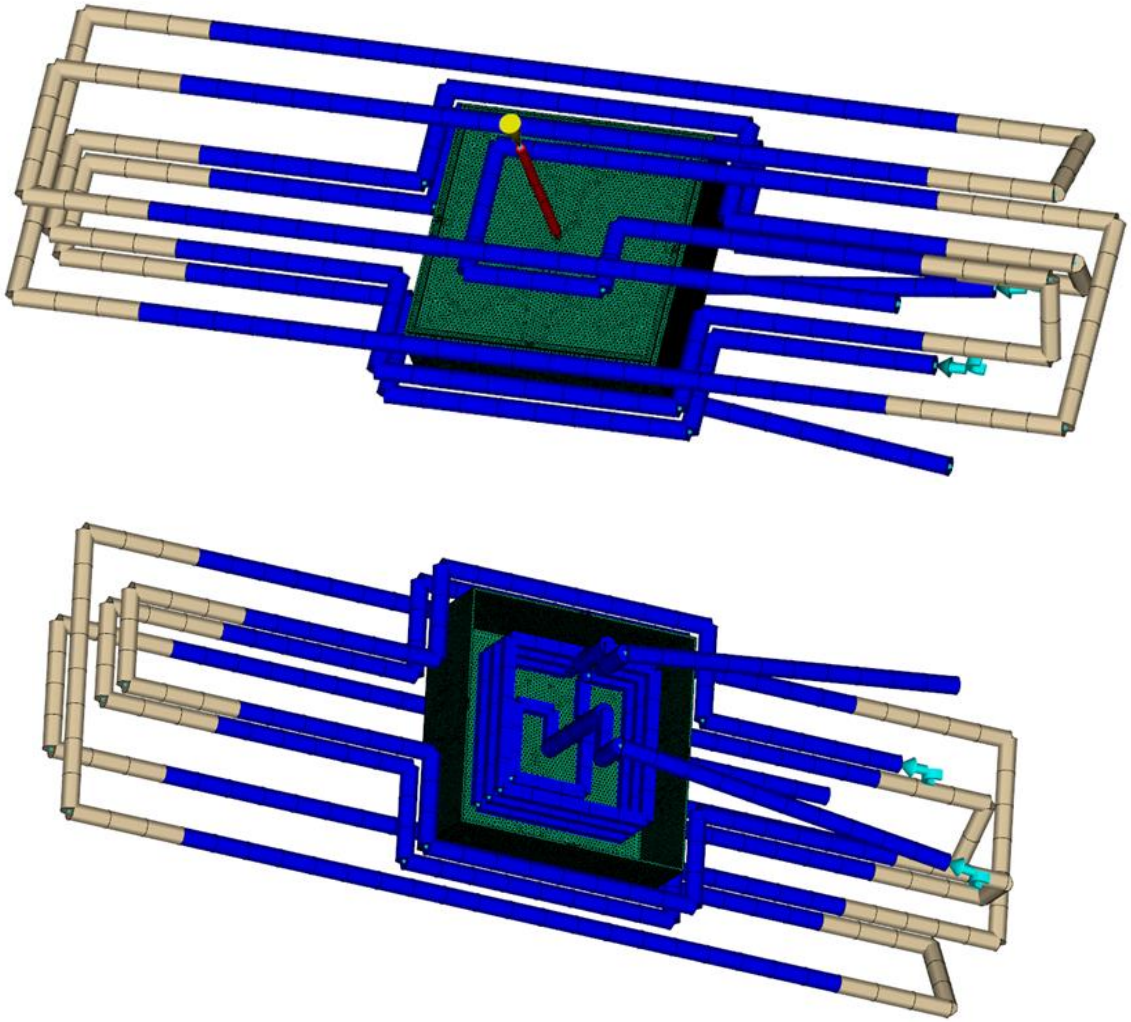
Schachtel:

100 x 100 x 40 mm³

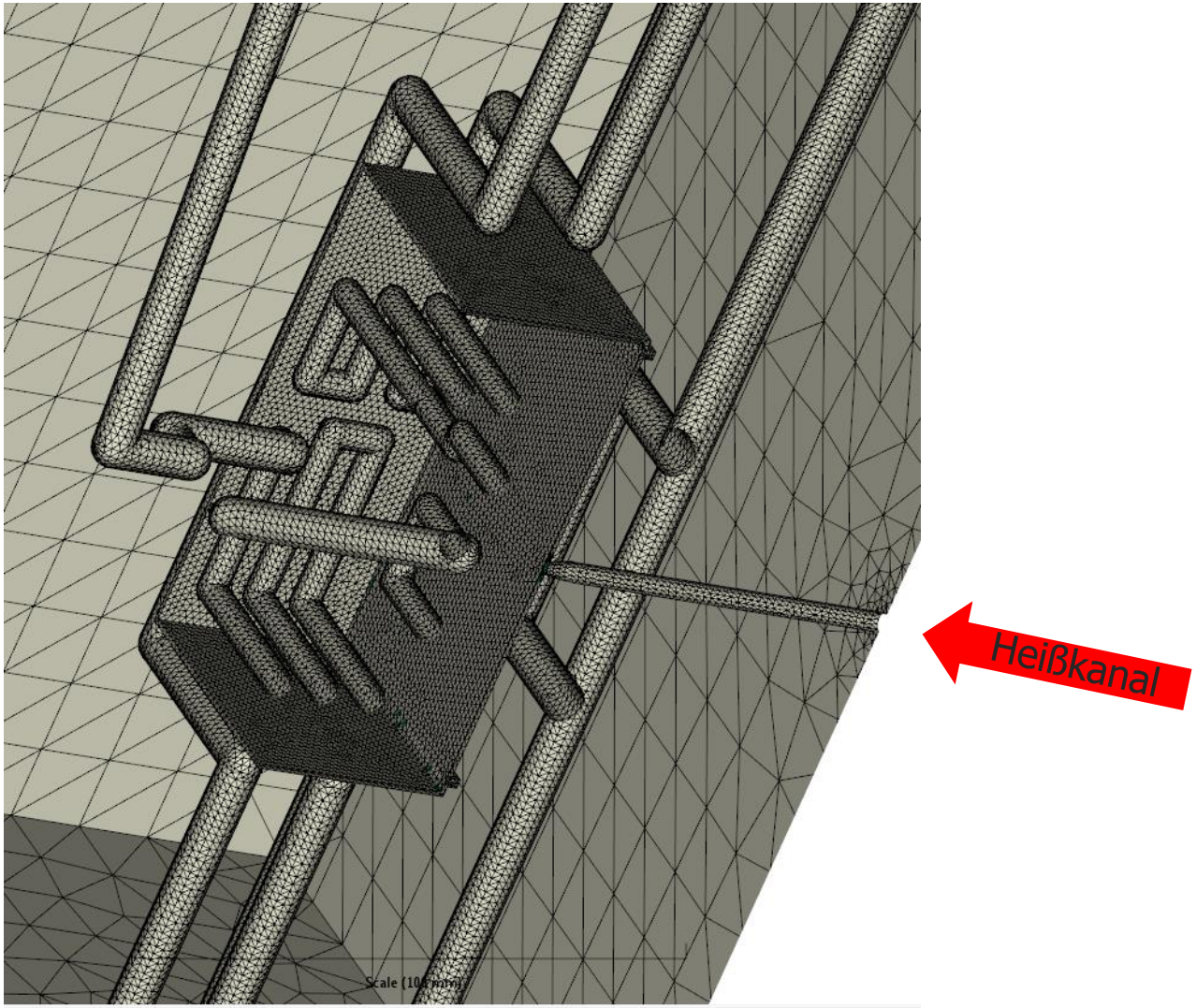
Wanddicke 1 oder 3 mm

Heißkanal mit erstarrendem Anguss am Bauteil, um Temperatureinfluss des Heißkanals zu eliminieren

