

# KGK

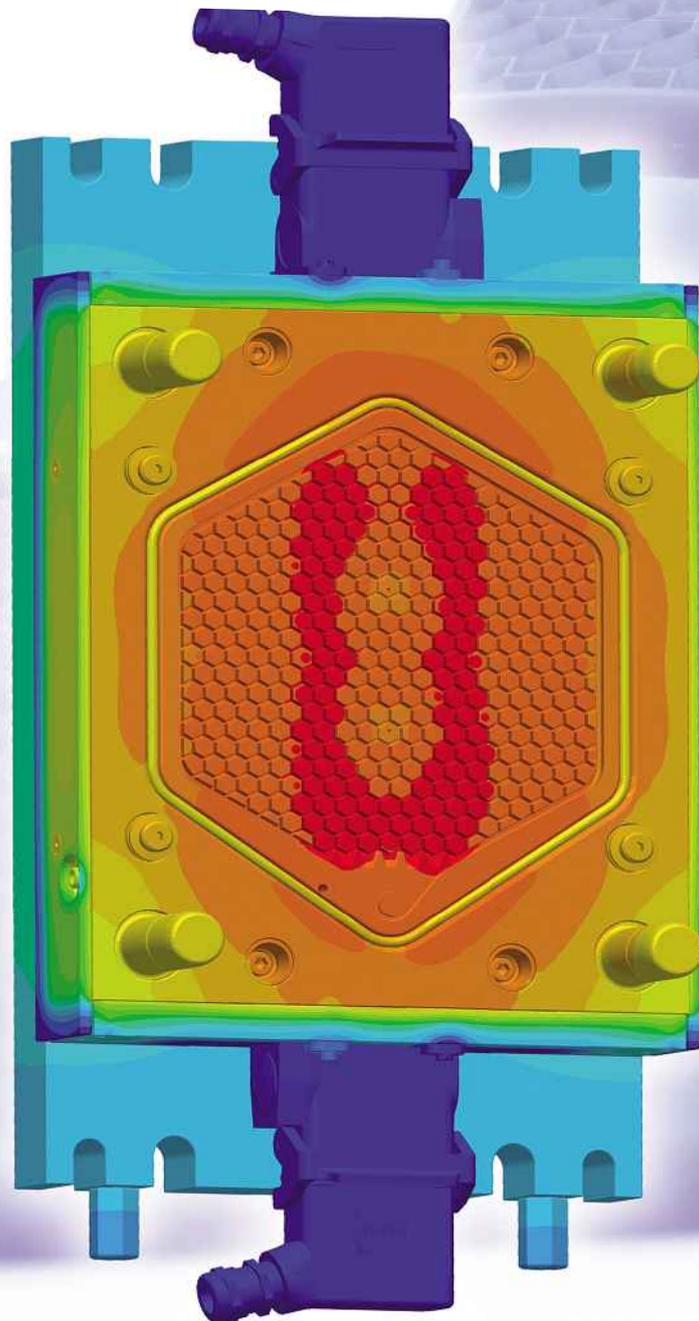
**KAUTSCHUK GUMMI KUNSTSTOFFE**

**EPDM-SCHAUM** Einfluss der Vulkanisationsparameter  
**FILLER** Barium Ferrite filled SBR- and NBR-Composites

[www.kgk-rubberpoint.de](http://www.kgk-rubberpoint.de)

## Silikon-Topflappen richtig temperiert

Mit virtueller Optimierung  
zum richtigen Heizkonzept,  
Seite 10



Eine Fließweglänge von 135 mm und überwiegende Wandstärken von 1 mm bei einem Schussgewicht von rund 85 g machen den Topflappen zu einem komplexen Bauteil.



Bildquelle: Momentive

## Topflappen richtig temperiert

**Mit virtueller Optimierung zum richtigen Heizkonzept** Gerade bei komplexen Bauteilen besteht die Gefahr, dass der Start der Produktion durch benötigte Änderungsschleifen des Werkzeugs nach hinten verschoben wird. Mit Hilfe moderner Simulationsansätze lassen sich Werkzeuge und Prozesse komplett am Computer auslegen, wodurch teure Nacharbeiten am realen Werkzeug entfallen. Im Falle eines komplexen LSR-Bauteils wurde das Heizkonzept so optimiert, dass das Werkzeug ab dem ersten Einsatz auf der Maschine gute Bauteile produzierte.

