

# Thermik im Gesamt-System beachten

**2-Komponenten-Werkzeugtechnik für Silikonspritzguss** Eine Aufrüsteinheit ermöglicht die Produktion von 2K-Anwendungen auf herkömmlichen 1-Komponenten-LSR-Maschinen. Vorab wurde simulativ überprüft, ob das Projekt in der geplanten Kombination aus Material, Werkzeug, Maschine und Prozesseinstellungen sowie die Verarbeitbarkeit des Silikons auf der Kolbenpumpe der Aufrüsteinheit möglich ist. Die Simulation in der virtuellen Spritzgießmaschine half beim Überprüfen der Werkzeugthermik sowie beim Ermitteln der nötigen Füllzeit sowie des Druckbedarfs und unterstützte die Materialauswahl, ohne Ressourcen zu vergeuden oder die Gefahr von Schäden an der realen Aufrüsteinheit.

**S**pritzgießwerkzeuge für Flüssigsilikone (Liquid Injection Molding, LIM) stellen Werkzeugbauer und Verarbeiter schon beim Einkomponenten-Spritzguss durch die erforderliche heiße und kalte Seite vor Herausforderungen. Besteht das Bauteil dann aus mehreren Komponenten, die vorzugsweise auch noch im selben Werkzeug gespritzt werden, ist eine sorgfältige

thermische Auslegung des Werkzeugs unerlässlich. Selbst erfahrene Werkzeugbauer greifen dafür gerne auf nützliche Hilfsmittel zurück, um sich zusätzlich abzusichern, Ressourcen zu schonen und den Start-of-Production früher zu erreichen.

Ein solches Hilfsmittel, um die Auslegung komplexer Werkzeuge und Prozesse zu unterstützen, ist Sigmasoft

Virtual Molding. Der ganzheitliche Ansatz der 3D-Simulation treibt die Entwicklung neuer Prozesse und Produkte entscheidend voran. Denn neue Ideen und Konzepte können bequem und zeitsparend am Computer getestet und im Detail verglichen werden. Das Ermitteln des richtigen Temperierkonzeptes und der optimalen Prozesseinstellung wird so zum Kinderspiel.



## Autoren

**Vanessa Schwittay,**  
Engineering & Manager Marketing,  
**Tobias Mansfeld,**  
Technical Sales Manager & Senior Engineer,  
Sigma Engineering, Aachen



ABSTRACT

LSR Processes Set-up Virtually  
Testing new concepts

During the processing of liquid silicone rubber (LSR) Sigmasoft Virtual Molding is a vital tool. Because of their particular rheology and cross linking kinetics, LSRs only allow for a narrow processing window and thus present some challenges to the processor. These circumstances have however motivated a number of innovations, to fully exploit the potential of the material.

Precisely during the application of new ideas and innovative concepts, virtual processing feasibility studies support not only cost reduction, but also the risk-free trial of innovations, easily and simply. Through a newly developed adaptable unit, Elmet makes it possible to produce 2-component applications with existing 1-component LSR machines. During K show, Elmet and Momentive demonstrated this novelty at K 2016 using as example a 2-component egg cup, produced in a 4+4 mold on a modified Arburg All-rounder 470 A.

With the aid of Sigmasoft Virtual Molding it was possible to try upfront whether the project was practicable with the planned combination of material, mold, machine and process parameters. The processability of the chosen Silopren LSR 2670 at the plunger pump of the adaptable unit was one of the main questions during the evaluation. The simulation in the virtual injection molding machine helped to find the necessary filling time, demanded pressure and finally the optimal material, without wasting resources and without the danger of damaging the real adaptable unit. Its potential was exploited without the need for long trial and error and the complete process was optimally designed.