Kühlsystem als 1-dimensionale Beam-Elemente



Schnittansicht des 3D-Werkzeugmodells



KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Thermische Eigenschaften der Stähle

Eigenschaft	1.2343 ESU	W620 ISOBLOC
Dichte (kg/m³)	7780	7944
Spezifische Wärmekapazität (J/(kg*K))	480	473
Wärmeleitfähigkeit (W/(m*K))	26	49
Thermischer Ausdehnungskoeffizient (1/K)	$1{,}04*10^{-5}$	$9{,}3*10^{-6}$

~ Faktor 2

KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Eckdaten der Simulationen

- ~ 740.000 Tetraeder-Elemente für das Bauteil
- ~ 2,6 Mio. Tetraeder-Elemente für das Werkzeug
- Gesamtes Werkzeug 1.2343 ESU oder W620 ISOBLOC
- Transiente 3D-FEM Kühlberechnung (quasistationär)
- Kompletter Spritzgießzyklus inkl. Verzugsberechnung
- Rechenzeit auf PC mit 8 Prozessoren und 32 GB RAM: < 3 h
- Ca. 170 Simulationen durchgeführt

Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- **Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren**
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- Validierung des Regressionsmodells
- Zusammenfassung und Ausblick

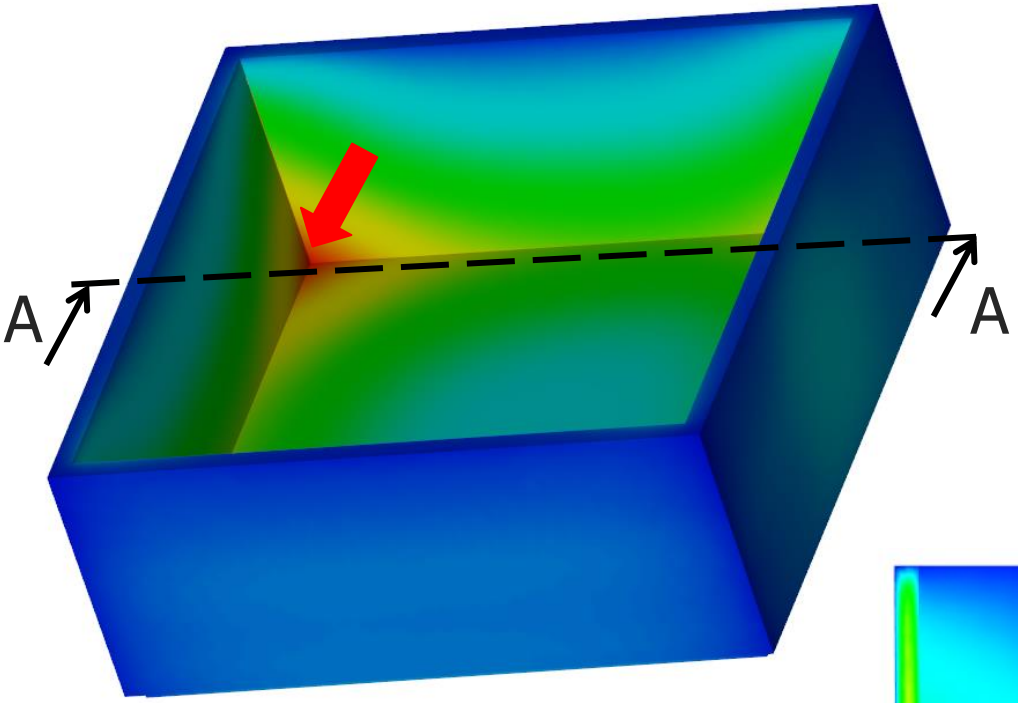
Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren

- 18 häufig genutzte Materialklassen analysiert
- Für jedes Material empfohlene Einstellparameter verwendet (Masse-, Werkzeug- und Entformungstemperatur)
- Für jedes Material und beide Wandstärken individuelle minimale Zykluszeit für 1.2343 ESU ermittelt
- Einstellungen des 1.2343 ESU auch für Simulation des W620 ISOBLOC verwendet
- Auswertung der Zeit bis zum Erreichen der Entformungs-temperatur an gleicher (wärmster) Stelle im Bauteil
- Zykluszeitreduktion von W620 ISOBLOC gegenüber 1.2343 ESU ausgewertet

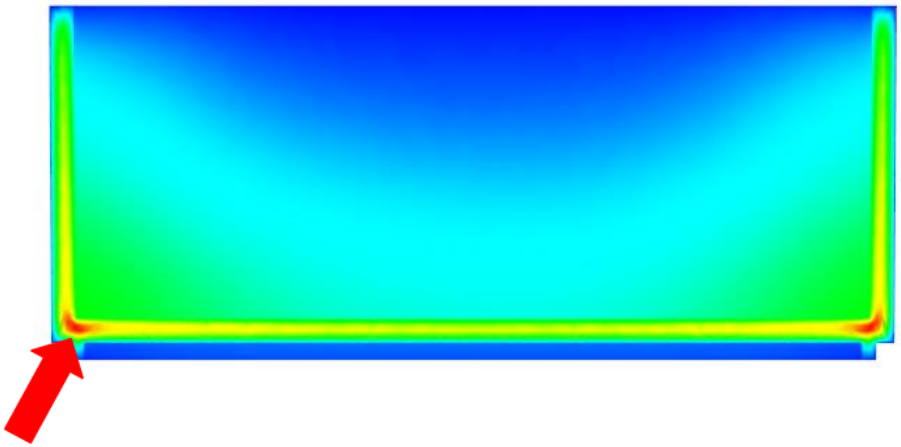
Übersicht über Materialien

Type	Hersteller	Polymer	Morphologie	Füllstoffe
Lustran ABS LGA	INEOS ABS	ABS	amorph	-
Cycoloy LG8002	SABIC Innov. Pl. US,LLC	ABS/PC	amorph	-
Marlex 9004 PE	Chevron Philips	HDPE	teilkristallin	-
Zytel ST801HS NC010	DuPont Perf. Polymers	PA66	teilkristallin	-
Ultramid A3WG6	BASF	PA66	teilkristallin	GF30
Pocan B 1505	Lanxess	PBT	teilkristallin	-
Ultradur B 4300 G6 HR	BASF	PBT	teilkristallin	GF30
Lexan ML7681	SABIC Innov. Pl. US,LLC	PC	amorph	-
Lexan 3413	SABIC Innov. Pl. US,LLC	PC	amorph	GF30
J125	Mitsui Chemicals Co Ltd	PET	teilkristallin	-
Rynite FR530 NC010	DuPont Perf. Polymers	PET	teilkristallin	GF30
Plexiglas 8N	Evonik Roehm GmbH	PMMA	amorph	-
Ultraform N2320 003	BASF	POM	teilkristallin	-
RJ766MO	Borealis Europe	PP	teilkristallin	-
Hostacom G3 U01	SF Hoechst	PP	teilkristallin	GF30
Fortron 6162A7	Celanese	PPS	teilkristallin	-
Supec G301T	SABIC Innov. Pl. US,LLC	PPS	teilkristallin	GF30
Polystyrene 804	TOTAL Petrochemicals	PS	amorph	-

