Transfercenter für Kunststofftechnik GmbH

TCKT

Werkstoffcharakterisierung | Materialentwicklung | Prozesstechnik | Simulation-CAE

pvT-Verhalten von Polymeren unter Verarbeitungsbedingungen und Implementierung in die Prozess-Simulation

R. Freytag, J. Pérez, S. Jilg

28.02.2014

Inhalt

- Einleitung
  - Vorstellung TCKT
  - pvT-Verhalten von Polymeren
  - Pirouette
- Material und Methode
- Ergebnisse
  - Einfluss von Kühlrate und Druck
  - Vergleich Pirouette / Moldflow für teilkristalline und amorphe Polymere
  - Implementierung in die Prozess-Simulation
- Zusammenfassung

Vorstellung TCKT

Wir sind ihr **Partner** für anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung im Kunststoffbereich.

Gegründet 2001 als Abteilung der Upper Austrian Research GmbH,
2008 Ausgliederung als eigenständige Gesellschaft.

Eigentümerverhältnis:

74%	Upper Austrian Research GmbH
13%	FH OÖ, Forschungs & Entwicklungs GmbH
13%	Johannes Kepler Universität Linz

Mitarbeiterstand: 32 Beschäftigte (Stand 31.12.2013),
davon 11 Frauen
davon 13 Akademiker

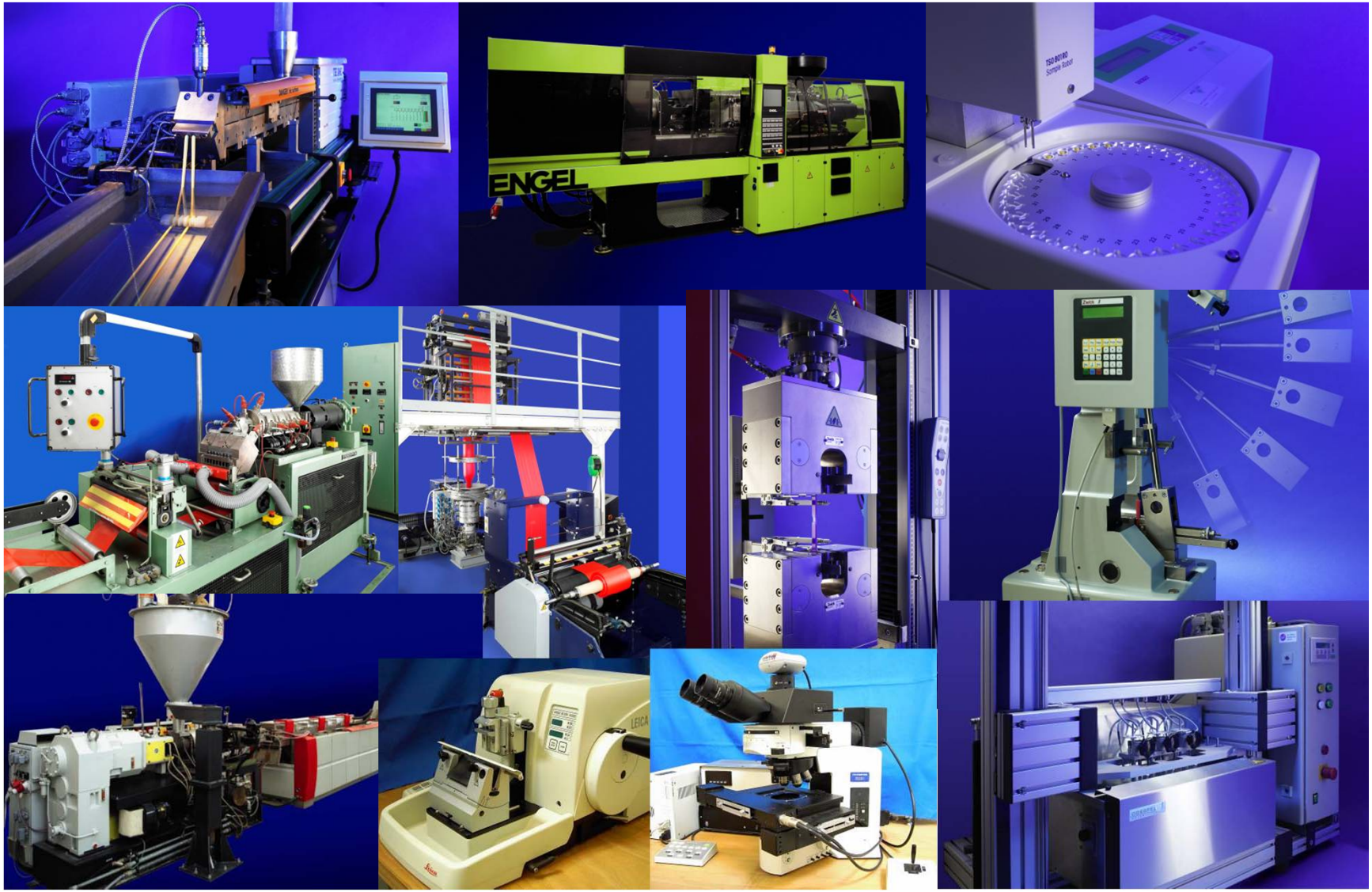
Vorstellung TCKT

Das TCKT ist ein modernes Dienstleistungsunternehmen, bei dem Beratung und aktive Hilfe für Sie im Vordergrund steht. Unsere Schwerpunkte liegen auf den Gebieten:

- **Werkstoffcharakterisierung**
  Akkreditiertes Prüflabor seit 2004
- **Material- und Compoundentwicklung**
  neuartige Füll- und Verstärkungsstoffe, Additive und Naturfasern
- **Prozesstechnik**
  Spritzguss, Extrusion, Composite
- **Simulation-CAE**
  Spritzgusssimulation, thermische Auslegung von Spritzgieß-werkzeugen, strukturmechanische Berechnungen

Unsere Arbeit erfolgt entweder als direktes Auftragsprojekt oder im Rahmen einer Forschungskooperation.

Ausstattung TCKT



pvT - Verhalten

Polymerschmelzen sind unter Druck stark kompressibel. In einer Spritzgießmaschine können Schmelzen bis zu 15% komprimiert werden. Bei einer hohen Einspritzgeschwindigkeit ist die Kompression höher als bei einer niedrigen.

Zusätzlich zum Einfluss des Druckes auf das spezifische Volumen spielt auch die Temperaturänderung eine wichtige Rolle. Aufgrund der großen Temperaturänderungen in der Kavität während der Formfüllung muss auch dieser Einfluss berücksichtigt werden.

