

## **PVT500 Hybridkühlung**

### **Hohe konstante Kühlraten bis nahe zur Raumtemperatur**

Das thermodynamische Verhalten von Kunststoffen, Elastomeren Duroplasten ist insbesondere bei der Spritzgießverarbeitung von hoher Bedeutung. Kurze Kühlzyklen benötigen hohe Kühlraten. Das bei der PVT-Messung ermittelte spezifische Volumen als Funktion der Größen von Druck und Temperatur beschreibt dieses Verhalten. Weiter kann auch das Eigenschaftsbild der Materialien hinsichtlich der Kristallisation über unterschiedliche Kühlraten verändert werden. Insbesondere bei teilkristallinen Werkstoffen ist die Kristallisation sehr stark abhängig von der Abkühlgeschwindigkeit. Die unterschiedliche Kristallisation findet sich dann im spezifischen Volumen wieder.

Das PVT 500 arbeitet gemäß der Norm ISO17744. Diese unterscheidet zwischen isothermer und isobarer Messmethode. Um möglichst prozessnahe Daten zu erhalten, wird überwiegend die isobare Methode eingesetzt. Die Messung nach isobarer Methode wird bei konstantem Druck durchgeführt, wobei die Probe mit einer definierten Kühlrate abgekühlt wird. Da die treibende Temperaturdifferenz zwischen der Kühlluft und der Prüfmaschine und damit der Probe abnimmt, sinkt die maximal mögliche Kühlleistung mit der Temperatur während des Versuchs. Um auch bei niedrigeren Temperaturen die gleiche Wärmemenge wie bei hohen Temperaturen abführen zu können, muss entweder die Temperatur des Kühlmedium niedriger oder die spezifische Wärmekapazität höher sein. Die Anforderung wird über eine kombinierte Kühlung mit Luft und Wasser erreicht.

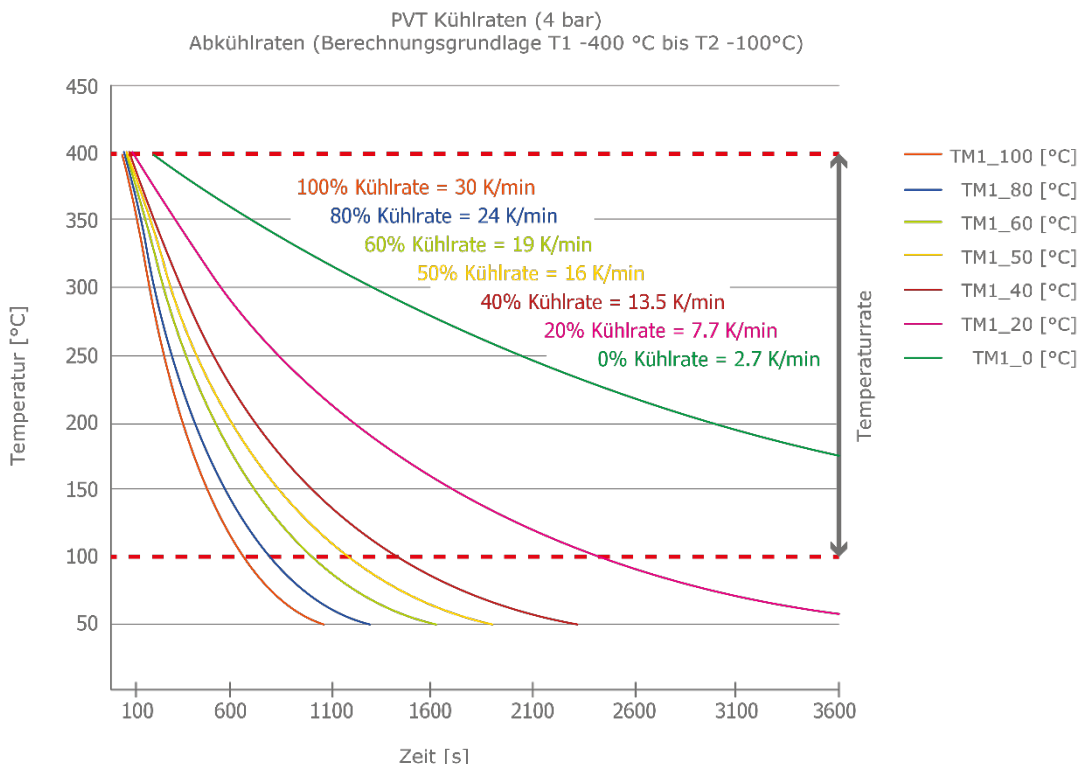


Abbildung 1: PVT500 – Verschiedene maximale Kühlraten bei gleichen Kühlvolumenstrom

**Abbildung 1** zeigt die erreichbaren Kühlraten bei konstantem Volumenstrom, wobei der Volumenstrom bei 30 K/min maximal ist. Unterhalb von 200°C nimmt dann die Kühlrate bei Einstellung eines konstanten Volumenstromes ab, so dass bei konstanter Kühlrate immer höhere Volumenströme notwendig sind.

