

## › Virtuelle Extrusionsversuche zur Verkürzung der Entwicklungszeit

# Simulationsgestützte Werkzeugauslegung

Durch die simulationsgestützte Werkzeugauslegung anhand von virtuellen Versuchen können «Trial and Error»-Versuche, Material und Prototypen eingespart werden. Die dadurch verkürzte Entwicklungszeit erlaubt es, mit einem Produkt schneller am Markt zu sein und ermöglicht eine zeitnahe Umsetzung von Konstruktionsänderungen.

### › Daniel Schwendemann<sup>1</sup>, Silvan Walker<sup>2</sup>

Das Umfeld, in dem sich die heutige Produktentwicklung befindet, erfährt immer schnellere Zyklen. Die technischen Anforderungen sowie die Komplexität von Produkten nehmen stetig zu. Um sich unter diesen Wettbewerbsbedingungen behaupten zu können, müssen alle Anstrengungen unternommen werden, die Entwicklungszeiten zu verringern, die Herstellkosten zu senken, die Innovation und Kreativität zu steigern und eine höhere Qualität zu erzielen.

Die genannten Problemstellungen findet man auch in der Extrusion. Bei komplexen Geometrien reichen die vorhandenen Grundgleichungen für einfache Strömungsformen zur Werkzeugauslegung nicht mehr aus. Viele Werkzeuge werden in der Praxis meistens durch «Trial and Error» optimiert. Ohne die langjährige Erfahrung in der Werkzeugauslegung, in Kombination mit den dazugehörigen Kenntnissen der Verfahrenstechnik, ist es fast nicht möglich, komplizierte Werkzeuteile wirtschaftlich zu realisieren. Die kosteneffiziente Nutzung der Extrusion in kleineren Serien kann nur durch den Einsatz der numerischen Strömungssimulation erreicht werden. Die Verschiebung der Iterationen in die «virtuelle» Welt ist in Bild 1 dargestellt.

Im Kunststoffbereich werden solche Simulationen neben der mechanischen Auslegung von Bauteilen hauptsächlich für den Spritzgiessprozess angewendet. Dafür gibt

<sup>1</sup> Prof. Daniel Schwendemann, stv. Institutsleiter und Leiter Fachbereich Compoundierung / Extrusion, IWK, Rapperswil

<sup>2</sup> Silvan Walker, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWK

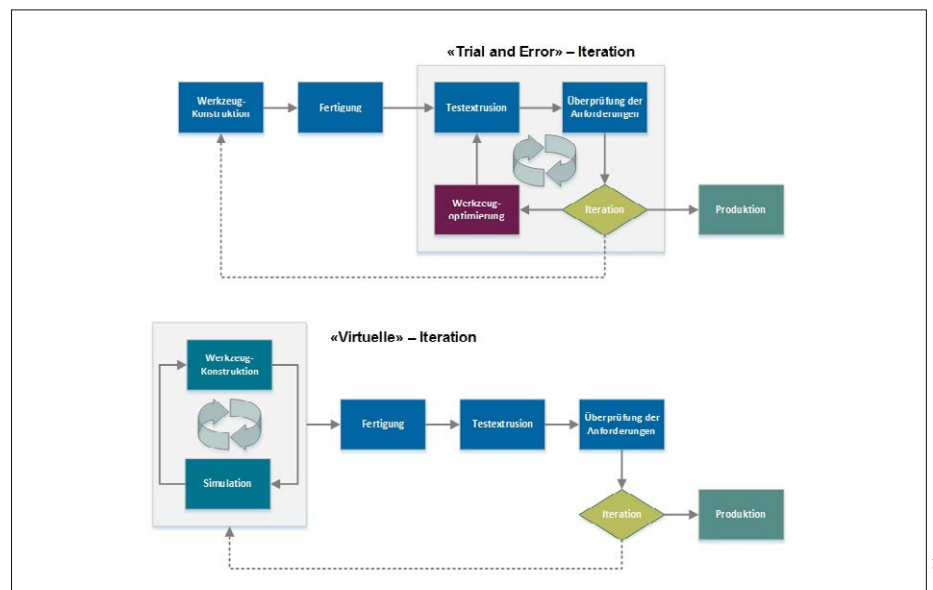


Bild 1: Verschiebung der Iterationsschleife

es diverse Spezialprogramme, welche direkt auf die Werkzeugauslegung und die Simulation des Spritzgiessprozesses zugeschnitten sind. Im Bereich der Thermoplast-Extrusion gibt es bislang keine massgeschneiderten Simulationsprogramme, welche komplette Formgebungsprozesse abbilden können.