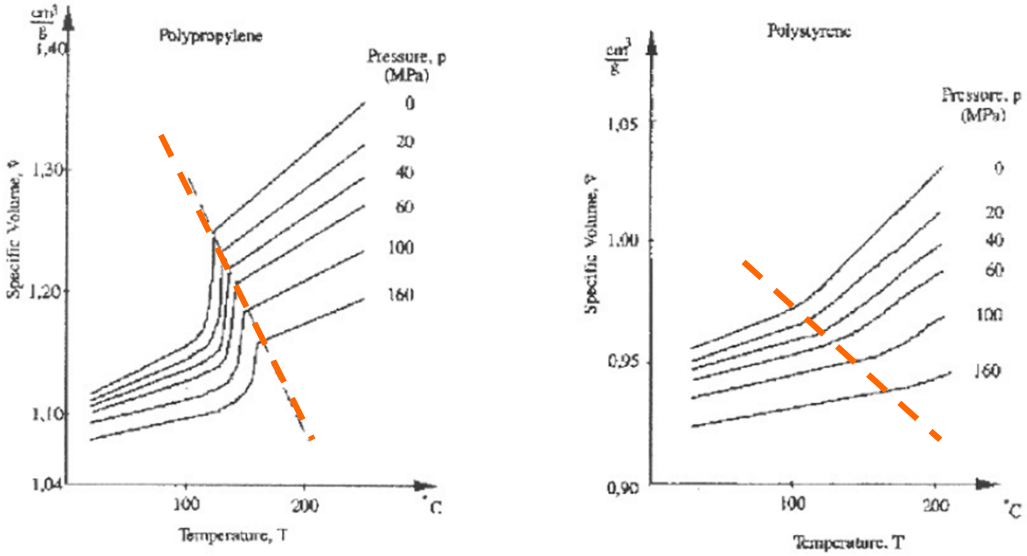
pvT-Daten haben in der Füllphase auf folgende Prozessgrößen einen großen Einfluss:

- Fließfrontgeschwindigkeit
- Schergeschwindigkeit
- Dissipative Schererwärmung
- Schmelzetemperatur
- Viskosität
- Schubspannung
- Vorhersage von short shots

pvT-Verhalten

Um den Kurvenverlauf mathematisch zu beschreiben verwendet Autodesk Moldflow den **2nd Domain Tait-Ansatz**, der aus drei Teilen besteht, die jeweils einen bestimmten Bereich erfassen: **Feststoff, Übergangsbereich und Schmelzezustand**.

Der Übergangsbereich wird durch die strichlierte Linie charakterisiert und beschreibt das Verhalten beim Kristallitschmelzpunkt bzw. bei der Glasübergangstemperatur.



pvT-Daten für einen teilkristallinen (PP) und einen amorphen (PS) Kunststoff

pvT – 2nd Domain Tait Modell

Charakterisiert das pvT-Verhalten von Thermoplasten (teilkristallin, amorph)

$$V(T,p) = V0(T)\left[1 - C\ln\left(1 + \frac{p}{B(T)}\right)\right] + vt(T,p)$$

V (T, p) … spez. Volumen bei einer bestimmten Temperatur und Druck
V0 (T) … spez. Volumen bei p=0 bar
C … Konstante (C = 0,0894)

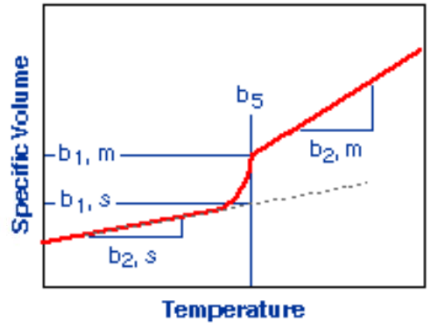
Übergangsbereich

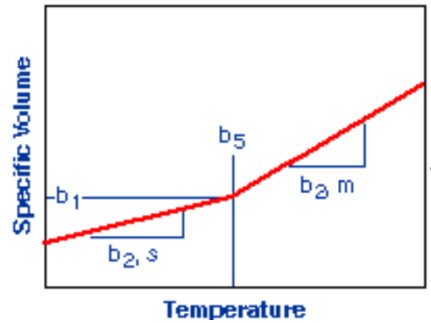
Feststoff ***s***:

$$Vo = b1s + b2s(T - b5)$$
$$B(T) = b3s * e^{[-b4s(T-b5)]}$$
$$Vt(T,p) = b7e^{[(b8(T-b5))-(b9\,p)]}$$

Schmelze ***m***:

$$Vo = b1m + b2m(T - b5)$$
$$B(T) = b3m * e^{[-b4m(T-b5)]}$$
$$Vt(T,p) = 0$$





Übergangstemperatur Tc

$$Tc\,(p) = b5 + b6 * p$$

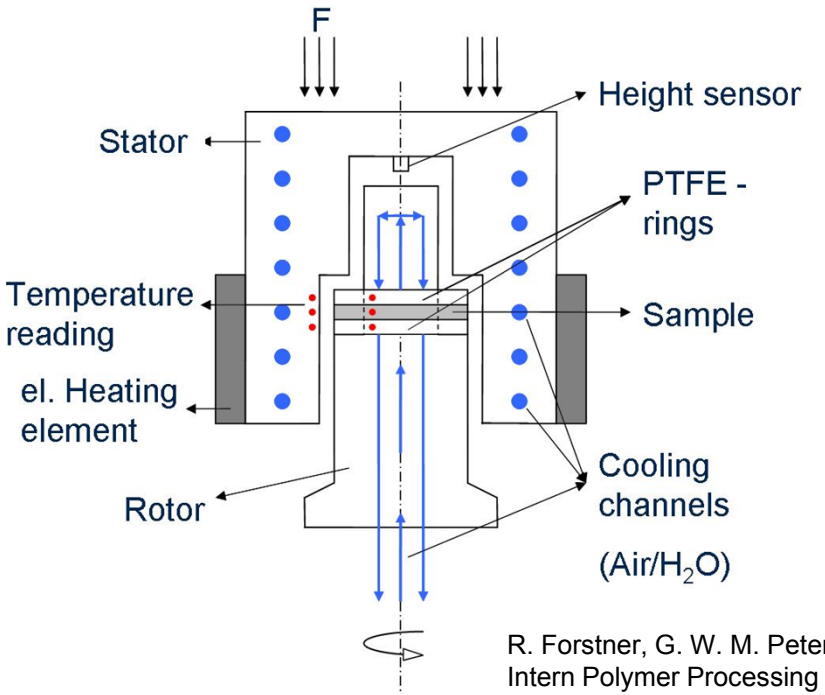
b5 … Übergangstemperatur bei p=0 bar
b6 … druckabhängiger Koeffizient

Konstanten bi werden gefittet!
Für amorphe Thermoplaste gilt:
b7, b8, b9 sind 0!

Pirouette - Aufbau

… ist eine Kombination eines „Piston Die“ Dilatometers und eines „Couette“ Rheometers.

Das Pirouette Dilatometer ermöglicht die Messungen des *spezifischen Volumens* von Kunststoffen als Funktion von **Druck**, ***Temperatur***, Kühlrate und Scherrate.