Auswertepunkt der 3 mm Schachtel in Ecke Bauteiltemperatur am Ende der Kühlung



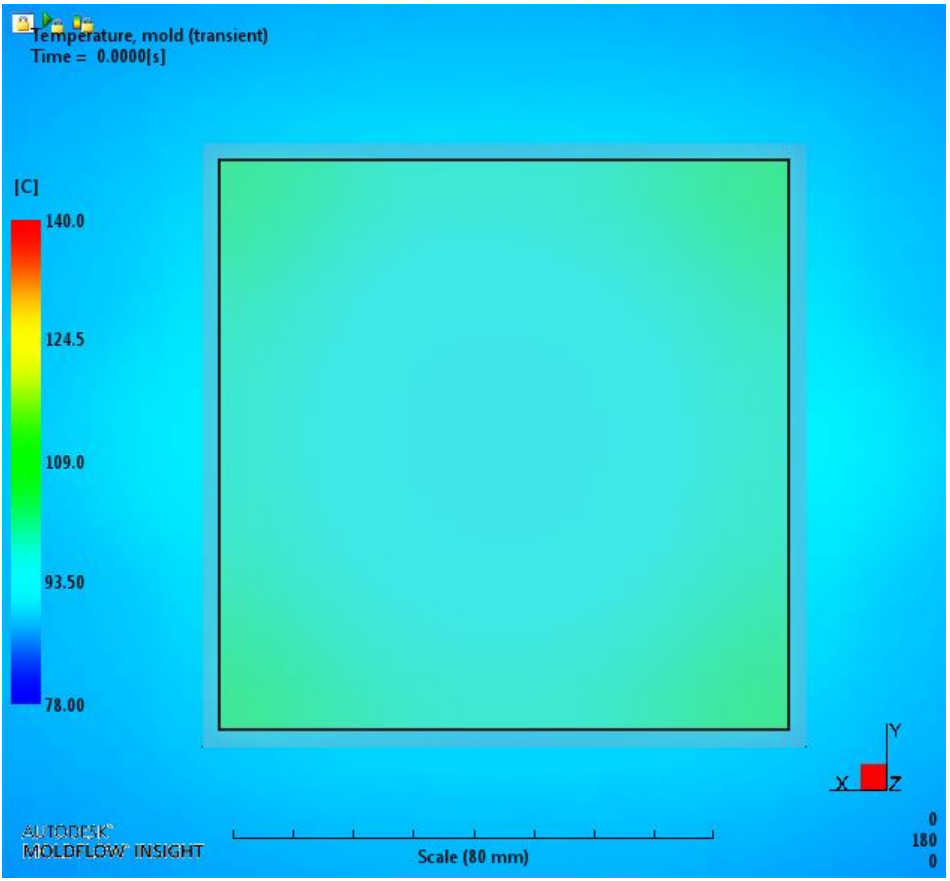
Schnitt A-A

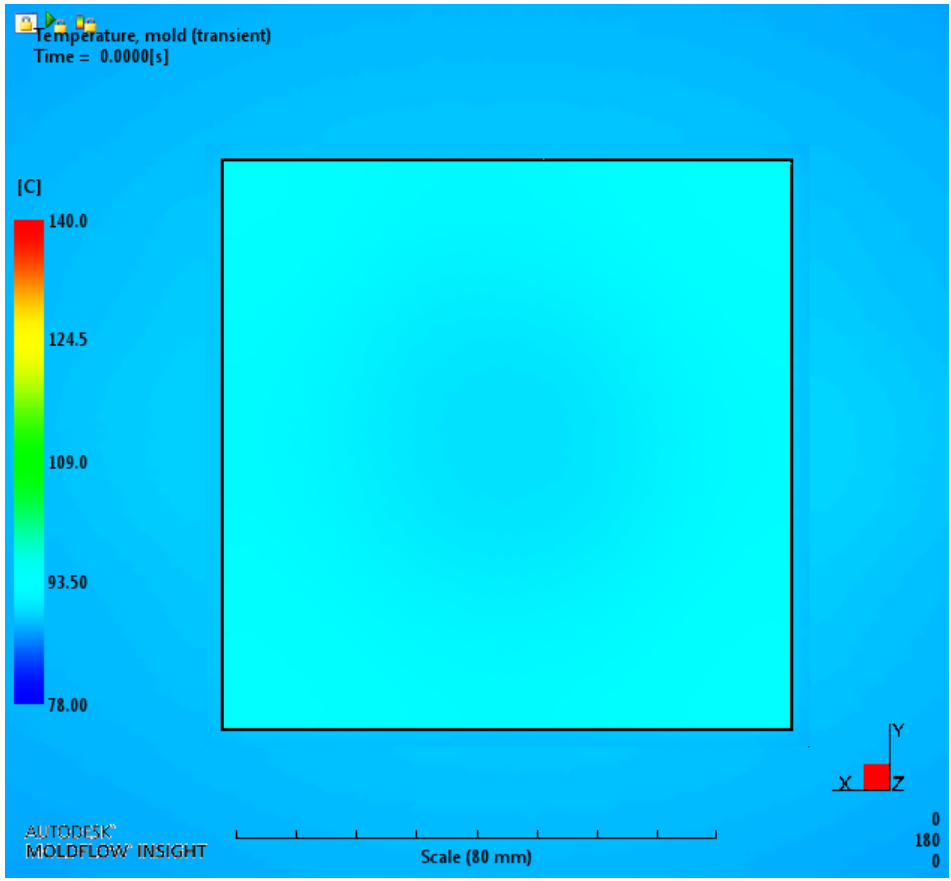


KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Zeitlicher Temperaturverlauf des Kerns im Vergleich 1.2343 ESU und W620 ISOBLOC