Bildquelle Bild 1 bis 7: Sigma

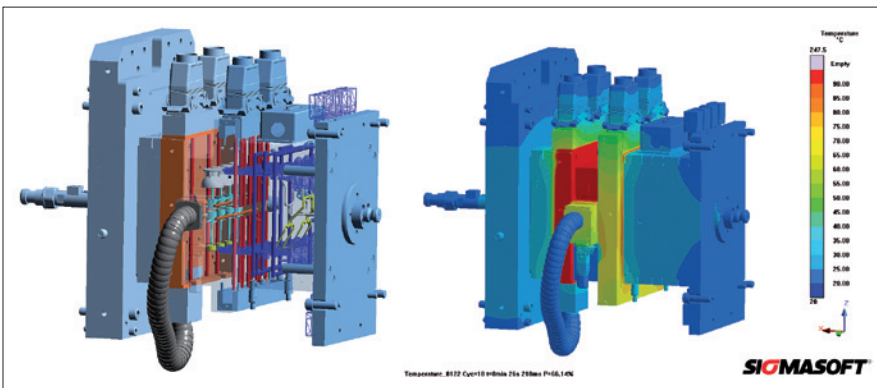


Abb. 1: Das komplette Werkzeug mit allen Komponenten (li.) und das Werkzeug im eingeschwungenen Zustand im 18. Zyklus (re.).

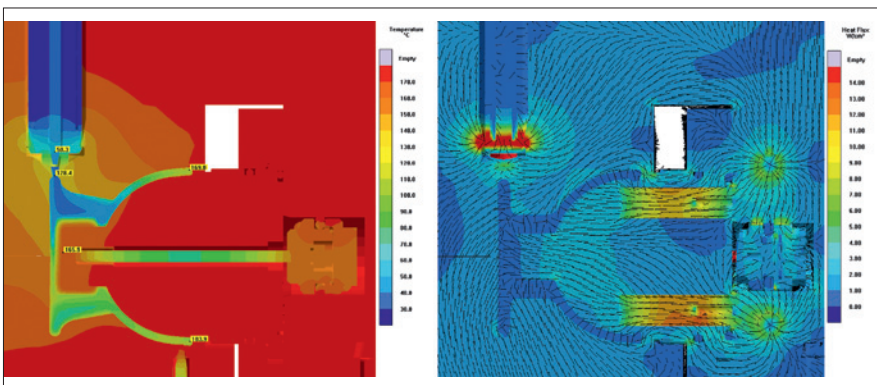


Abb. 2 (li.): Geringfügige Aufheizung der Düsen Spitze und Kühlung der Kavitätseinsätze durch die Druckluftentformung (vertikal im Bild). Abb. 3 (re.): Wärmeströme im Werkzeug, die leitfähigen Kupferstifte sind gut zu erkennen.

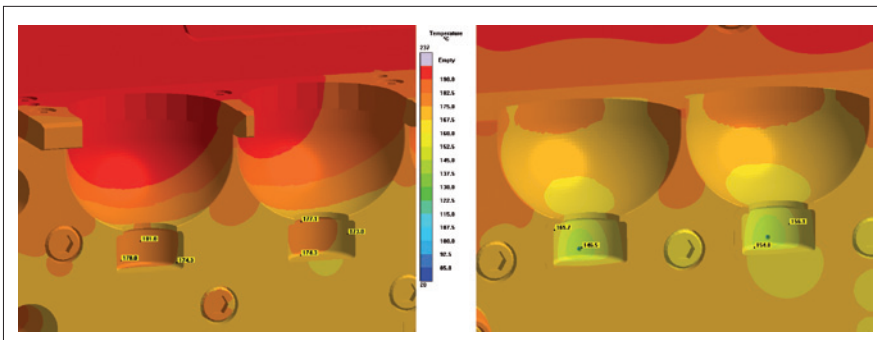


Abb. 4: Temperaturverteilung innerhalb der Kavitäten der gelben ersten Komponente, schon hier gibt es Temperaturunterschiede von bis zu 25 °C (li.: Auswerferseite; re.: Düsenseite).

Präsentation des 2-K-Silikonspritzguß

Um eine neuentwickelte Aufrüsteinheit auf der K 2016 vorzustellen, plante der Werkzeugbauer Elmet den Bau eines 2-Komponenten-Werkzeugs für ein ansprechendes Demo-Bauteil. Die Wahl fiel schließlich auf einen 2-K-Eierbecher aus Silopren 2670, das für die einzelnen Komponenten weiß und gelb eingefärbt wurde. Dieser Eierbecher sollte auf einem 4+4-fach Werkzeug mit Drehkern und mit der Aufrüsteinheit auf einer Arburg-Spritzgießmaschine vom Typ Allrounder 470 A produziert

werden. Die dabei nötige Werkzeugkonfiguration erfordert eine sorgfältige Temperaturführung, um eine gleichmäßige Füllung und Vernetzung in den Kavitäten beider Komponenten zu erreichen.