R. Forstner, G. W. M. Peters*, H. E. H. Meijer, Intern Polymer Processing XXXIV 2009, 2, 114-121

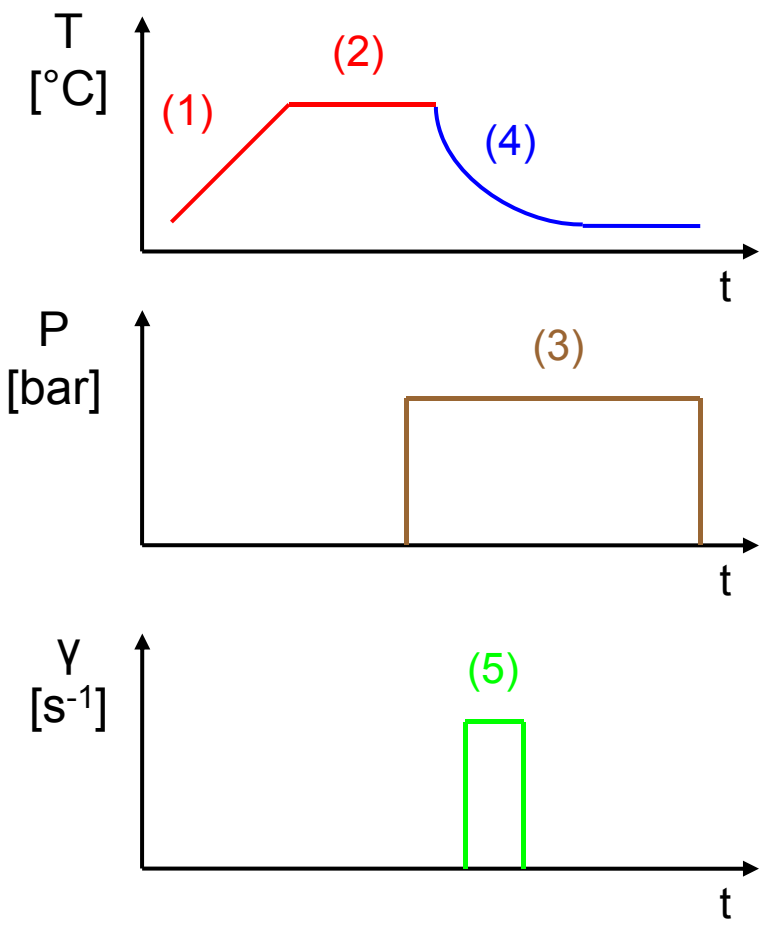
Pirouette - Messbedingungen

- Druckbereich: 60 – 1000bar
- Temperaturbereich: 20 – 300 C
- Kühlraten: 0.1 – **100 C/s**
  - Ohne Kühlung: 0.1 C/s
  - Luftkühlung: 1.5 C/s
  - **Wasserkühlung: 100 C/s**
- Scherraten: 1 – 180 s^{-1}

Pirouette - Messprogramm

Isobare Messung mit konstanter Kühlrate:

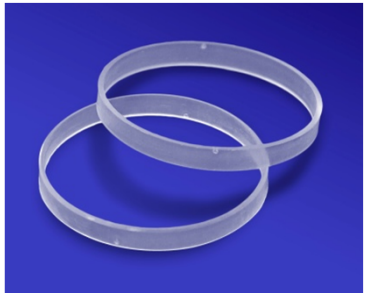
- (1) Aufheizen
- (2) Temp. für 10 Min. halten
- (3) Druck anlegen
- (4) Isobare Kühlung
- (5) Scherung



Material

Polymer	MFR [g/10min]	T_M bzw. T_G[°C]
HDPE	8 (190 C/2,16kg)	137
PP	8 (230 C/2,16kg)	167
POM	10 (190 C/2,16kg)	180
ABS	15 (220 C/10kg)	115