1.2343 ESU ABS/PC W620 ISOBLOC

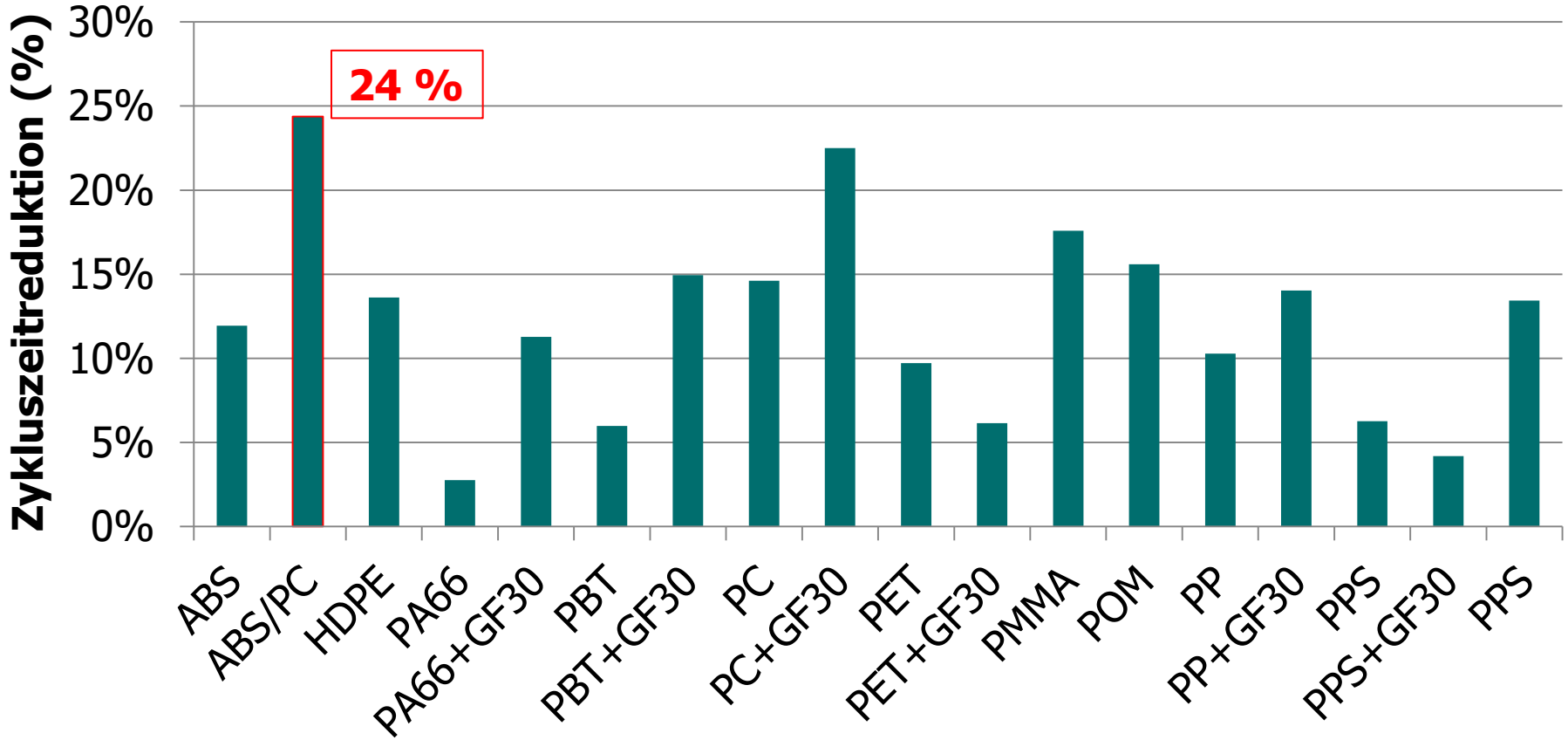




KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

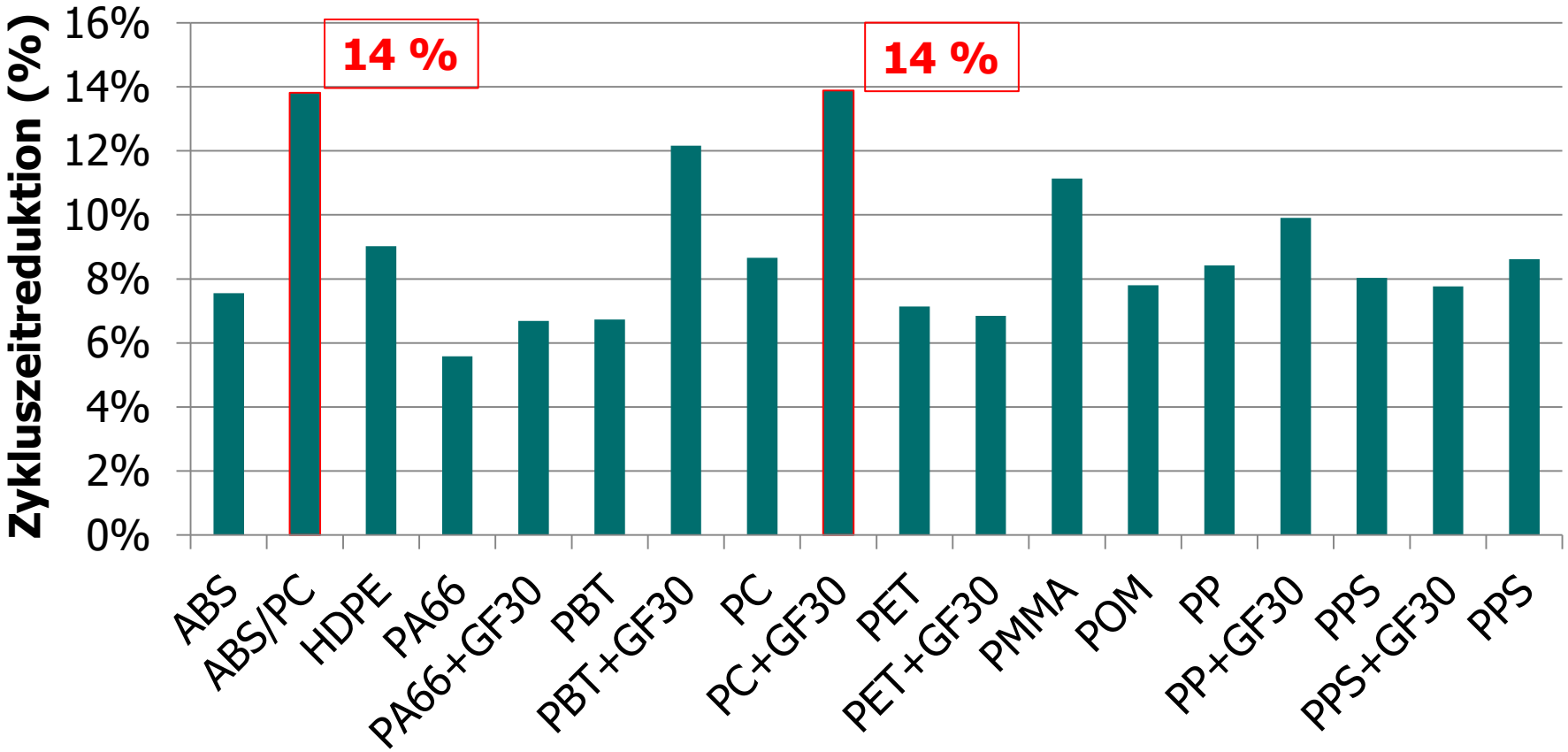
Zykluszeitreduktion 1 mm Schachtel

$$\text{Zykluszeitreduktion}(\%) = \frac{t_{Zyklus,1.2343ESU} - t_{Zyklus,W620ISOBLOC}}{t_{Zyklus,1.2343ESU}} \cdot 100\%$$