**E**in Topflappen aus Flüssigsilikonkautschuk (LSR) sollte als gemeinsames Messeprojekt für die Fakuma 2018 produziert werden. Komplexe Bauteile dieser Art werden bisher vor allem in Compression Molding Prozessen hergestellt, in dem Projekt war jedoch ein Spritzgießprozess das Ziel, um das Potenzial von LSR-Materialien für

### Autorin

**Vanessa Frekers,**  
Engineering & Manager Marketing,  
Sigma Engineering, Aachen  
v.frekers@sigmasoft.de

dünnwandige Bauteile mit langen Fließwegen zu demonstrieren. Machbarkeitsstudien und die Auslegung von Bauteil, Kaltkanal, Werkzeug und Prozess erfolgten vollständig virtuell.

Der Topflappen ist mit einer Wanddicke von nur 1 mm in der kompletten Wabenstruktur, einer Fließweglänge von 135 mm und seiner ungewöhnlichen Form ein komplexes Bauteil. Als Material wurde von Beginn ein Silopren LSR 2650 gewählt, diese Type sorgt für weichen Griff bei maximaler Temperaturbeständigkeit. Für die Produktion stellte sich zunächst die Frage nach dem nötigen Einspritzdruck und

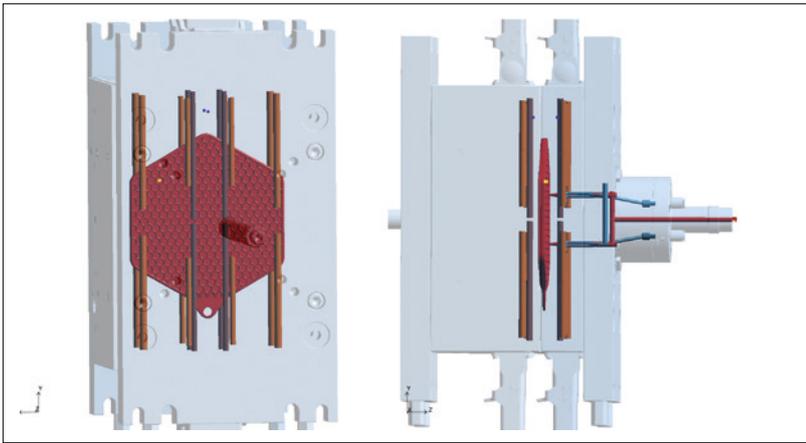


### ABSTRACT

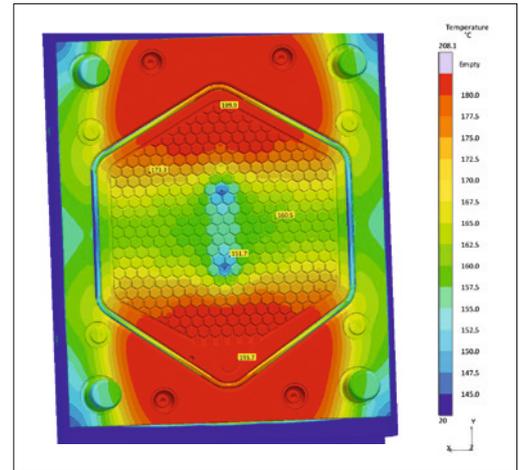
#### Virtual optimisation for the right heating concept

Especially complex parts present a high risk of a delayed start of production due to necessary changes in the mold. With the help of up-to-date simulation approaches, mold and production process are completely designed on the computer, which renders changes on the real mold redundant. In the case of a complex LSR part the complete heating concept was thus optimized and the mold produced good quality parts from the first use on the machine.