Methode – Probenherstellung und Prüfung



<u>Probendimension:</u>

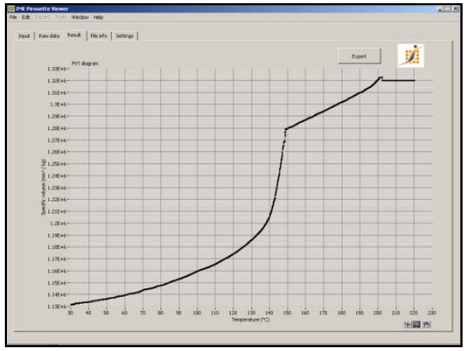
Innendurchmesser: 21mm

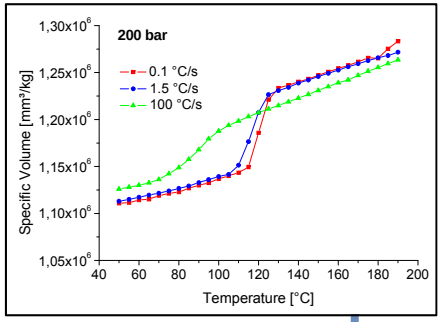
Außendurchmesser: 22mm

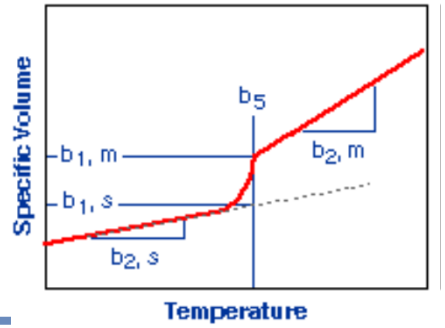
Höhe: 2.5mm

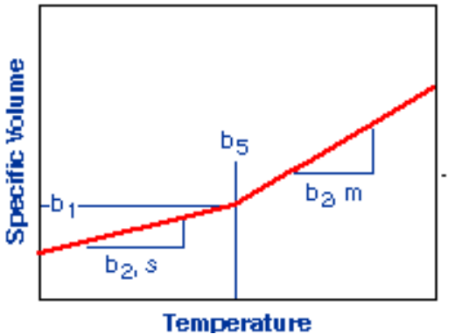
Gewicht:70-80mg

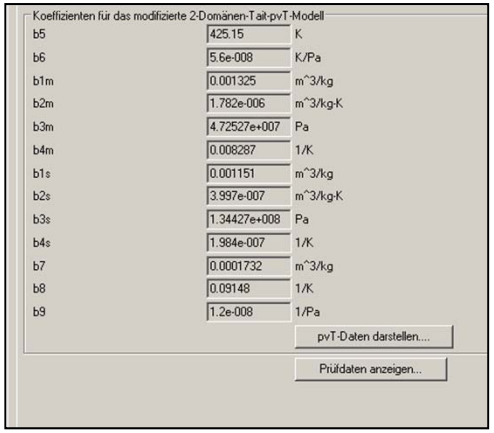
Methode – Datenaufbereitung

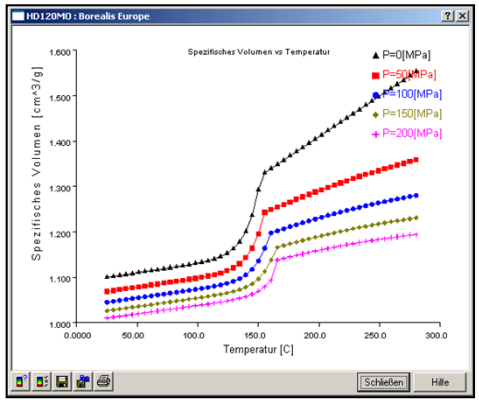






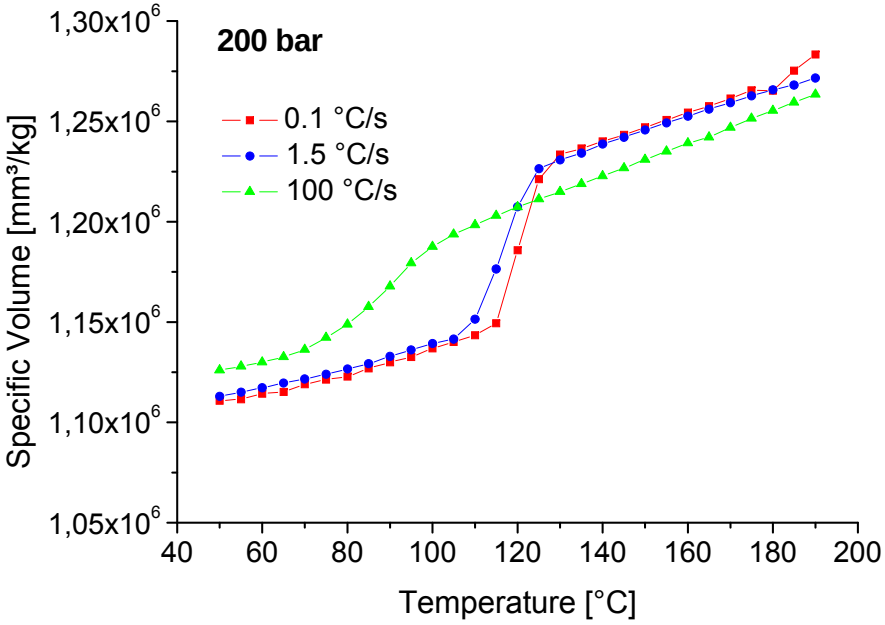