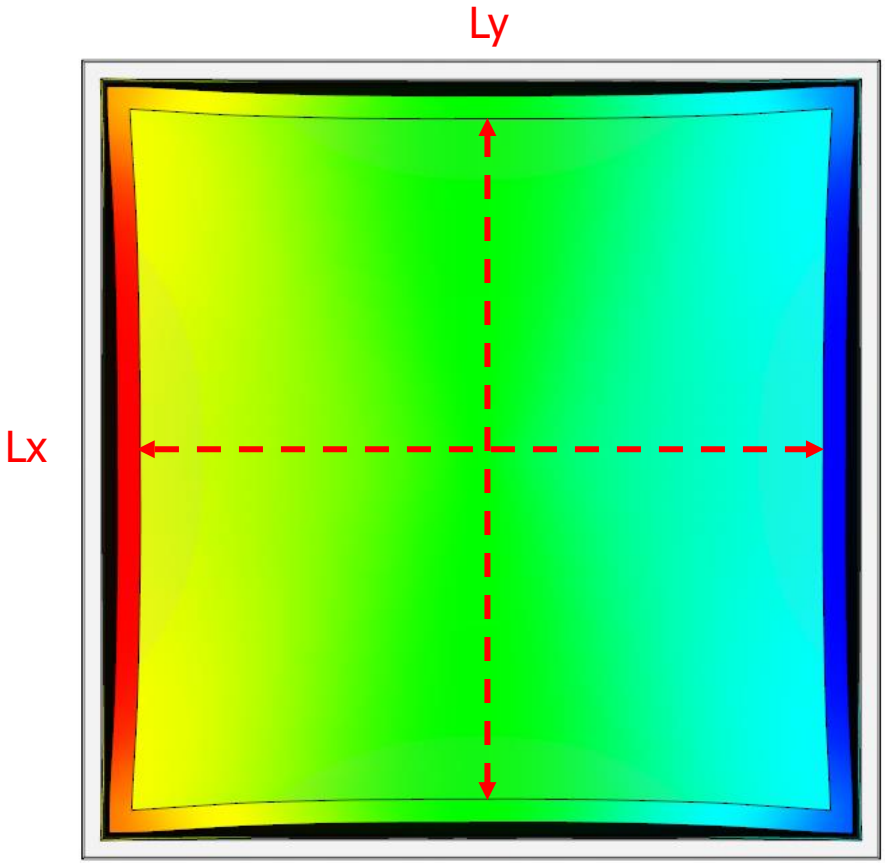
Zykluszeitreduktion 3 mm Schachtel

$$\text{Zykluszeitreduktion}(\%) = \frac{t_{Zyklus,1.2343ESU} - t_{Zyklus,W620ISOBLOC}}{t_{Zyklus,1.2343ESU}} \cdot 100\%$$



Schwindungs-/Verzugsergebnis

Auswertung der Deformation von 2 Dimensionen (Einfallen der Seitenwände auf der offenen Seite der Schachtel)

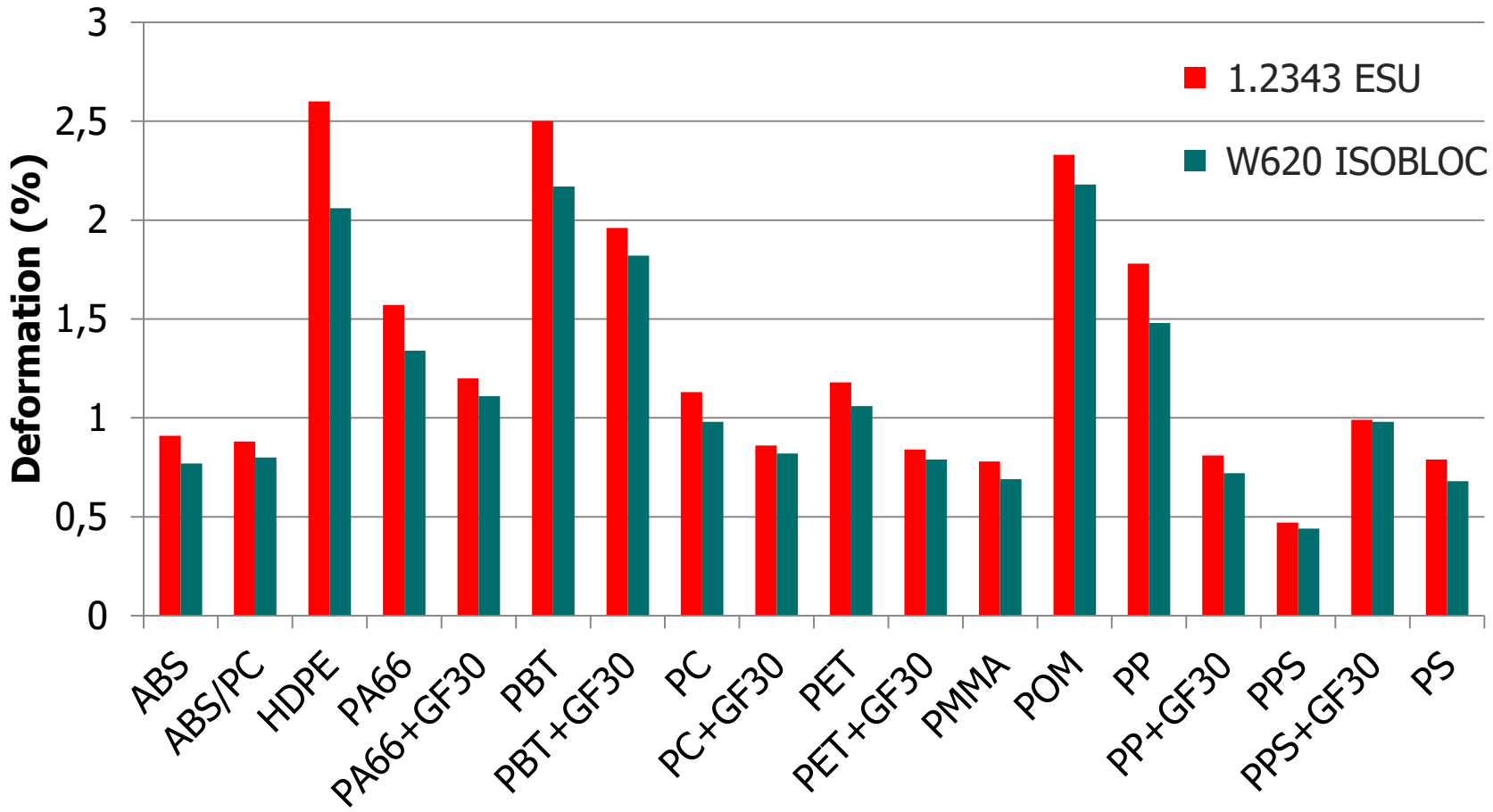


Skalierungsfaktor 10

KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Deformation der 3 mm Schachtel

Examplarisch für x-Achse (fast identisch zur Deformation in y-Richtung)



KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Einfluss des Stahls auf Fülldruck und Schließkraft

- Auswertung des Drucks im Umschaltpunkt
  - Geringfügige Druckerhöhung bei W620 ISOBLOC (< 5%)

- Auswertung der maximalen Schließkraft im Zyklus
  - Vernachlässigbare Schließkraftänderung bei W620 ISOBLOC

↓

Keine Verschlechterung der Produktionsbedingungen!

Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- **Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion**
- Validierung des Regressionsmodells
- Zusammenfassung und Ausblick

Korrelationsmodell

- Gezeigte Ergebnisse nur gültig für untersuchte Polymere
- Um allgemeines Ergebnis oder sogar Vorhersage für unterschiedliche Polymere zu erhalten → Korrelationsmodell erforderlich
- Temperaturen (Entformung, Werkzeug und Masse) als wichtigste Einflussfaktoren auf Reduktionspotenzial der Kühlzeit identifiziert
- Daher wurde Koeffizient t_diff definiert:
  - beinhaltet die drei Temperaturen
  - basierend auf „Kühlzeitgleichung" (für Spritzgießteile der Dicke $s_{Bauteil}$), die in Literatur weit verbreitet ist

KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Koeffizient t_diff

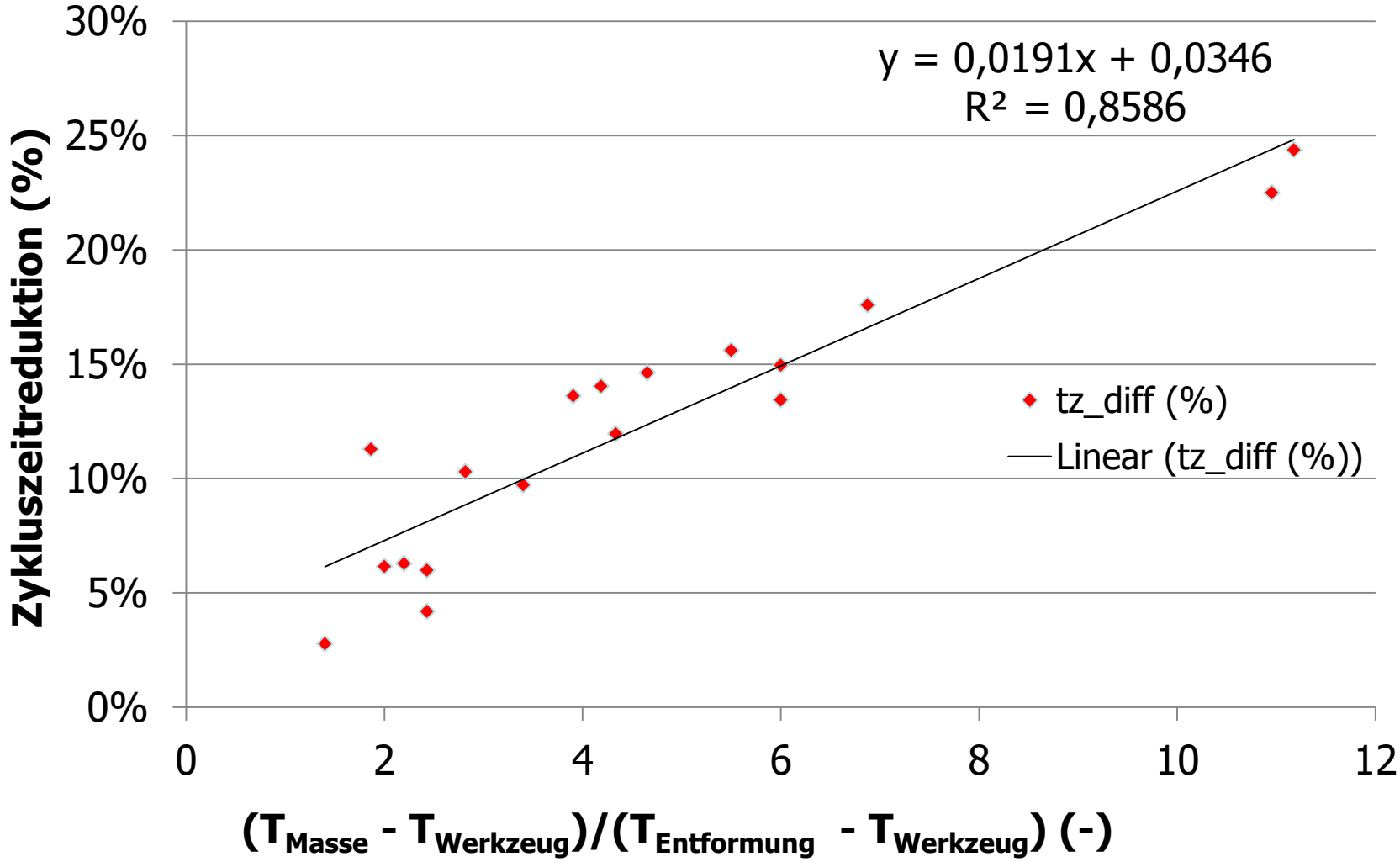
$$t_{Kühlzeit} = \frac{s_{Bauteil}^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \boxed{\frac{T_{Masse} - T_{Werkzeug}}{T_{Entformung} - T_{Werkzeug}}}\right)$$

$$t_diff(\%) = f\left(\frac{T_{Masse} - T_{Werkzeug}}{T_{Entformung} - T_{Werkzeug}}\right)$$