Bildquelle: Sigma Engineering



**Bild 1:** Erster Entwurf des Heizkonzepts für den Topflappen mit einer symmetrischen Anordnung der Heizpatronen (orange) für beide Werkzeugseiten. Die blauen Punkte markieren die im Werkzeug verbauten Thermofühler, die gelben Punkte zeigen die Position der virtuellen Regelpunkte.



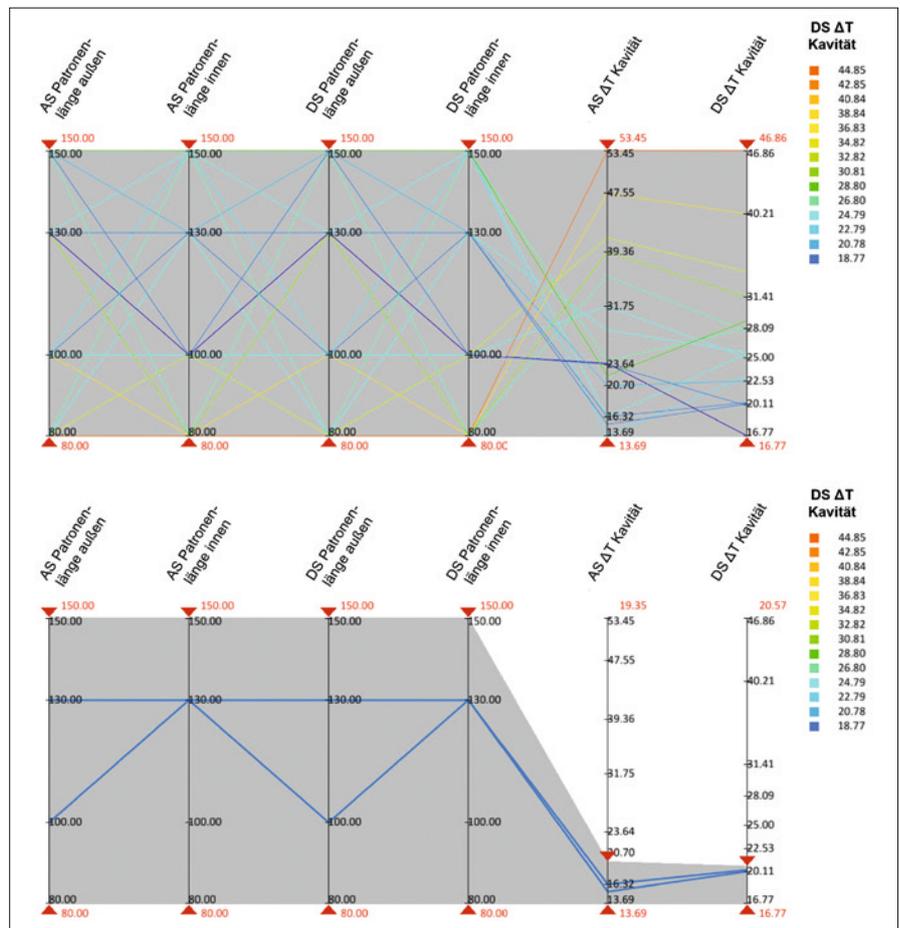
Bildquelle: Sigma Engineering

**Bild 2:** Die Temperaturverteilung auf der Düsen­seite innerhalb der Kavität für das erste Heizkonzept zeigt Unterschiede von rund 40 °C.

damit nach der notwendigen Schließkraft der Maschine. Aus diesem Grund wurde mit Hilfe der Sigmasoft Virtual Molding Technologie zunächst der Kaltkanal ausgelegt. In einem virtuellen Design of Experiments (DoE) wurde die ideale Anzahl und Position der Kaltkanaldüsen ermittelt. Für den Topflappen mit einem Schussgewicht von rund 85 g wurde so ein Kaltkanalkonzept entwickelt, das bei zwei Düsen und An­spritzpunkten nur einen Füll­druck von rund 550 bar benötigt. Gleich­zeitig wurde für das ursprüngliche Bauteil­design die Gefahr von Luft­einschlüssen im Bereich der Lasche aufgedeckt und durch eine Optimierung der Geometrie der Lasche behoben. Nach der Auslegung des Kaltkanals wurde anschließend auch die weitere Entwicklung des Werkzeugkonzepts simulativ begleitet. Um eine stabile Produktion bei gleichzeitig guter Bauteilqualität und kurzen Zykluszeiten zu gewährleisten, war das Heizkonzept ein entscheidender Faktor. Eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb der Kavität ist die Voraussetzung für eine stabile Produktion und fehlerfreie Bauteile.