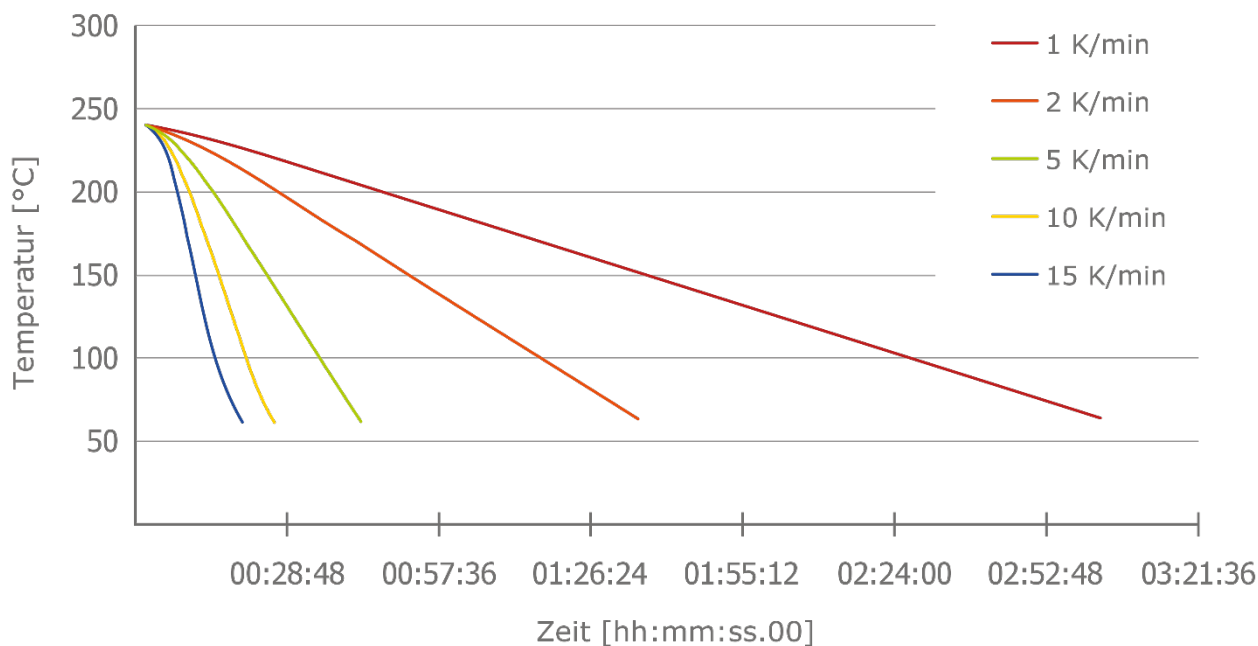
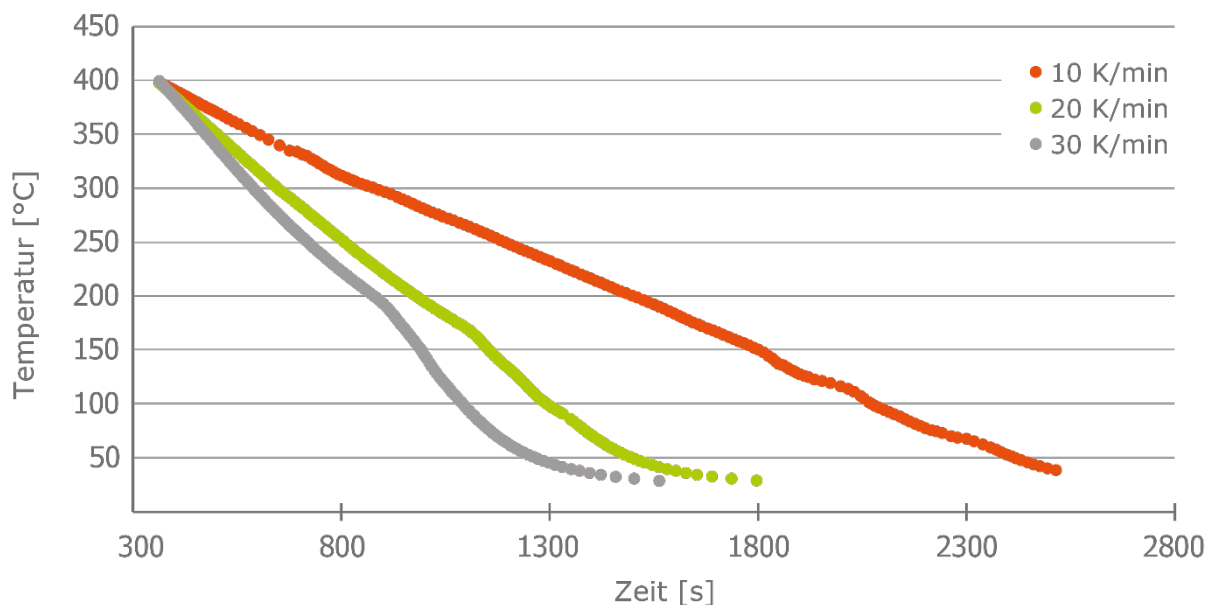