Um für eine gleichmäßige Temperatur zu sorgen, soll unter anderem die Werkzeugthermik vorab mit der Virtual Molding Technologie überprüft werden. Für die genaue Betrachtung des thermischen Haushalts werden alle Bestandteile des Werkzeugs berücksichtigt (Abb.1, li.): Kavitätseinsätze, Werkzeugplatten,

Kaltkanal, Drehkern, Heizpatronen und Kühlkanäle – aber auch Komponenten wie Isolierungen, elektrische Stecker, Kabelschlepper und Druckluftsysteme, an die zunächst oft nicht gedacht wird. Doch auch diese scheinbar weniger wichtigen Bestandteile können einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Werkzeugthermik insgesamt haben. So ist eine ausreichende Isolierung des Kaltkanal essentiell, um einen stabilen Prozess zu gewährleisten. Die Isolierung der einzelnen Temperaturbereiche zueinander und nach außen sorgt für eine

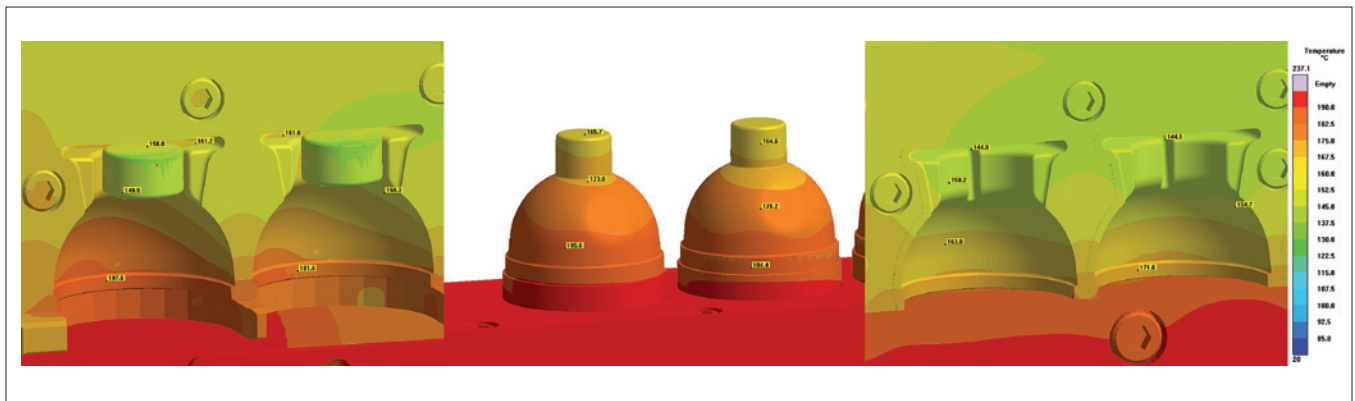


Abb. 5: Temperaturverteilung innerhalb der Kavitäten des Eierbechers, für die zweite Komponente liegen die Temperaturunterschiede bei bis zu 30 °C (li.: Auswerferseite inkl. Erste Komponente; Mitte: Drehkern; rechts: Düsenseite).

bessere Energieeffizienz des Werkzeugs. Druckluftsysteme hingegen können, je nach Positionierung und Einsatz, einen unbeabsichtigten Kühleffekt auf das Werkzeug haben.

#### Isolierung der Komponenten beachten

Im Fall des Eierbecher-Werkzeugs ergaben sich für die Werkzeugtemperierung gleich mehrere Fragestellungen und Bereiche, die simulativ abgesichert werden sollten. Zunächst lag das Augenmerk auf der Isolierung von heißen und kalten Bereichen des Werkzeugs. Bei einer Solltemperatur von 190 °C stellte sich gleichzeitig die Frage, ob die geplanten Heizpatronen mit ihrer Leistung auch den nötigen Wärmeeintrag erbringen, um die gewünschte Temperatur zu gewährleisten.