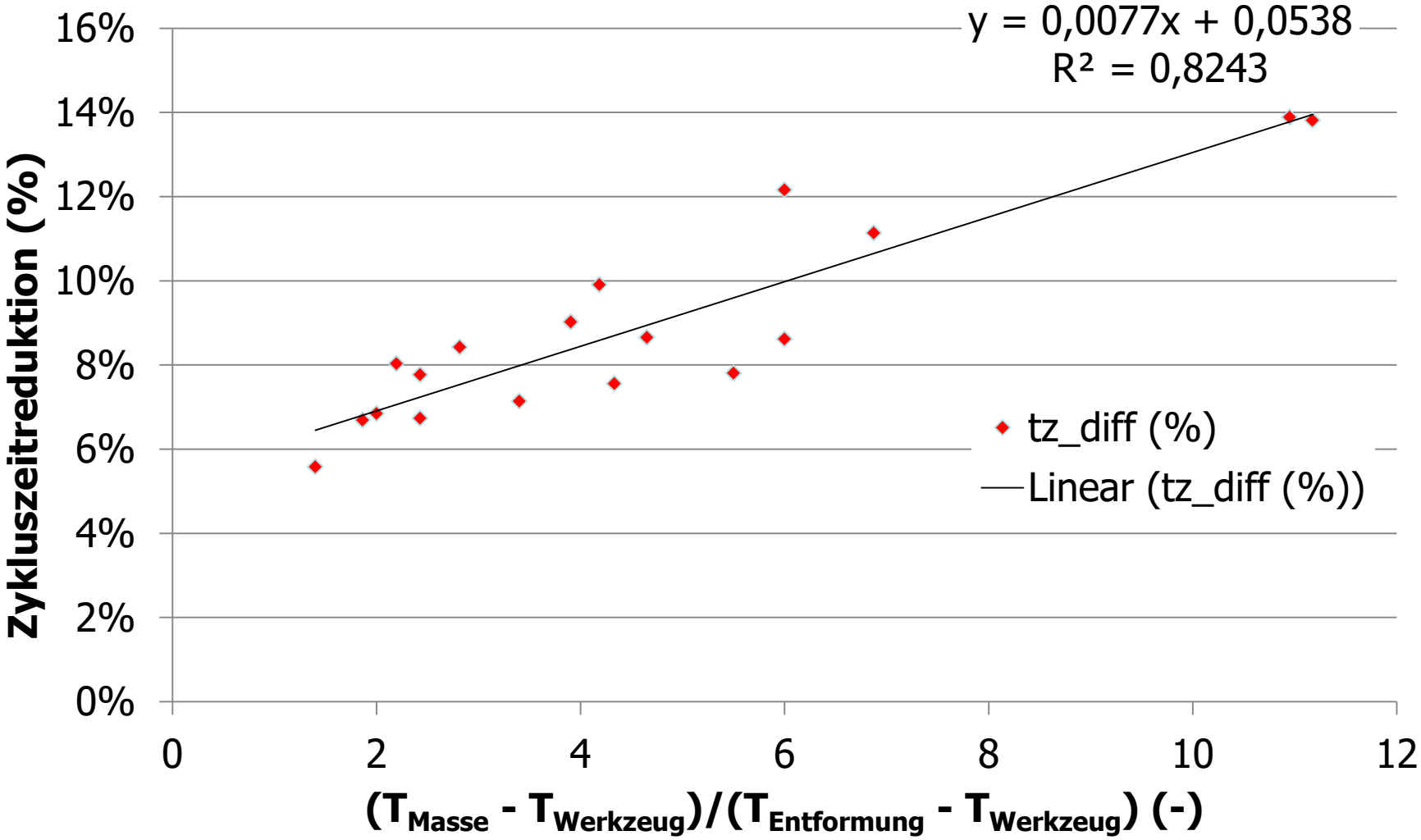
Korrelationsmodell

- Basierend auf den 18 untersuchten Materialien wurde individuelle Korrelation für beide Wanddickenvarianten erstellt
- Einfache lineare Beziehung zwischen relativer Zykluszeitreduktion und t_diff → zufriedenstellender Zusammenhang
- Korrelationsmodell soll fähig sein, die relative Zykluszeitreduktion für anderes Polymer vorherzusagen
- Anmerkung: Diese Korrelation ist nur für die spezielle Geometrie und Kühlsituation gültig und kann nicht einfach auf andere Situationen übertragen werden!

Korrelationsmodell für 1 mm Schachtel



Korrelationsmodell für 3 mm Schachtel



Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- **Validierung des Regressionsmodells**
- Zusammenfassung und Ausblick

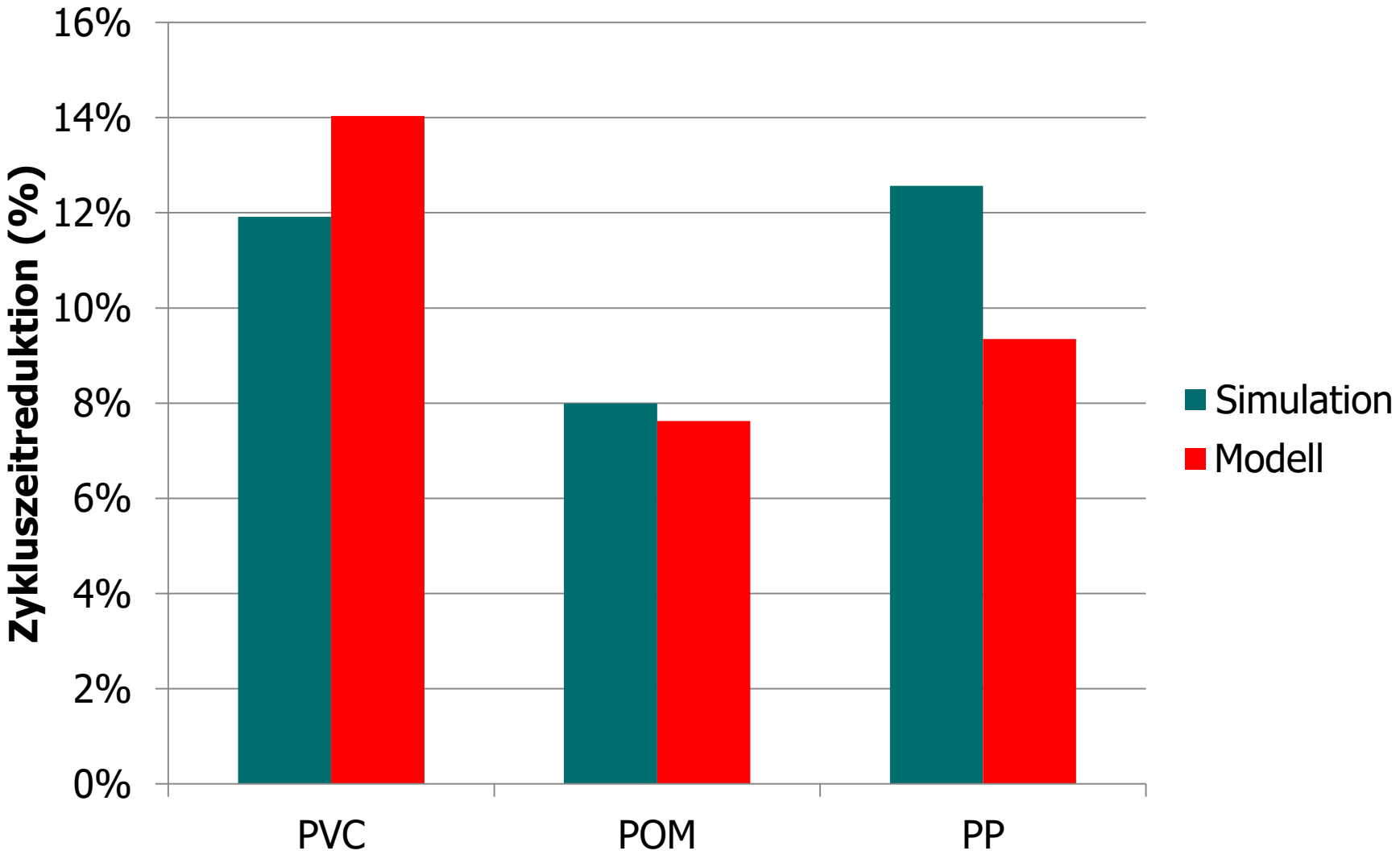
Validierung des Korrelationsmodells

- 3 Materialien zufällig aus Moldflow Datenbank ausgewählt

Type	Hersteller	Polymer	Morphologie	Füllstoff
V-1	Hepworth Building	PVC	amorph	-
Kepital F10-02	Korea Engineering Plastics Company Ltd.	POM	teilkristallin	-
J-3021GR	Prime Polymer Co Ltd	PP	teilkristallin	-