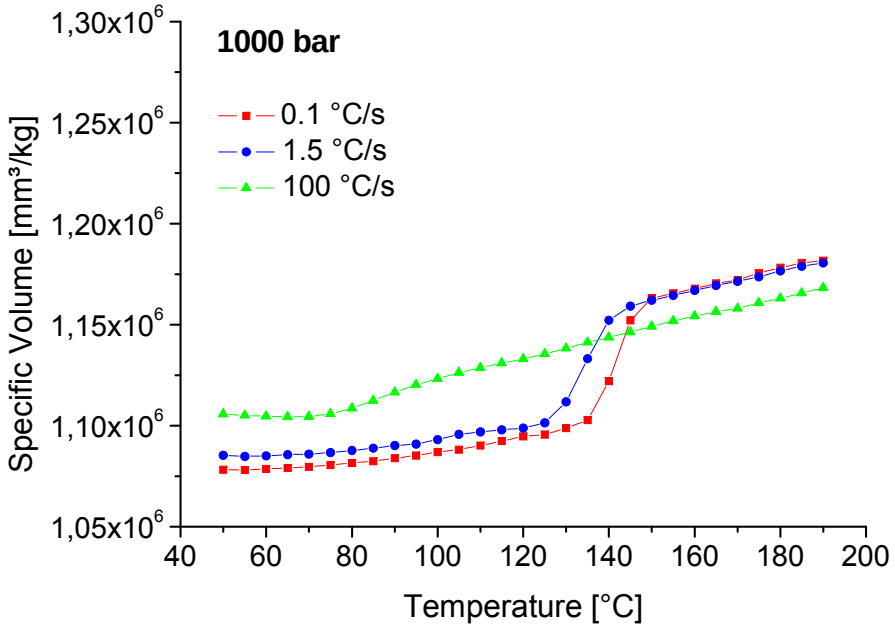




Ergebnisse

Einfluss der Kühlrate und des Drucks auf das pvT-Verhalten



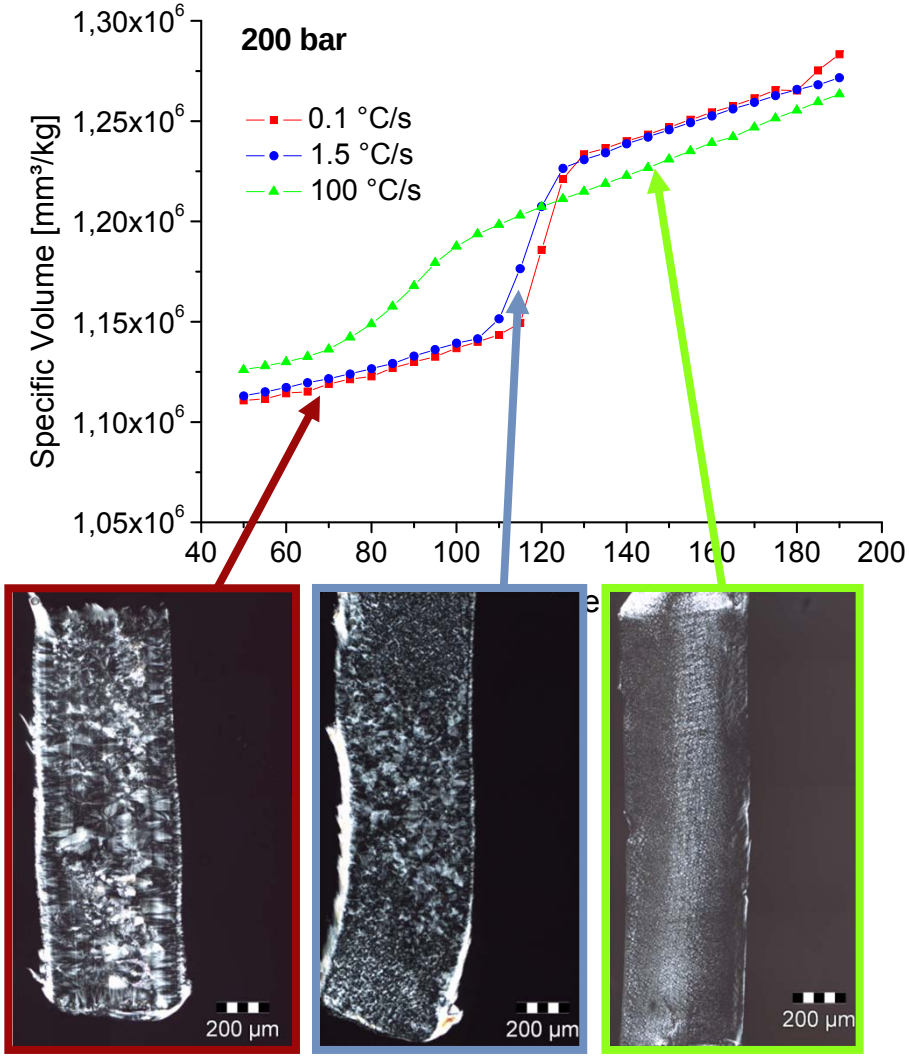


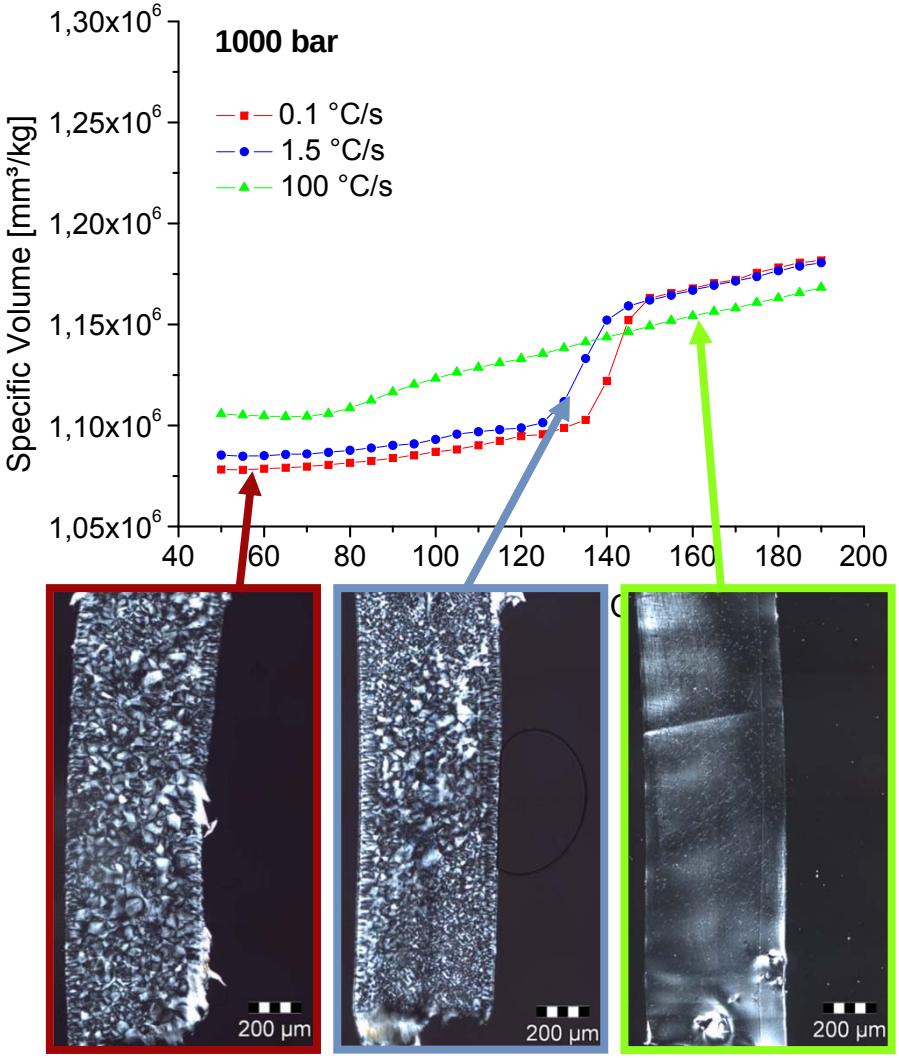
Höhere Kühlrate: Verschiebung der Übergangstemperatur Tc zu geringeren Werten

Höherer Druck: Verschiebung der Übergangstemperatur Tc zu höheren Werten

Ergebnisse

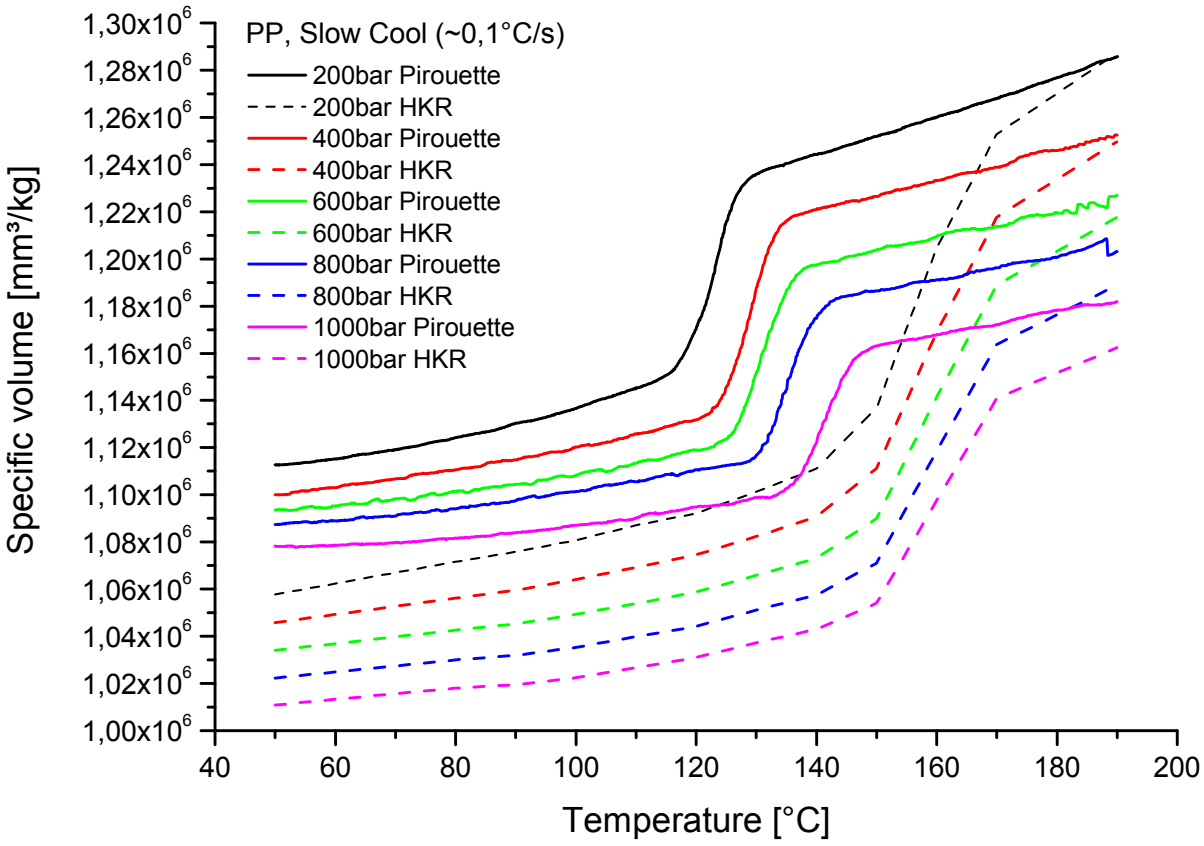
Einfluss der Kühlrate und des Drucks auf die Morphologie