Dazu wurden zunächst das Aufheizverhalten und das thermische Einschwingen des Werkzeugs über mehrere Zyklen berechnet. Anschließend wurde die Temperaturverteilung im Werkzeug analysiert. Abbildung 1 rechts zeigt das Werkzeug im thermisch

stabilen Zustand. Die Temperaturunterschiede zwischen heißen und kalten Werkzeugbereichen sind deutlich zu erkennen und durch die Isolierplatten im Werkzeug klar voneinander abgegrenzt. Von außen betrachtet funktioniert die Trennung der Temperaturbereiche zufriedenstellend. Hier wird jedoch auch deutlich, dass die Anschlüsse für die elektrischen Stecker und den Kabelschlepper sich ebenfalls stark erhitzen und dem Werkzeug Wärme entziehen.

Auch innerhalb des Werkzeugs muss besonderes Augenmerk auf eine gute Trennung der Temperaturbereiche gelegt werden: die Isolierung des Kaltkanals und dort insbesondere auf die Temperaturführung an der Düsen Spitze. Zur Entformung des Bauteils muss auch an dieser Stelle das Silikon ausreichend vernetzen, das Material muss dazu warm genug werden. Gelangt jedoch an dieser Stelle zu viel Wärme in den Kaltkanal, kommt es schon in der Düsen Spitze zur Vernetzung des LSRs. Dadurch wird nicht nur die Qualität der

Bauteile im Folgezyklus beeinträchtigt. Sondern im schlimmsten Fall blockiert der Kaltkanal, und eine Prozessunterbrechung sowie eine aufwendige Reinigung des Werkzeugs werden nötig. Um dem vorzubeugen, wurde bei der Analyse auf diese kritische Stelle besondere Aufmerksamkeit gerichtet und die Nadeltemperatur in den Kaltkanaldüsen beider Komponenten für den laufenden Prozess überprüft. In Abbildung 2 ist die Nadeltemperatur im Produktionszyklus zu sehen. Mit rund 65 °C an der Nadelspitze und einer Zykluszeit von knapp 26 Sekunden besteht mit den gewählten Prozesseinstellungen kein Risiko einer vorzeitigen Vernetzung im Kaltkanal.

#### Temperierung des Drehkerns

Eine weitere Herausforderung bestand in der richtigen Temperierung des Drehkerns, auf dem die beiden Komponenten gespritzt werden. Dieser muss nicht nur gleichmäßig beheizt sein, um eine schnelle und gleichmäßige Vernetzung zu gewährleisten. Er enthält auch ein System zur Druckluftentformung der Eierbecher. Die Druckluftentformung hat jedoch eine kühlende Wirkung auf die umliegenden Werkzeugbereiche (Abb. 2). Als Gegenmaßnahme wurden in jeden Kavitäteneinsatz Kupferstifte integriert (Abb. 3). Diese unterstützen nicht nur den Ausgleich der Kältequellen durch die Heizpatronen, sondern tragen durch eine gezielte Wärmeleitung auch zu einem besseren Vernetzungsverhalten bei. Denn durch ihre guten Wärmeleitungseigenschaften wird die Wärme optimal in die kuppelförmigen Kavitäten eingebracht und die Vernetzungsreaktion wird in allen Kavitäten gleichmäßig angestoßen.

Abb. 6: Vernetzungsgrad der ersten (li.) und zweiten Komponente (re.) jeweils am Zyklusende.

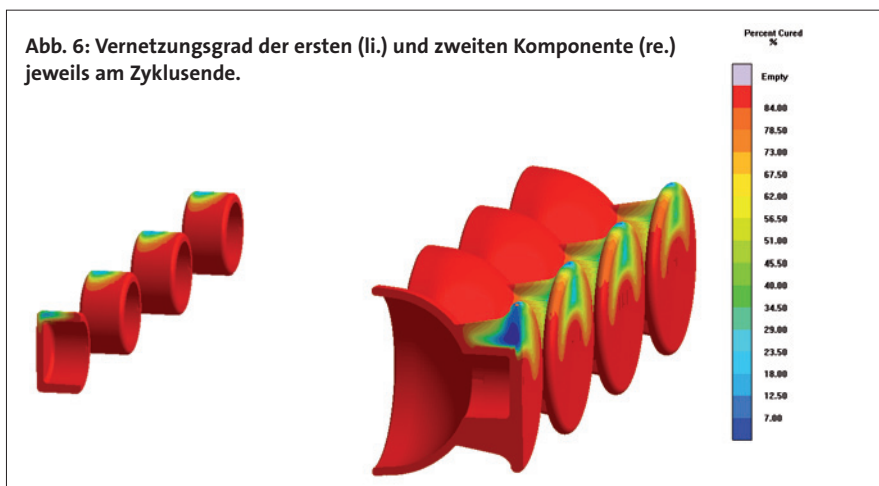


Abbildung 4 zeigt zunächst die Temperaturverteilung in den Kavitäten der ersten Komponente. Schon für die deutlich kleineren Innenteile des Eierbechers bilden sich im eingeschwungenen Zustand Temperaturunterschiede von bis zu 25°C innerhalb der Kavität aus. Dies liegt vor allem an den Kaltkanaldüsen, die sich ohne weitere Heißläufer unmittelbar hinter den Kavitäten befinden. Für die zweite, größere Komponente, den eigentlichen Eierbecher, werden die Temperaturen nicht nur auf den äußeren Kavitätswänden genau betrachtet (Abb. 5, li. und re.), sondern auch auf dem Drehkern (Abb. 5, Mitte), da die ausreichende Temperierung der kuppelförmigen Kerne besonders wichtig ist. Denn hier muss die Kühlung aufgrund der Druckluftentformung durch die Heizpatronen wieder ausgeglichen werden. Um die Vernetzungsreaktion dieser Komponente realitätsnah vorherzusagen, wird auch die erste Komponente und deren Temperaturhaushalt in die Bewertung einbezogen (Abb. 5, li.). Für den Becher bilden sich sogar Temperaturunterschiede von bis zu 30°C aus. Auch hier werden diese vor allem durch den Kaltkanal verursacht. Daher ist eine gezielte Wärmeleitung für die inneren Kerne unerlässlich, um so die nötigen Temperaturen für eine schnelle und möglichst gleichmäßige Vernetzung zu erreichen. Der innere Kern wird damit über die gesamte Höhe der Kavität ca. 10 bis 20°C



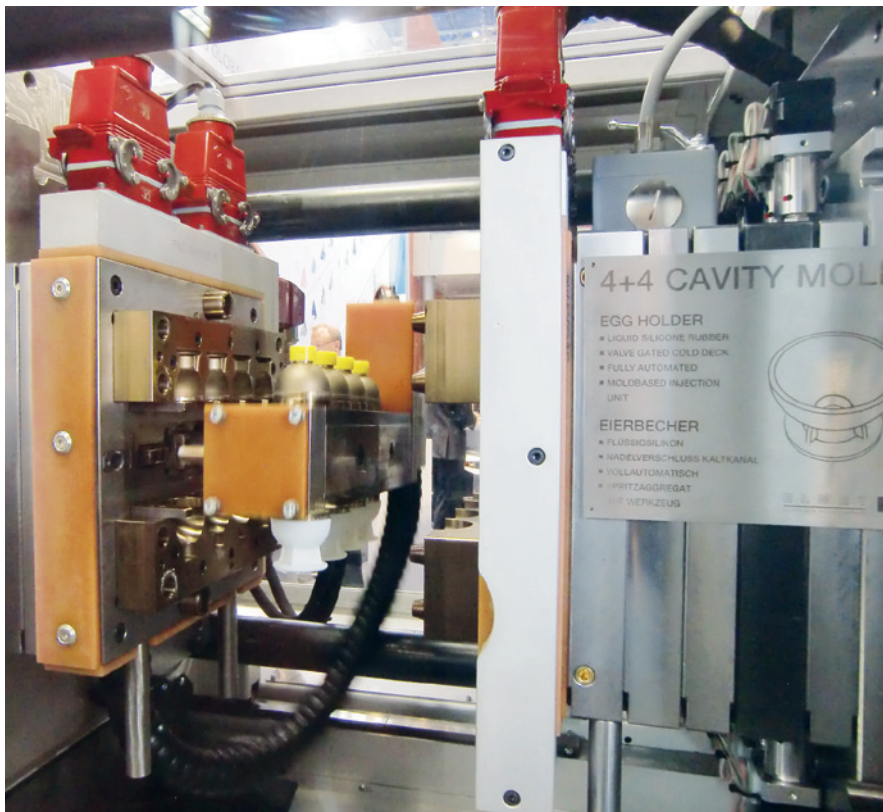
**Abb. 7:** Sowohl die vorhergesagte Bindenaht, an der die Schmelze in der Mitte zusammen-trifft (re.), als auch die Fließnähte in Verlängerung der seitlichen Stege (li.) finden sich auch in den realen Bauteilen wieder.

wärmer gehalten als die äußere Kavitätswand.

#### **Analyse des Füll- und Vernetzungsverhaltens**

Nachdem die Werkzeugtemperierung und Temperaturführung, sowie die Wirksamkeit der Isolierung ausreichend überprüft wurden, stellt sich noch die Frage, ob sich mit der resultierenden

Temperaturverteilung auch Bauteile in der gewünschten Qualität produzieren lassen. Der Fokus der Analyse richtet sich auf das Füll- und Vernetzungsverhalten der beiden Komponenten. Dieses wird zunächst für die erste Komponente betrachtet. Dort gibt es in der Füllung keine Auffälligkeiten. Die Vernetzungsreaktion verläuft gleichmäßig, wobei der Bereich nahe der Kaltka-



Bildquelle: Momentive

Abb. 8: Das 4+4-fach Eierbecher-Werkzeug sorgte auf der K 2016 für großes Interesse.

naldüse wie zu erwarten die geringste Vernetzung aufweist (Abb. 6, li.). Dort ist der Vernetzungsgrad mit 25 Prozent zum Zeitpunkt der Werkzeugöffnung deutlich geringer als in der restlichen Komponente, das Bauteil ist jedoch auch dort schon stabil genug für das Umsetzen in die andere Kavität. Zudem härtet die erste Komponente gemeinsam mit der zweiten weiter aus, so dass

der lokal geringere Vernetzungsgrad unbedenklich ist.

In der zweiten Komponente wird ebenfalls als erstes die Formfüllung betrachtet. Dabei fällt auf, dass sich als Fortsetzung der Stege entlang des Fußes Binde- und Fließnähte ausbilden. Diese lassen sich auch in den gefertigten Bauteilen klar identifizieren. Abbildung 7 belegt die gute Übereinstimmung

von realem Bauteil und vorhergesagtem Fließverhalten. Eine anschließende Betrachtung der Vernetzung zeigt, dass sich zum Zeitpunkt der Entformung im Inneren des Fußes noch unvernetzte Bereiche befinden und der Vernetzungsgrad an der Bauteiloberfläche an einigen Stellen bei etwa 35 Prozent liegt (Abb. 6, re.). Das könnte bei der Entformung zu Problemen führen. Jedoch ist von der Produktion ähnlicher Bauteile bekannt, dass mit diesem Vernetzungsgrad an der Oberfläche ausreichende Formstabilität gegeben ist, um das Bauteil zu entformen.

Mit Unterstützung von Sigmasoft Virtual Molding konnte das Werkzeugkonzept für die 2-Komponenten-LSR-Eierbecher schon vor dem Werkzeugbau überprüft werden. Die Temperierung und der Temperaturhaushalt des Werkzeugs waren maßgeblich bestimmend für die Bauteilqualität und wurden deshalb besonders gründlich analysiert. Die im ermittelten Prozessfenster produzierten Erstmuster zeigten von Beginn an eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität. ■

Die Sigma bedankt sich bei ihren Projektpartnern der Elmet Elastomere Produktions- und Dienstleistungsgesellschaft und Momentive Performance Materials für die gute Zusammenarbeit und zur Verfügung gestellten Daten.

#### KONTAKT

Sigma Engineering, Aachen  
v.schwittay@sigmasoft.de