### Materialmodelle

Abhängig vom jeweiligen Kunststoff und Verfahren können unterschiedliche Materialmodelle eingesetzt werden. Mit steigender Komplexität des Modells verringert sich zwar die Abweichung zur Realität, jedoch kann auch der Rechenaufwand stark ansteigen. Die Wahl des passenden Materialmodells ist neben der exakten Beschreibung der Randbedingungen sowie der benötigten Netzauflösung entscheidend für den Erfolg von Simulationen im Extrusionsbereich. Beispielhaft ist in Bild 2 die Viskosität in Abhängigkeit der Scherge-

windigkeit und der Temperatur eines Polyethylens dargestellt.

### Einsatzgebiete

Für einfache Fließkanäle mit Kreis-, Rechteck- und Ringspaltquerschnitt sind Grundgleichungen vorhanden, mit welchen die Schubspannung, die Schergeschwindigkeit sowie die axiale Strömungsgeschwindigkeit und der Druckverlust anhand der Methode der repräsentativen Schergeschwindigkeit berechnet werden können. Diese Gleichungen erlauben in vielen Fällen eine Abschätzung der Realität. Wird die Geometrie des Fließkanals komplizierter, ist es nicht mehr möglich, auf analytischem Wege mit kleinem Aufwand, brauchbare Resultate zu erhalten. Dafür bietet die numerische Strömungsmechanik weitaus grössere Flexibilität.

Dies ist beispielsweise bei der Auslegung von Wendelverteiltern oder anderen Vertei-

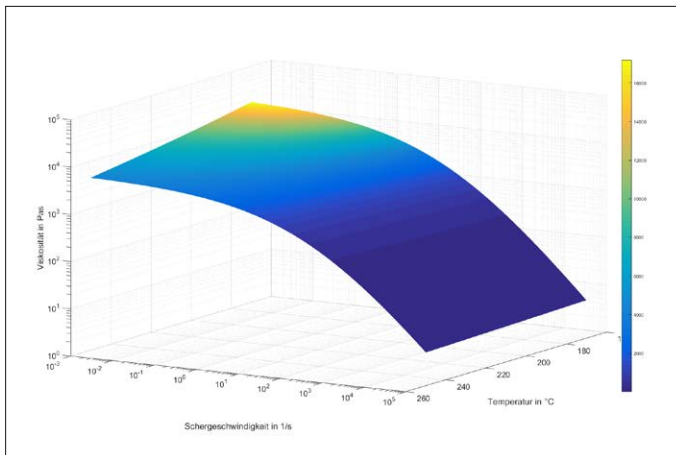


Bild 2: Viskosität als Funktion von Schergeschwindigkeit und Temperatur.

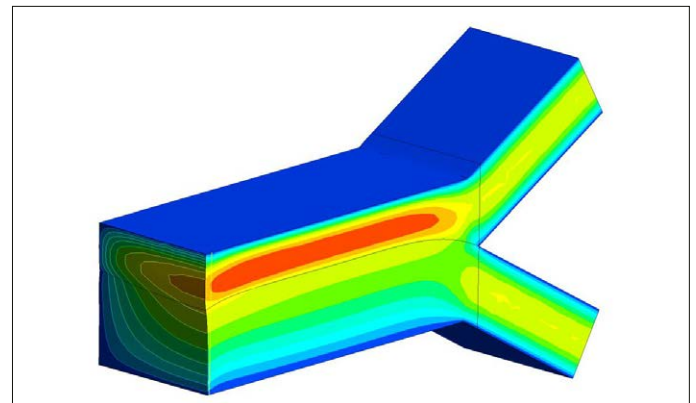


Bild 5: Schnittdarstellung einer Zusammenflussstelle in der Co-Extrusion. Geschwindigkeiten bei gleichem Durchsatz jedoch unterschiedlicher Viskosität.

lersystemen der Fall. Als Austrittsquerschnitte sind hier zwar häufig keine komplexen Geometrien anzutreffen, jedoch sollen auf kleinem Bauraum trotzdem gleichmässige Austrittsgeschwindigkeiten erreicht werden. Kriterien wie die Geschwindigkeit von Material- oder Farbwechsel spielen hierbei ebenfalls eine entscheidende Rolle. Stagnationszonen können anhand von Strömungssimulationen aufgezeigt werden und die Verweilzeit von kritischen Materialien im Werkzeug optimiert werden. In Zusammenarbeit mit Industriepartnern konnten bereits einige prozessspezifische Verteiler simuliert und umgesetzt werden.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die Balancierung von Profilwerkzeugen. Durch die virtuellen Iterationen können die Austrittsgeschwindigkeiten von hochkomplexen Geometrien schrittweise durch die konstruktive Anpassung des Fließkanals optimiert werden. Das Schweißen und Schleifen findet am CAD statt und der Extrusionsversuch im Simulationsprogramm. Die Herausforderung der Werkzeugauslegung liegt bei der Konstruktion

des Fließkanals. Dieser muss einen fließenden Übergang zwischen der Kreisfläche des Extruders oder Adapters zur gewünschten Austrittsgeometrie darstellen und dabei diverse Fertigungs- sowie kunststofftechnische Herausforderungen meistern (Bild 3). Das Ziel, die iterative Optimierung am gefertigten Werkzeug auf ein Minimum zu reduzieren oder sogar zu ersetzen, konnte bereits bei mehreren Produktionswerkzeugen bei Industriepartnern erreicht werden. In aktuellen Projekten werden am IWK die Simulationmöglichkeiten der Extrusion erweitert. Das Abkühlverhalten von thermoplastischen Profilen soll analog zum Spritzgießen simuliert werden können, um Schwindung und Verzug bei der Kalibrierung und Abkühlung vorauszusagen. Durch die Kopplung der Strömungssimulation mit der Strukturmechanik können auch ganze Werkzeuge mechanisch und thermisch ausgelegt werden (Bild 4). Im Bereich der Co-Extrusion werden Mehrphasenströmungen anhand von verschiedenen Materialpaarungen untersucht (Bild 5). Anhand von Materialien mit unterschiedlicher Viskosität, Schmelz- und

Werkzeugtemperatur sollen Phänomene der Co-Extrusion simulationstechnisch aufgezeigt und mit realen Versuchen verifiziert werden.

### Zusätzlicher Mehrwert

Die Kombination moderner Entwicklungswerkzeuge wie CAD und Simulation lassen es durch ihre Schnelligkeit zu, auch unkonventionelle Wege auszuprobieren. Dies fördert die Kreativität und somit die Innovation stark. Beispielsweise können mittels Designstudien zwei bis drei konstruktive Änderungen innerhalb eines Tages simuliert werden. Gegenüber der traditionellen Vorgehensweise, komplizierte Werkzeuge nach Erfahrungswerten, Berechnungshandbüchern oder Handrechnungen auszulegen und danach in Versuchsreihen zu optimieren, bringt die Simulation zusätzlich den Vorteil, dass der Anwender ein besseres Verständnis für das Verhalten der Bauteile und des Materialverhaltens bekommt, wodurch ein vertieftes Produkt- und Prozessverständnis erreicht wird. Insgesamt ergibt sich ein verbessertes, validiertes Design in einer kürzeren Zeit.

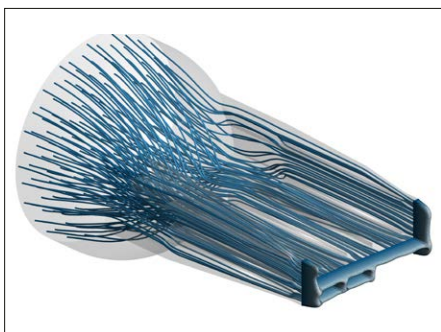


Bild 3: Simulation des Fließverhaltens der Polymerschmelze im Profilwerkzeug.

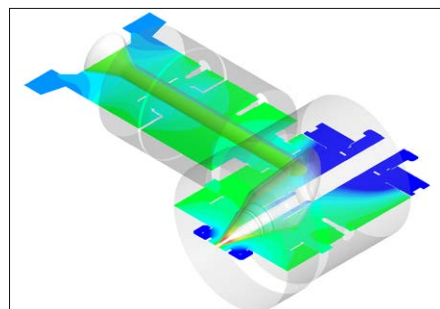


Bild 4: Thermische gekoppelte Strömungssimulation eines kompletten Ummantelungswerkzeuges.

### Kontakt

IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung  
Oberseestr. 10  
Prof. Daniel Schwendemann  
CH-8640 Rapperswil  
+41 55 222 47 70  
iwk@hsr.ch  
www.iwk.hsr.ch