### Bewertung des ersten Heizkonzeptes

Dazu wurde im ersten Schritt eine Ist-Analyse des geplanten Werkzeugkonzepts durchgeführt. Bei diesem Konzept waren für jede Werkzeugseite je vier Paar Heizpatronen vorgesehen (Bild 1), die in beiden Seiten symmetrisch angeordnet sind. Die inneren Heizpatronen mit einem Durchmesser von 6,5 mm und einer Leistung von 315 W weisen in der Mitte einen größeren vertikalen Abstand auf. Die äußeren Heizpatronen



Bildquelle: Sigma Engineering

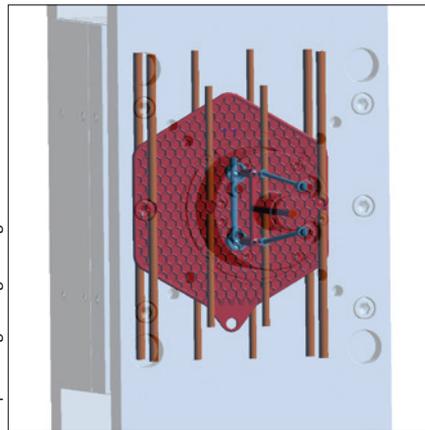
**Bild 3:** Nach der Berechnung in der virtuellen DoE werden alle Varianten in einem Diagramm dargestellt (oben). Dabei repräsentiert jede bunte Linie eine Variante, die vertikalen Schieber zeigen die Freiheitsgerade und Zielgrößen in ihren Ausprägungen auf. Mit deren Hilfe lassen sich die Zielgrößen weiter einschränken und so beispielsweise die Varianten mit den geringsten Temperaturunterschieden auf beiden Seiten ermitteln (unten).

haben einen Durchmesser von 8 mm und eine Leistung von 400 W. Zusätzliche Kupferstifte (parallel zu den inneren Patronen) sollen für eine gleichmäßigere

Temperaturverteilung in der Kavität sorgen. Die Regelung der Heizpatronen erfolgt über Thermofühler im oberen Bereich der inneren Heizpatronen.

Um nicht nur eine Ist-Analyse durchzuführen, sondern auch direkt die einzustellende Temperatur an den Thermofühlern zu ermitteln, wurden zusätzliche zwei virtuelle Regelpunkte in Kavitätsnähe modelliert (s. Bild 1). An diesen virtuellen Regelpunkten wird die gewünschte Temperatur von 170°C vorgegeben. Die anschließende Berechnung des vollständigen Werkzeugs umfasst eine halbstündige Aufheizphase und 15 Anfahr-Zyklen, um einen thermisch eingeschwungenen Zustand des Werkzeugs zu erreichen. Auf diese Weise werden gleichzeitig die Temperaturverteilung im Werkzeug und die nötigen Zieltemperaturen für die realen Thermofühler bestimmt.

Mit diesem ersten Heizkonzept ergaben sich jedoch Temperaturunterschiede von rund 40°C innerhalb der Kavität (Bild 2). Dies ist aus verschiedenen Gründen problematisch. So besteht die Gefahr einer ungleichmäßigen Vernetzung des Bauteils, sowie von Einfallstellen und Scorch durch ein frühzeitiges Anvernetzen des Materials. Nicht zuletzt kann bei einem komplexen Teil wie dem Topflappen durch die hohen Differenzen auch eine vollständige Bauteilfüllung verhindert werden.