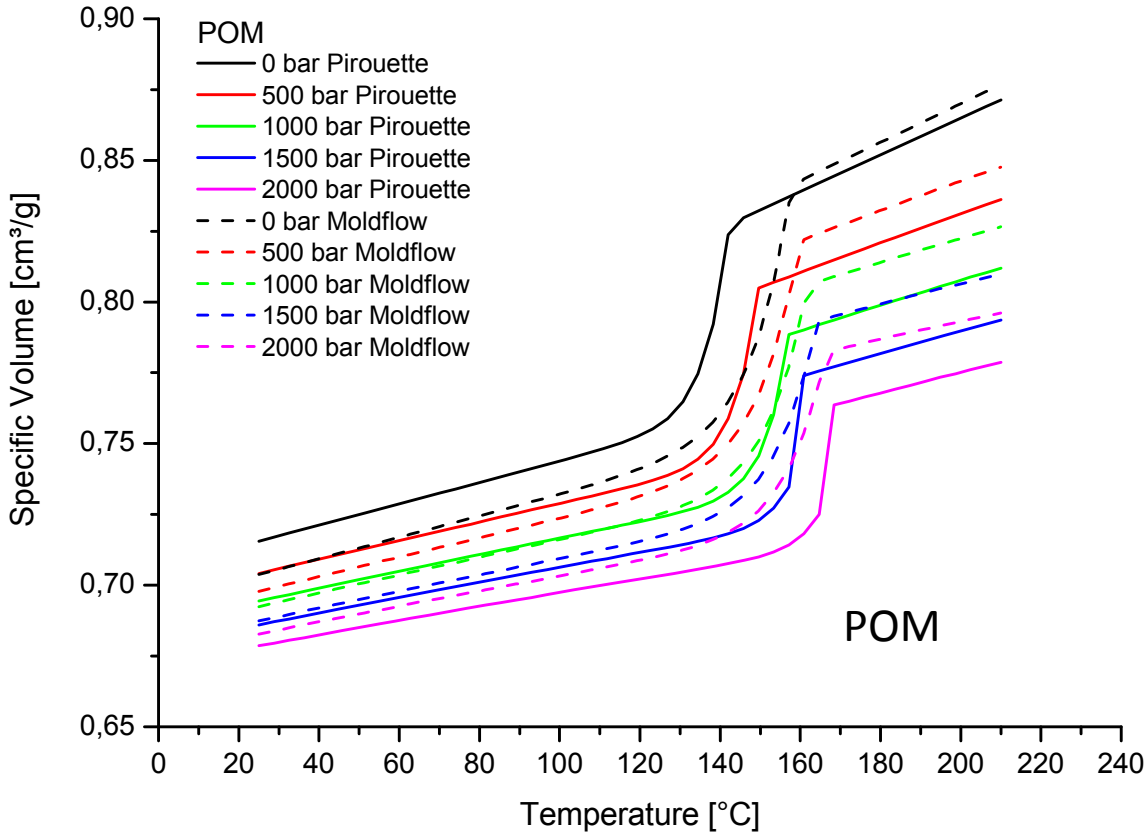
Ergebnisse – Vergleich Messmethoden

pvT-Messung mit Pirouette und HKR



Ergebnisse – Vergleich Pirouette/Moldflow

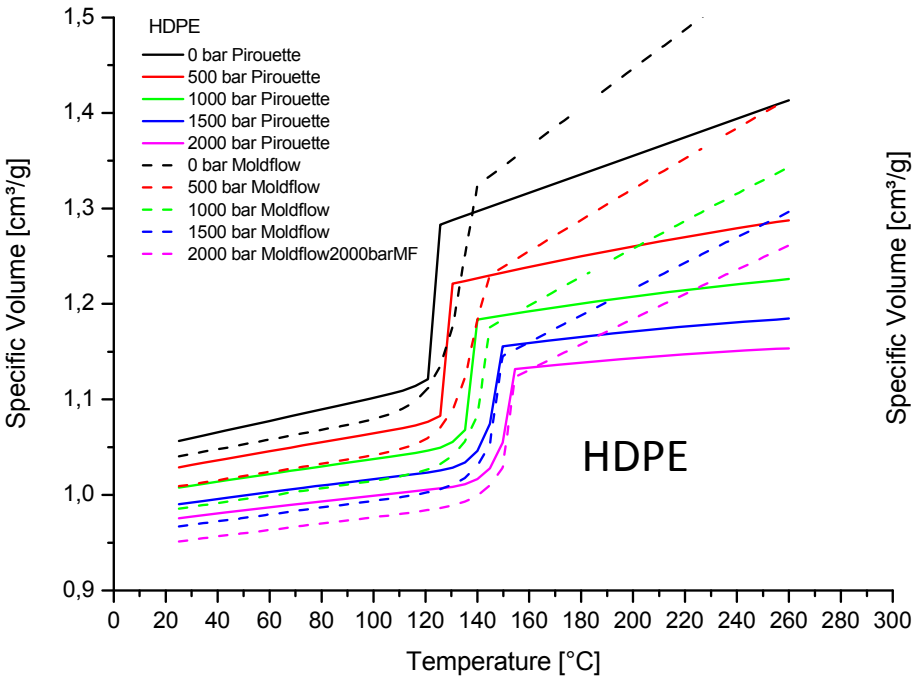
- Teilkristalline Polymere

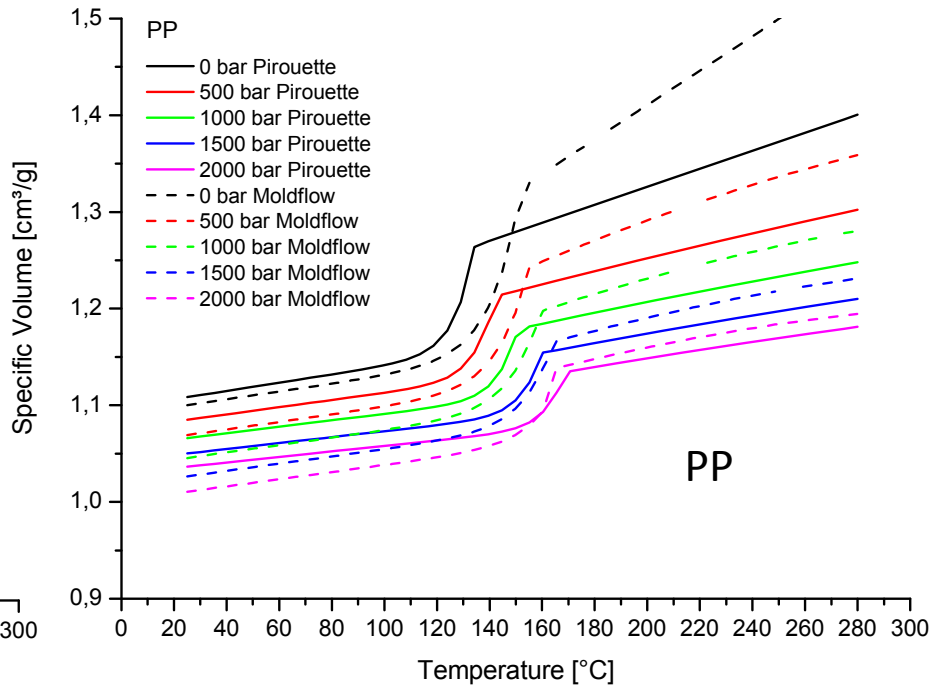


Pirouette: Höhere Kühlrate → Verschiebung der Übergangstemperatur Tc zu geringeren Werten

Ergebnisse – Vergleich Pirouette/Moldflow

- Teilkristalline Polymere

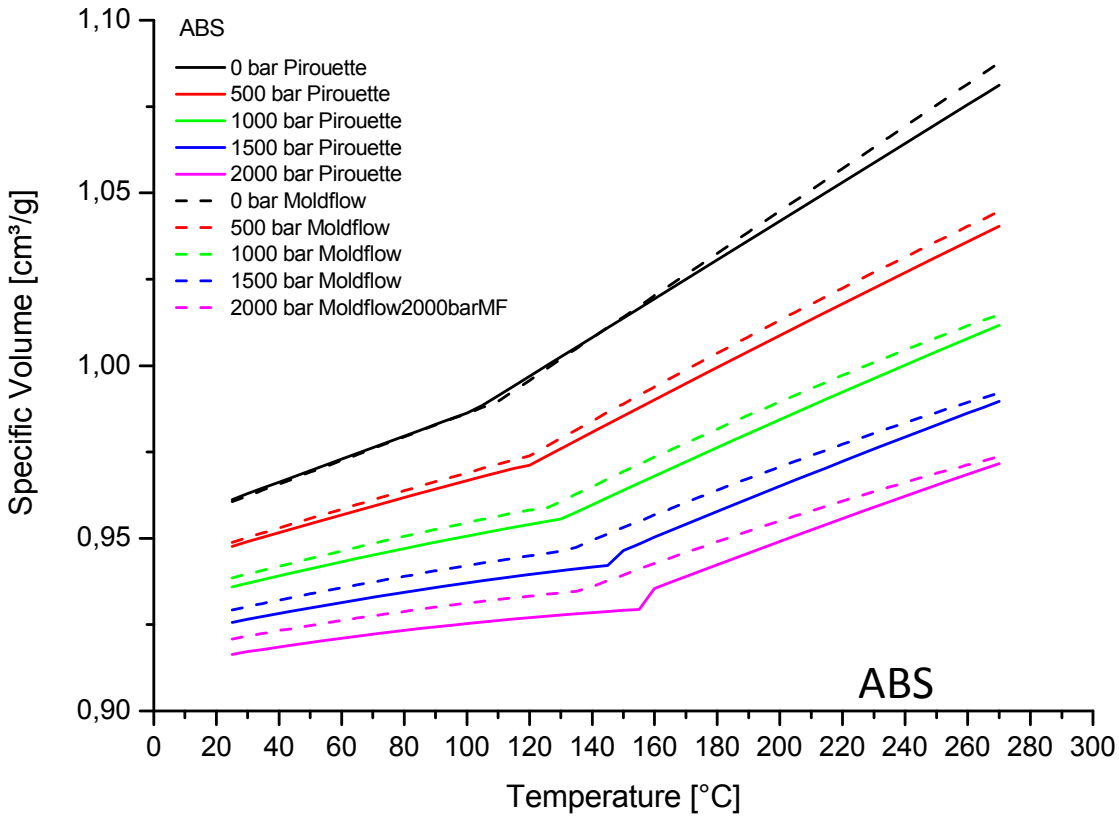




Pirouette: Höhere Kühlrate → Verschiebung der Übergangstemperatur Tc zu geringeren Werten

Ergebnisse – Vergleich Pirouette/Moldflow

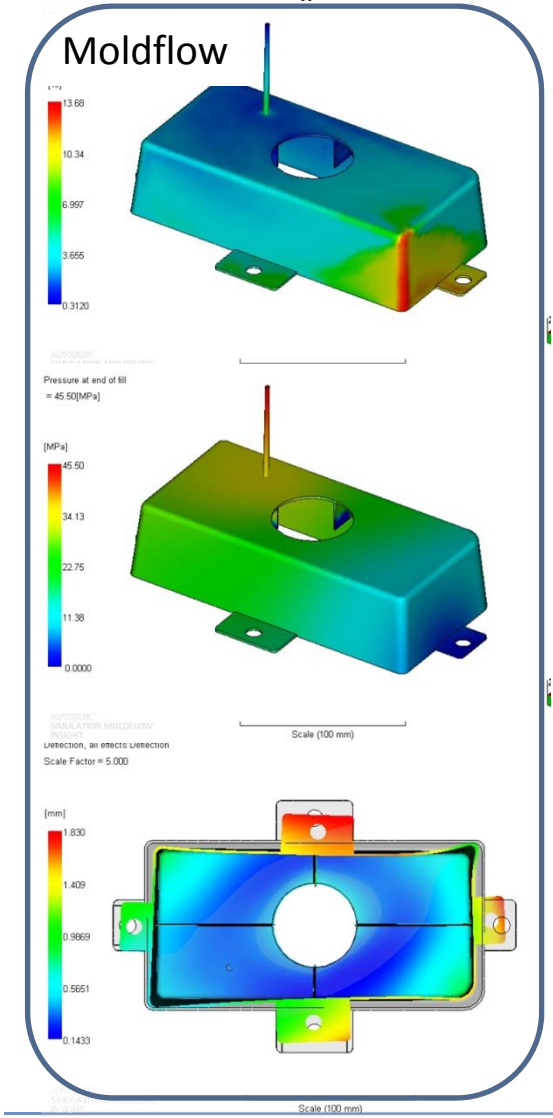
- Amorphe Polymere



Ergebnisse – Implementierung in die Simulation

Bauteil „Schachtel mit Loch“ - PP

Moldflow

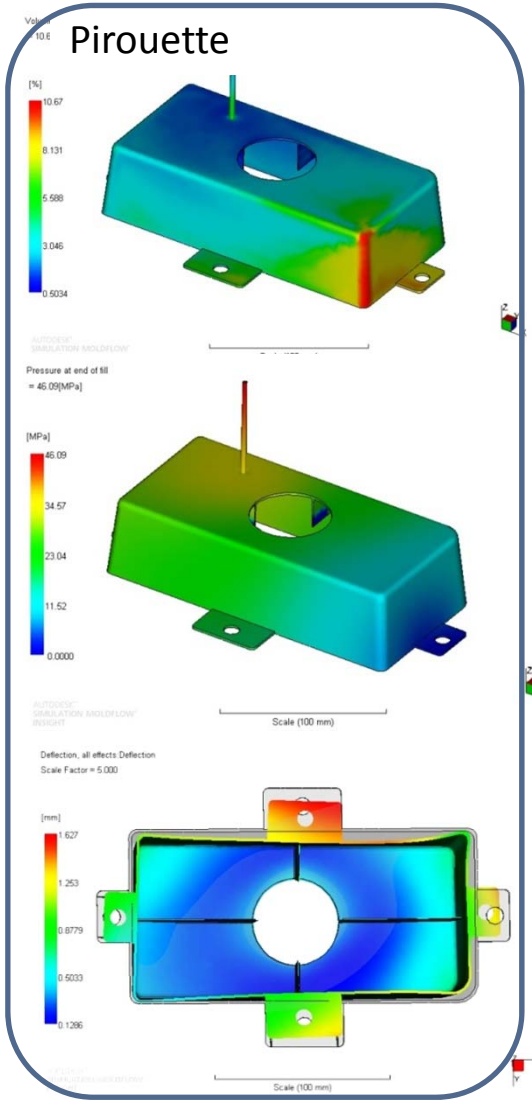


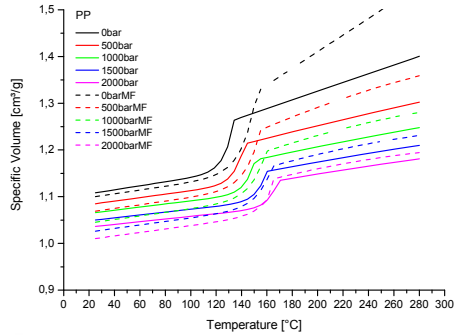
Vol. Schwindung
13% - 10%

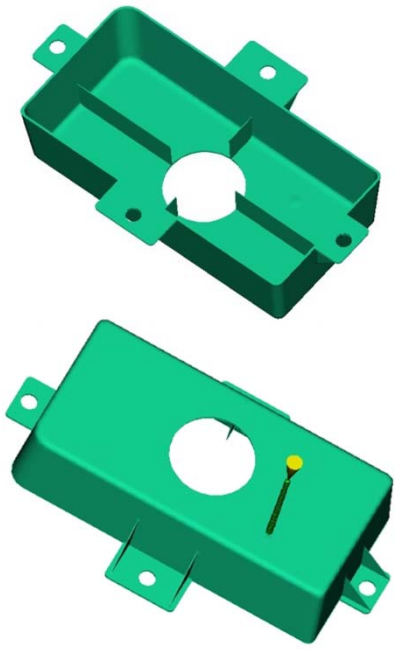
Druck
455bar - 461bar

Verzug aller Effekte
1,83mm - 1,63mm

Pirouette



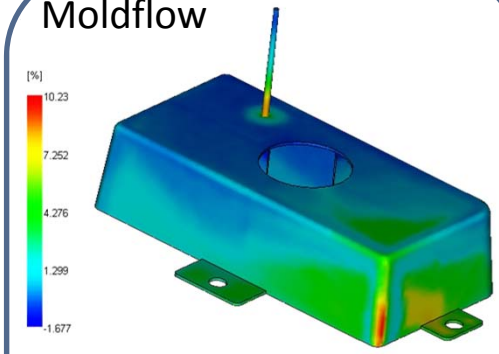




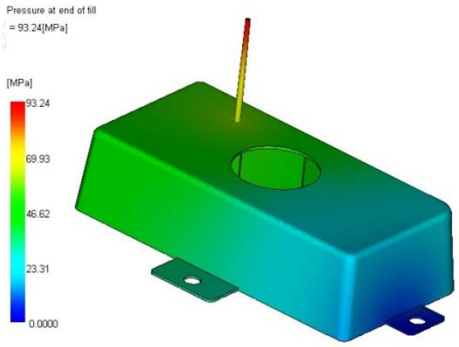
Ergebnisse – Implementierung in die Simulation

Bauteil „Schachtel mit Loch“ - HDPE

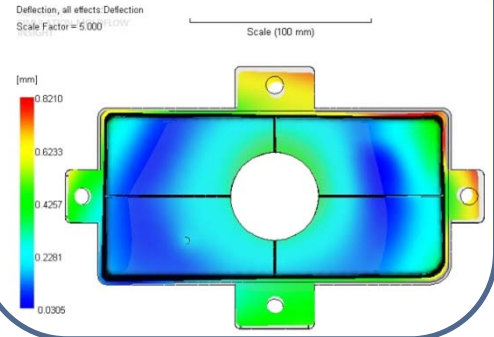
Moldflow



Vol. Schwindung
10% - 3%

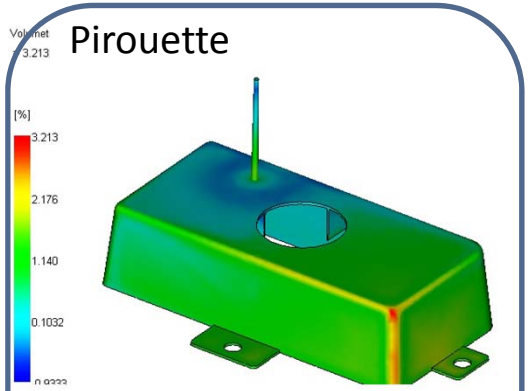


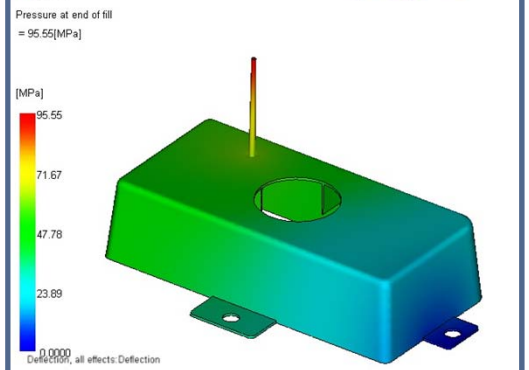
Druck
923bar - 955bar

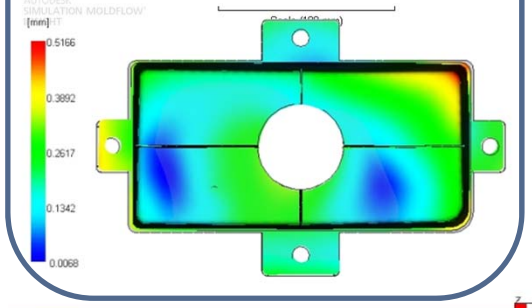


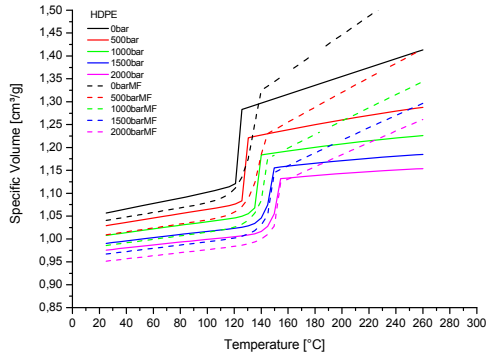
Verzug aller Effekte
0,82mm - 0,52mm

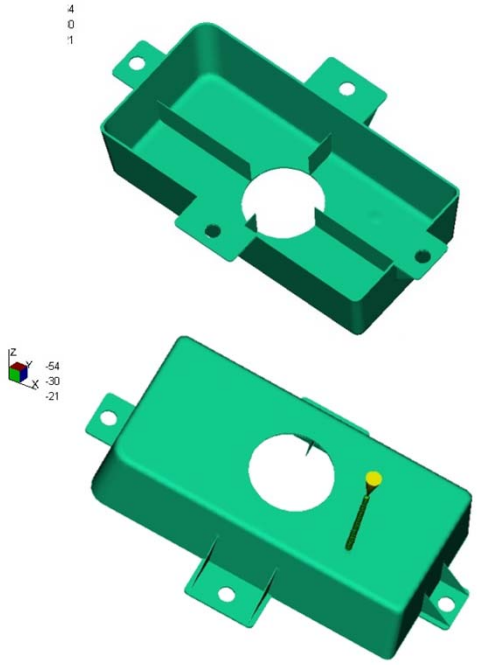
Pirouette











Zusammenfassung

- Druckabhängigkeit
  - Höhere Drücke verschieben Tc zu höheren Werten
- Kühlratenabhängigkeit
  - Höhere Kühlraten verschieben Tc zu geringeren Werten
- Vergleich pvT-Messungen Pirouette / Moldflow / HKR
  - Unterschiedliche Messmethoden haben großen Einfluss bei teilkristallinen Polymeren
  - Gute Übereinstimmung bei amorphen Polymeren
- Überführung in die Simulation
  - Auswirkung der pvT-Kurven u.a. auf Druck, volumetrische Schwindung, Verzugsverhalten
  - Achtung beim Fitten der Messdaten bei teilkristallinen Polymeren (Steigung der Kurve im Schmelzebereich)

Danke

- an Co-Autoren und Mitarbeiter am TCKT

- an die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) zur Förderung des K-Projektes „APMT“

- Organisatoren dieser Konferenz

Danke für die Aufmerksamkeit!