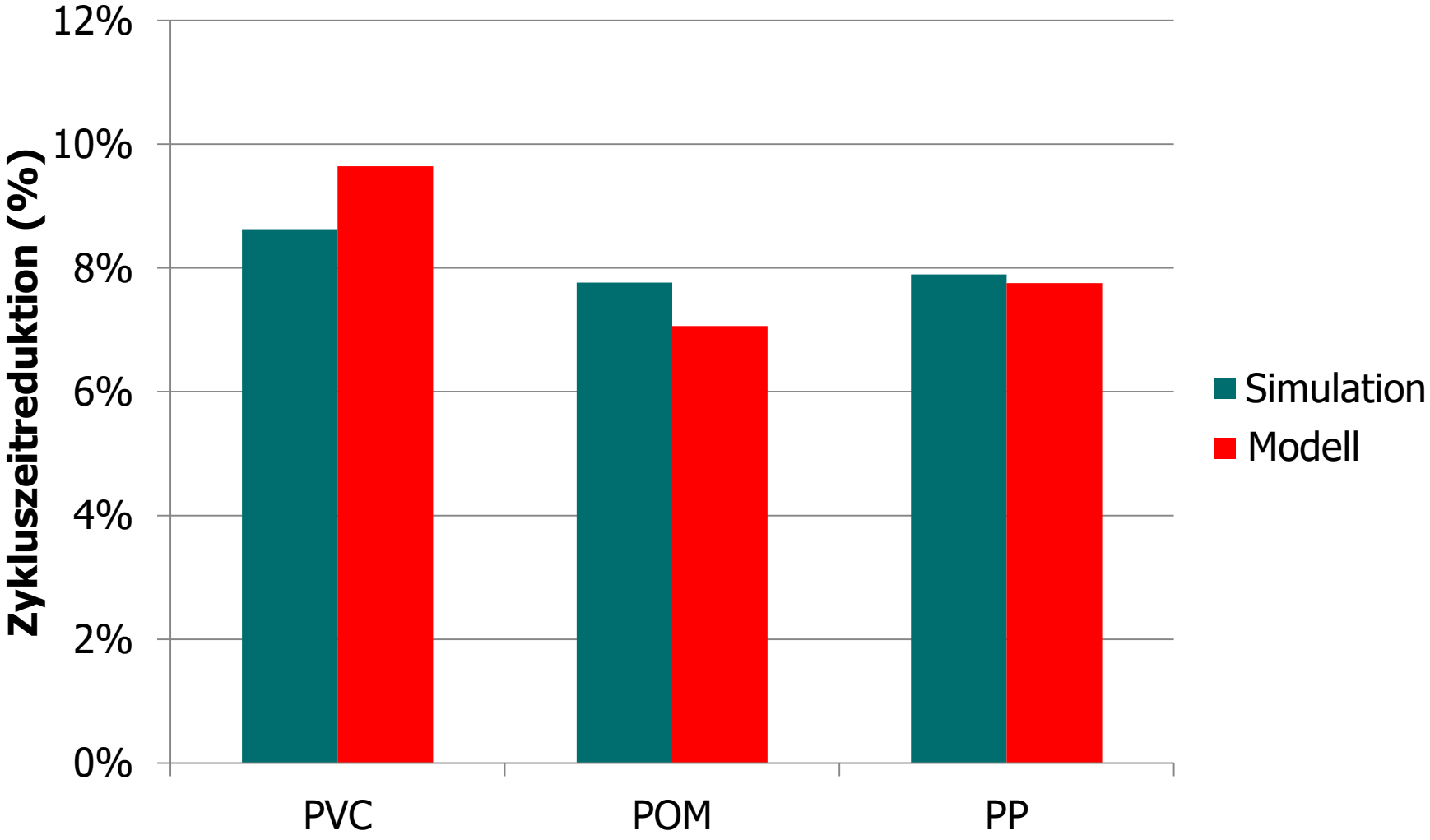
- Durchführung der Simulation analog zu vorher
- Vergleich der Simulationsergebnisse mit Vorhersage auf Basis des Korrelationsmodells mit den drei Temperaturen (Entformung, Masse, Werkzeug)

Vergleich zwischen Simulation und Modell für 1 mm



KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Vergleich zwischen Simulation und Modell für 3 mm



KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Inhalt

- Motivation und Zielsetzung
- 3D-Modellierung des Werkzeugs
- Parameterstudie mit kommerziellen Polymeren
- Regressionsmodell Polymer – Zykluszeitreduktion
- Validierung des Regressionsmodells
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Zusammenfassung Ergebnisse 1

- Große Unterschiede in Effekt des Stahls auf Zykluszeit:
  - 1 mm Schachtel: 3 bis 24% Zykluszeitreduktion
  - 3 mm Schachtel: 6 bis 14% Zykluszeitreduktion

- Wirksamkeit des Stahls hauptsächlich abhängig von:
  - Entformungstemperatur
  - Werkzeugtemperatur
  - Massetemperatur

$$t_diff(\%) = f\left(\frac{T_{Masse} - T_{Werkzeug}}{T_{Entformung} - T_{Werkzeug}}\right)$$

KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG

Zusammenfassung Ergebnisse 2

- Regressionsmodell mit linearem Zusammenhang zwischen Temperaturkoeffizient und Zykluszeitreduktion gefunden
- Validierung mit 3 zufällig ausgewählten Polymeren → Prognosen über Wirksamkeit des Stahls möglich
- Verzug durch W620 ISOBLOC verbessert
- Keine negativen Auswirkungen auf Fülldruck und Schließkraft

Ausblick

- Experimentelle Untersuchungen gerade durchgeführt
- Kerneinsätze aus 1.2343 ESU und W600 ISOBLOC
- IR-Thermografie zur Messung der Bauteiltemperatur nach der Entformung
- Simulation mit Prozessparametern aus Experimenten
  - 3D-Werkzeugmodell mit Modellierung der Kerneinsätze sowie 3D-FEM-Kühlberechnung der Wasserströmung im Einsatz
  - 2 Wanddicken und 2 Materialien
- Vergleich der Ergebnisse aus Experiment und Simulation

Danksagung

Böhler Edelstahl GmbH & Co KG
für die finanzielle Unterstützung

Lara-Vanessa Des Enffans d´Avernas
für die Durchführung und Auswertung der vielen Simulationen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt:
Ass.-Prof. Dr. Thomas Lucyshyn
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung
Department Kunststofftechnik
Montanuniversität Leoben
Otto Glöckel-Straße 2
8700 Leoben
thomas.lucyshyn@unileoben.ac.at
+43 – (0)3842 – 402 – 3510

KUNSTSTOFF TECHNIK LEOBEN
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG