

## Teilprojekt B 1

### Titel

Algorithmen zur Auslegung eines Temperierlayouts für Spritzgießwerkzeuge unter Berücksichtigung des lokalen Kühlbedarfs

### Projektleitung/-bearbeitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hopmann, Christian (Leitung)  
Hohlweck, Tobias, M.Sc. RWTH (Bearbeitung)  
Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung  
Seffenter Weg 201  
52074 Aachen

### Aufgabenstellung

Das Ziel dieses Teilprojekts ist die Entwicklung einer Methodik zur automatisierten und präzisen Auslegung von Kühlkanalsystemen in Spritzgießwerkzeugen. In dieser Methodik wird zunächst ein optimaler thermischer Haushalt im Spritzgießwerkzeug berechnet und anschließend versucht, diesen durch ein optimales Platzieren von Kühlkanälen zu realisieren. In 2020 wurden folgende Aspekte der Methodik vertiefend untersucht. Eine Aufgabenstellung war die präzisere Beschreibung des lokalen Kühlbedarfs, also die Ermittlung der eingebrachten Wärme durch die Kunststoffschmelze, sowie eine präzisere mathematische Beschreibung der Formteilqualität nach dem Abkühlen. Weiterhin wurde eine Methodik entwickelt zur automatisierten Platzierung der Kühlkanäle basierend auf der Optimierungsrechnung.

### Vorgehensweise

Zur besseren Beschreibung der Abkühlvorgänge wurde ein pvT-Modell weiterentwickelt, welches das spezifische Volumen des Kunststoffes bei hohen Abkühlraten besser beschreiben kann. Dies ist wichtig, da bei guter Kenntnis des spezifischen Volumens der entstehende Bauteilverzug berechnet werden kann. Das Ergebnis der Abkühlrechnung muss im Anschluss in eine für die Optimierung bewertbare Größe gebracht werden. Hierzu wurde die aktuelle Gütefunktion überarbeitet und an die Bedingungen des Algorithmus angepasst. Da der Optimierer nur zu festen Zeitpunkten die Bauteilqualität bewerten kann, wurde der Erstarrungszeitpunkt gewählt, um die Homogenität

der Bauteildichte zu bewerten. Die Ergebnisse hierzu stehen noch aus.

In einem auf die thermische Optimierung folgenden Schritt, werden basierend auf den vorangegangenen Berechnungen Kühlkanäle abgeleitet. Bisher wurden diese Kühlkanäle manuell platziert und vom Konstrukteur an den entsprechenden Stellen platziert. Um dies zu automatisieren, werden Teilstücke von Kühlkanälen nun automatisiert platziert und anschließend über einen genetischen Algorithmus verbunden.

### Ergebnisse

Ausgangsposition für diese Erstellung der Kühlkanäle sind Oberflächennetze, die mittels der thermischen Werkzeugoptimierung berechnet werden und die optimale Position der Kühlkanäle um das Formteil visualisieren. Diese Flächen sind nicht durchgängig, sodass in einem ersten Schritt Kühlkanalsegmente an die einzelnen Flächen approximiert werden. Dies wird mittels einer quadratischen Minimierung des Abstands zwischen Kühlkanalwand und Oberflächennetz realisiert. Diese Kanalsegmente sind in Bild 1 visualisiert.

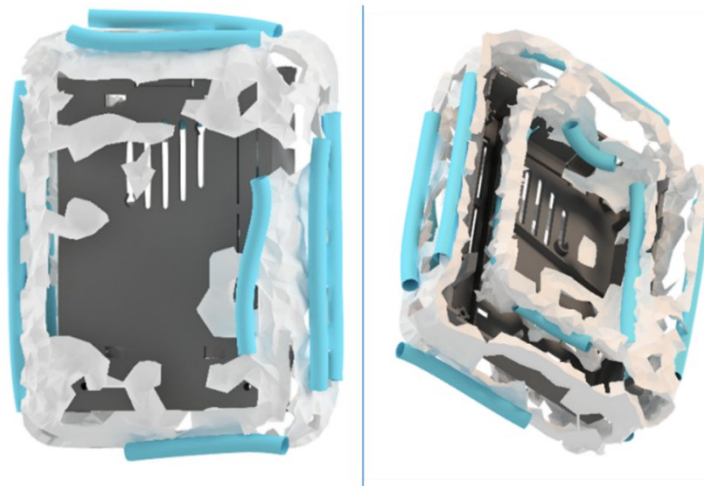


Bild 1: Automatisiert generierte Kühlkanalsegmente

Im nächsten Schritt müssen die Kühlkanalsegmente miteinander verbunden werden. Diese sollen auf möglichst kurzem Weg, strömungsoptimiert und ohne Kollisionen mit Hindernissen im Werkzeug (Trennebene, Auswerfer, Kavität...) verbunden werden. Außerdem muss die Kollision mit sich selbst vermieden werden. Dies ist vergleichbar mit dem Problem des Handlungsreisenden („travelling salesman

problem“), der auf möglichst kurzem Weg verschiedene Städte besuchen muss. Da der Abstand zwischen den einzelnen „Städten“ zunächst unbekannt ist, wird ein Algorithmus implementiert, der die Abstände der Kühlkanalsegmente unter Einhaltung des Abstandes zu den Hindernissen im Werkzeug berechnen kann. Da die Anzahl der möglichen Kombinationen, die  $n$  Kühlkanalsegmente zu verbinden, mit ungefähr  $(n-1)!$  angegeben werden kann, existieren schon bei 30 Verbindungen  $\sim 10^{32}$  mögliche Lösungen. Daher muss eine Lösung gefunden werden, das globale Minimum zu finden ohne alle Verbindungen berechnen zu müssen. Hierzu existieren verschiedene Lösungsansätze in der Literatur und in diesem Fall wurde sich für einen genetischen Algorithmus entschieden, der iterativ den kürzesten Weg für den gesamten Kühlkanal berechnet. Anschließend erfolgt noch eine Glättung der berechneten Kanäle. Das Ergebnis ist in Bild 2 (rechts) dargestellt.

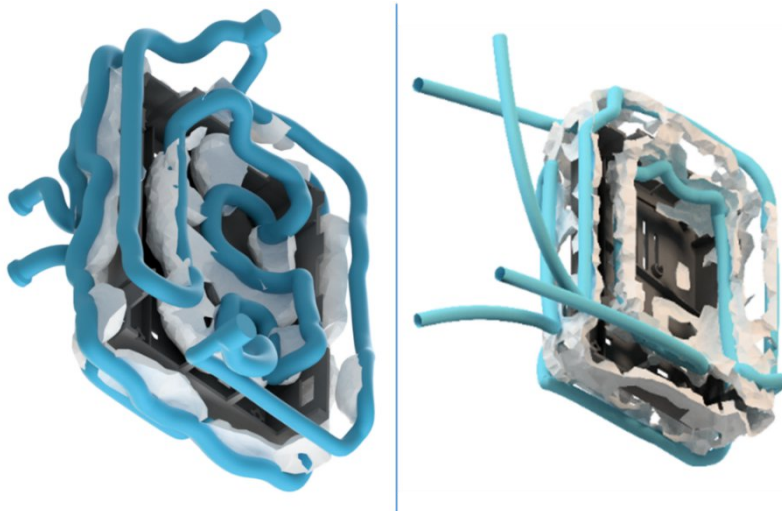


Bild 2: Manuelle Ableitung der Kühlkanäle (links) und automatisiertes Gesamtlayout

Vergleichssimulationen mit einem manuell abgeleiteten Kühlkanal (Bild 2 (links)) haben eine ähnliche Performance beim resultierenden Formteilverzug ergeben. Der zeitlich manuelle Aufwand war jedoch deutlich geringer.

### Zusammenfassung und Ausblick

In 2020 wurde insbesondere die automatisierte Ableitung von Kühlkanälen fokussiert und seine Formteilunabhängigkeit

konnte bereits gezeigt werden. Die Ergebnisse werden in Rechenzeiten erreicht, die in der Größenordnung der manuellen Arbeitszeit liegen (~ 2 Arbeitstage). Somit spart das Konzept deutlich an Arbeitszeit, da der Konstrukteur, während der Berechnung anderen Tätigkeiten nachgehen kann.

Als nächste Schritte im Projektjahr 2021 soll die verbesserte Gütefunktion geprüft und die Verbesserungen quantifiziert werden. Des Weiteren werden praktische Validierungen am oben gezeigten Probekörper durchgeführt, um die Performance des gezeigten Systems zu validieren.

### Veröffentlichungen

WANG, J.; HOPMANN, C.; SCHMITZ, M.; HOHLWECK, T.: *Process dependence of pressure-specific volume-temperature measurement for amorphous polymer: Acrylonitrile-butadiene-styrene*. Polymer Testing 81 (2020), S. 106232.

WANG, J.; HOPMANN, C.; RÖBIG, M.; HOHLWECK, T. KAHVE, C.; ALMS, J.: *Continuous Two-Domain Equations of State for the Description of the Pressure-Specific Volume-Temperature Behavior of Polymers*. Polymers 12 (2020) 2

WANG, J.; HOPMANN, C.; RÖBIG, M.; HOHLWECK, T.; ALMS, J.: *Modeling of pressure-specific volume-temperature behavior of polymers considering the dependence of cooling and heating processes*. Materials & Design (2020), S. 109110.

WANG, J.; HOPMANN, C.; KAHVE, C.; HOHLWECK, T.; ALMS, J.: *Measurement of specific volume of polymers under simulated injection molding processes*. Materials & Design 196 (2020), S. 109136.

ALMS, J.; HOPMANN, C.; WANG, J.; HOHLWECK, T.: *Non-Isothermal Crystallisation Kinetics of Polypropylene at High Cooling Rates and Comparison to the Continuous Two-Domain pvT Model Polymers 12* (2020) 7, S. 1515.

BOBZIN, K.; WIETHEGER, W.; HEINEMANN, H.; SCHACHT, A.; HOPMANN, CH.; HOHLWECK, T.; HARTMANN, S.; TRENKLE, F.; BLUM, J.; KUMMER, H.: *Thermisch gespritzte Heizschichtsysteme für den Einsatz im Spritzgießen*. DVS Jahrestagung. Virtuell, 2020.