Abbildung 2: PVT-500 Temperaturverlauf bei konstanter Kühlrate

**Abbildung 2** zeigt den Temperaturverlust unterhalb von 250°C. Hier können konstante Kühlraten bis 10 K/min bis etwa 100°C erreicht werden. Selbst die Kühlrate von 10 K/min ist bis ca. 80°C konstant und erst dann ergibt sich eine leichte Abnahme der Kühlrate

Um nun auch bei höheren Kühlraten und bei tiefen Temperaturen messen zu können, reicht Luft allein nicht aus. Daher wird beim PVT500-Hybrid in durch die Kombination Luft/Wasser der Bereich der hohen Kühlraten zu niedrigen Temperaturen erweitert.



*Abbildung 3: Erweiterung der Abkühlgeschwindigkeit durch Hybrid Kühlung Luft/Wasser*

**Abbildung 3** zeigt hier die Erweiterung der Abkühlgeschwindigkeit auf 30 K/min auch für den unteren Temperaturbereich bis ca. 60°C. Für die Abkühlgeschwindigkeit ergibt sich ein weiterer Temperaturbereich von ca. 100 °C beim bisherigen PVT500 auf unter 50°C. Durch den erweiterten Temperaturbereich und die Erweiterung der Abkühlgeschwindigkeit kann insbesondere der Kristallisationsbereich von teilkristallinen Polymeren in einem noch weiteren Bereich untersucht werden.

## Anwendungsbeispiele

Der erweiterte Temperaturbereich bei höheren Abkühlgeschwindigkeiten im unteren Temperaturbereich findet insbesondere in der Analyse der Kristallisation von teilkristallinen Werkstoffen seine Anwendung. Die Kristallisation von teilkristallinen Werkstoffen wird maßgeblich von der Abkühlgeschwindigkeit beeinflusst. Die Materialien werden dann amorpher, weil die Keimbildung der Kristallisationskerne unterbunden wird. Dies macht man sich zum Beispiel bei der Folienherstellung zu nutze. Beim Spritzgießen führt die höhere Abkühlgeschwindigkeit zu einem anderen spezifischen Volumen, das in der Werkzeugsimulation zu berücksichtigen ist.

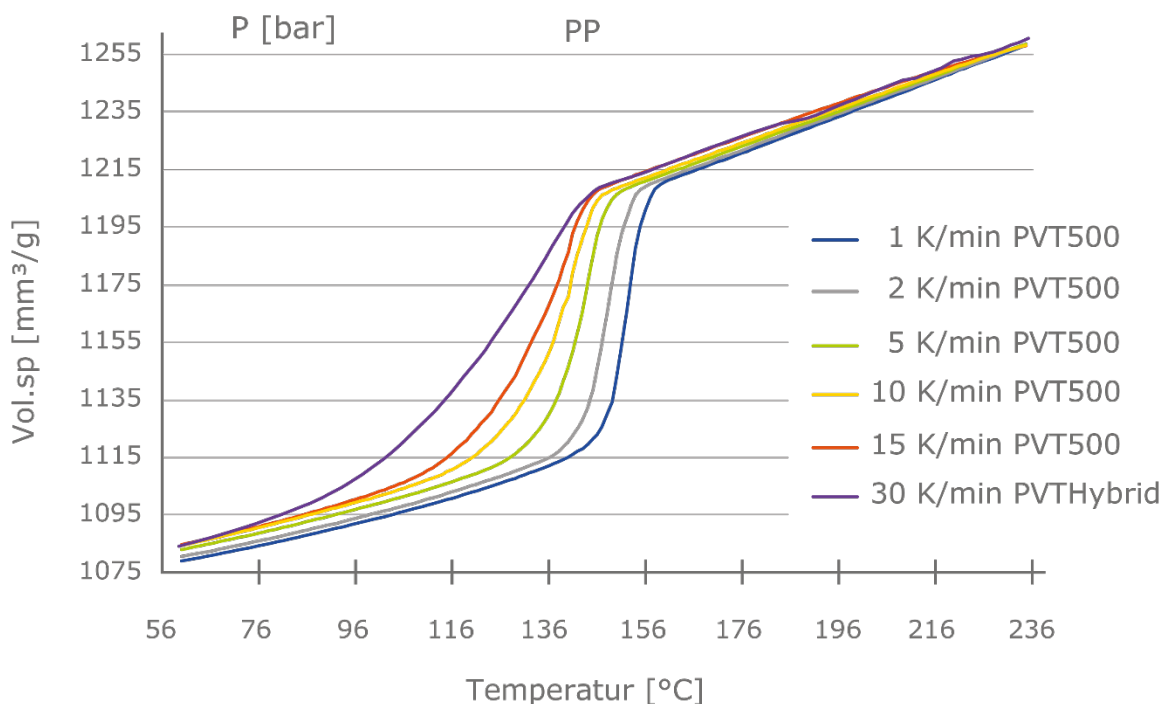


Abbildung 4: Einfluss der Abkühlrate bei 500bar – PVT500 und PVT500 Hybrid

**Abbildung 4** zeigt beispielhaft für ein PP den Einfluss der Abkühlrate bei der isobaren Abkühlung. Hier deckt das PVT500 den Bereich bis 15K/min ab, wobei bei 15K/min die Abkühlrate nur bis ca. 150°C konstant ist. Das PVT500 Hybrid erweitert nun den Bereich bis 30 K/min bei konstanter Kühlrate für nahezu den gesamten Temperaturbereich. Erkennbar ist hier eine deutliche Verschiebung des Schmelzpunktes von 158°C bei einer Kühlrate von 1 K/min auf 142°C bei 30K/min. Auch das Volumen im Feststoffbereich liegt bei einer Kühlrate von 30 K/min ca. 1 % über dem Volumen bei einer Kühlrate von 1 K/min. Die größten Unterschiede ergeben sich aber im Übergangsbereich. Hier erfolgt üblicherweise auch die Öffnung der Kavität beim Spritzguss. Hierdurch ergibt sich bei unterschiedlichen Abkühlgeschwindigkeiten ein anderes Volumen.

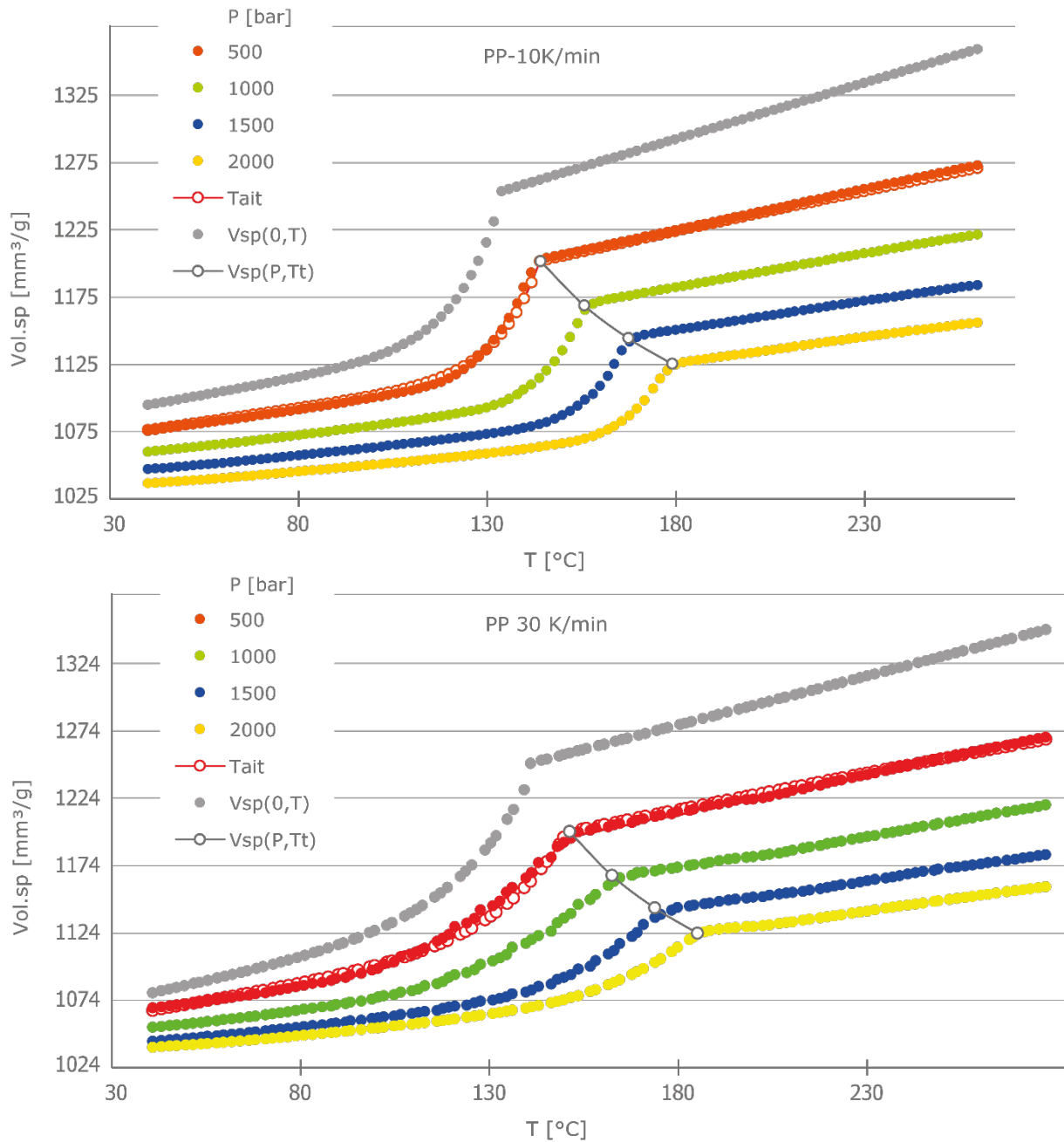


Abbildung 5: Einfluss der Erweiterung der Kühlrate durch das PVT500 Hybrid (unten) im Vergleich zum PVT500 (oben)

**Abbildung 5** zeigt nun den Unterschied zwischen der aktuell verwendeten maximalen Kühlrate von 10 K/min für die Erstellung eines kompletten PVT-Diagramms beim PVT500 und der Kühlrate beim PVT500 Hybrid von 30 K/min.

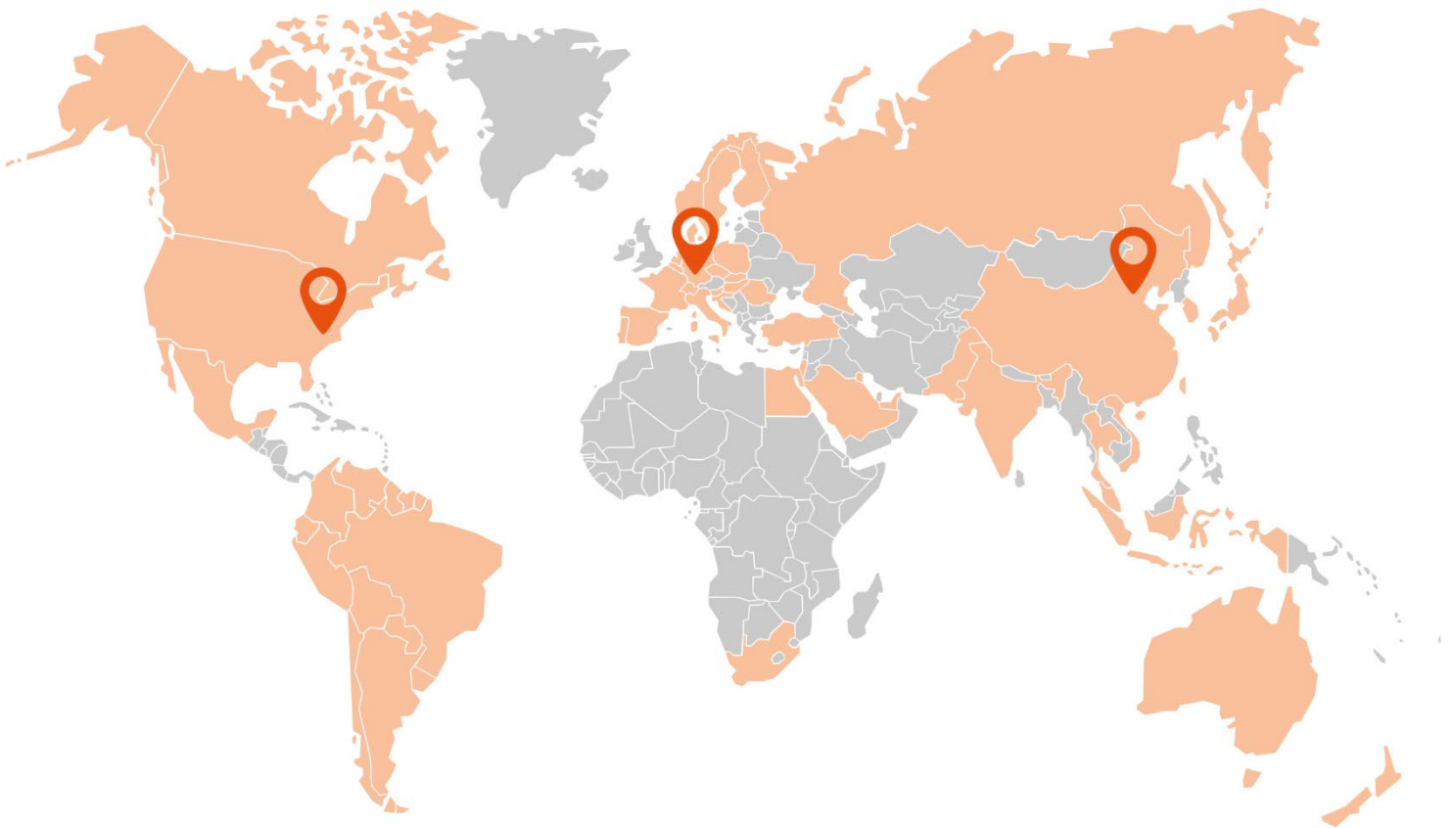
Hierbei zeigt sich insbesondere für die höheren Drücke eine deutlichere Verschiebung der Schmelztemperatur. Die Kurven liegen enger zusammen und der Übergangsbereich ist insgesamt

viel flacher. Insbesondere bei 200 bar stellt sich ein fast schon amorphes Materialverhalten ein, da der Übergangsbereich extrem viel schwächer ausgeprägt ist. Beide Diagramme lassen sich leicht durch das Tait Modell approximieren, so dass der Einfluss der Kühlrate auf das spezifische Volumen sehr leicht Eingang in die Prozesssimulation durch den Spritzguss finden kann. Hierdurch kann dem unterschiedlichen Abkühlverhalten in unterschiedlich dicken Werkzeugbereich besser Rechnung getragen werden.

## **Fazit**

Das PVT 500 Hybrid bietet eine wirksame Erweiterung des PVT500 hin zu höheren Kühlraten. Bislang konnten im unteren Temperaturbereich nur Kühlraten bis ca. 10 K/min realisiert werden. Die Erweiterung auf 30 K/min auch im unteren Temperaturbereich eröffnet eine wirksame Analyse des Kristallisationsverhaltens von teilkristallinen Materialien und erweitert die Anwendung der Daten auch für deutlich unterschiedliche Werkzeugstärken mit kleinen Querschnitten.

# THIS IS RHEOLOGY



**GOETTFERT**  
THIS IS RHEOLOGY

**GOETTFERT Inc.**

Rock Hill, SC 29730  
USA

☎ +1 803 324 3883

✉ [info@goettfert.com](mailto:info@goettfert.com)

**GÖTTFERT**  
THIS IS RHEOLOGY

**GÖTTFERT | Werkstoff-  
Prüfmaschinen GmbH**

74722 Buchen

☎ +49 (0) 62 81 408-0

✉ [info@goettfert.de](mailto:info@goettfert.de)

**GÖTTFERT**  
CHINA LIMITED

**GOETTFERT (China) Ltd.**

Beijing 100027  
CHINA

☎ +86 10 848 320 51

✉ [info@goettfert-china.com](mailto:info@goettfert-china.com)