Bildquelle: Sigma Engineering

**Bild 4: Die ideale Konfiguration des Heizkonzeptes nutzt unsymmetrische Heizpatronen auf den beiden Werkzeugseiten.**

#### Zum idealen Heizkonzept mittels virtueller DoE

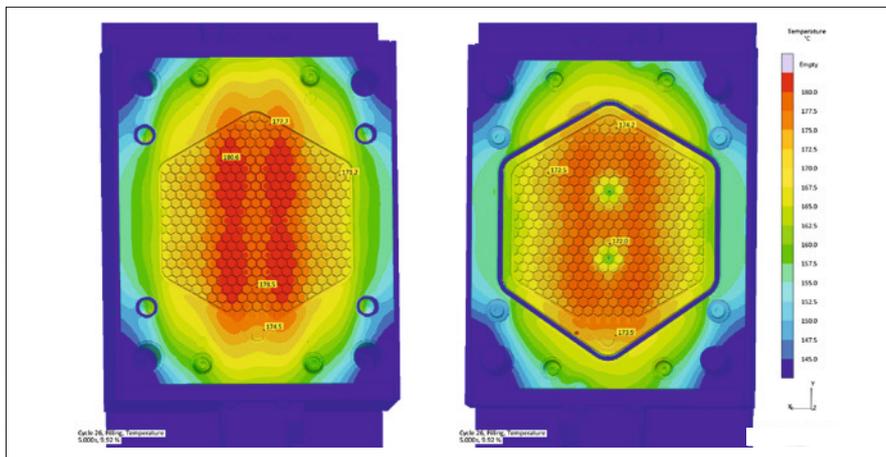
Um eine gleichmäßigere Temperaturverteilung im Werkzeug zu erreichen, sollte das Heizkonzept überarbeitet und verbessert werden. Der einfachste Weg dazu ist ein virtuelles Design of Experiments (DoE) am Computer in Verbindung mit der Vorgabe klarer Bewertungskriterien. Als Grundlage für die Optimierung des Heizpatronenkonzeptes wurden die Patronen zunächst vertikal

weiter in die Mitte des Werkzeugs verschoben, so dass alle Patronen gleich tief in das Werkzeug reichen. Die übrigen Prozesseinstellungen und die Anzahl der thermischen Zyklen werden aus der ersten Berechnung übernommen. Ausgehend von dieser Konfiguration wird die Länge der Heizpatronen in vier möglichen Maßen variiert (80, 100, 130 und 150 mm). Dabei sind die Längen der inneren und äußeren Patronenpaare jeweils für beide Werkzeugseiten gekoppelt und es werden nur symmetrische Konzepte geprüft. In allen Berechnungen wird die maximal mögliche Leistung für die handelsüblichen Patronen angenommen. So ergeben sich für die virtuelle DoE insgesamt 16 mögliche Varianten.

Zur späteren Bewertung der einzelnen Varianten werden außerdem zwei Zielgrößen vorgegeben. Für jede Werkzeugseite soll die Temperaturdifferenz innerhalb der Kavität möglichst minimal sein. Durch die Vorgabe dieser Zielgrößen liefert die Software nach der Berechnung direkt ein Ranking zur Beurteilung. Neben diesem Ranking bieten Korrelationsmatrizen, Haupteffekte und diverse Diagramme weitere Möglichkeiten zur Bewertung der Varianten.

Für das Topflappenwerkzeug erfolgt die Bewertung und Auswahl der besten Varianten vorwiegend über die sogenannten Parallelkoordinaten. Bei diesem Ergebnis wird jede Variante in einem Diagramm durch eine bunte Linie dargestellt (Bild 3, links). Die vertikalen Schieber zeigen die Freiheitsgrade und Zielgrößen in ihren jeweiligen Ausprägungen auf. Über diese Schieber werden die Zielgrößen weiter eingeschränkt, um so eine engere Auswahl an Varianten zu ermitteln, von denen die Temperaturergebnisse im Detail überprüft werden. So lassen sich beispielsweise die Varianten ermitteln, die für beide Seiten möglichst geringe Temperaturunterschiede aufweisen (Bild 3, rechts), oder in denen die Differenz für beide Seiten möglichst gleich groß ist.

Dabei stellt sich heraus, dass nur eine zwischen den Werkzeugseiten unsymmetrische Heizpatronenkonfiguration (Bild 4) zu einer guten Lösung mit einer möglichst geringen Temperaturdifferenz auf jeder Werkzeugseite führt. Mit einem Heizkonzept, das auf der Auswerferseite alle Patronen in einer Länge von 130 mm sowie auf der Düsenseite innen 100 mm und außen 130 mm als Länge vorsieht, kann die Temperaturdifferenz



Bildquelle: Sigma Engineering

**Bild 5: Temperaturverteilung innerhalb der Kavität auf der Auswerfer- (links) und Düsenseite (rechts). Die Temperaturdifferenz konnte für beide Seiten auf rund 10°C gesenkt werden.**

1 Finale Konfiguration der Heizpatronen für das Topflappenwerkzeug.				
	Düsenseite innen	Düsenseite aussen	Auswerferseite innen	Auswerferseite aussen
Patronen-Ø	6,5 mm	8 mm	6,5 mm	8 mm
Patronenlänge	100 mm	130 mm	130 mm	130 mm
Patronenleistung	315 W	400 W	390 W	400 W
Temperatur am Regelpunkt	180°C	180°C	180°C	180°C
Auslastung	40%	35%	67%	62%

Bildquelle: Sigma Engineering

innerhalb der Kavität auf jeder Seite auf rund 10°C gesenkt werden (Bild 5). Tabelle 1 zeigt die finale Konfiguration der Heizpatronen, wie sie auch im realen Werkzeug verwendet wird.

### Konzeptprüfung und Prozessanalyse

Da bisher nur der Einfluss der Heizpatronen auf die Werkzeugthermik betrachtet wurde, erfolgt abschließend noch eine Überprüfung des Heizkonzeptes mit Hinblick auf den gesamten Prozess und die Bauteilfüllung und Vernetzungsphase. Dazu wird die ermittelte Konfiguration noch einmal als kompletter virtueller Spritzgießprozess gefahren.

Dabei werden nach einer 30-minütigen Aufheizphase zunächst 25 Zyklen berechnet, um einen thermisch eingeschwungenen Zustand zu erreichen. Für die anschließenden Produktionszyklen wird die Temperaturverteilung innerhalb der Kavität nicht nur zu Beginn des Zyklus, sondern auch im Verlauf über einen Spritzgießzyklus betrachtet. Dabei zeigt sich, dass sich die Temperaturen innerhalb der Kavität während eines Zyklus um 15 °C verändern (Bild 6). Die erzielten örtlichen Temperaturunterschiede von  $\Delta 10\text{ °C}$  sind also sehr positiv zu bewerten.

Nach dieser letzten Betrachtung der Werkzeugthermik wird anschließend noch ihr Einfluss auf das Füll- und Vernetzungsverhalten des Bauteils überprüft. Hierbei zeigt sich, dass die Bauteilfüllung ohne Probleme erfolgen kann. Eine Gefahr von frühzeitiger Anvernetzung während der Füllung besteht nicht. Die Empfehlung aus der Bauteiloptimierung zu einem angepassten Entlüftungskonzept bestätigt sich auch in der vollständigen Prozessbetrachtung. Andernfalls führt die komplexe Geometrie zu Luftschlüssen. Auf die Vernetzungsreaktion des Bauteils hat die Werkzeugthermik jedoch einen großen Einfluss. Die Vernetzung erfolgt gleichmäßig, doch die aufgedickten Wabenstrukturen an den Anbindungen bestimmen die nötige Heizzeit für den Topflappen (s. Bild 7) und damit die Gesamtzykluszeit. Um das Bauteil formstabil entformen zu können, ist eine minimale Heizzeit von 33,5 s erforderlich (vgl. Bild 7, oben rechts). Andernfalls wird dort das Material bei der Bauteilentnahme abgerissen. Die ermittelte Heizzeit wurde durch Versuche beim Einrichten der Maschine bestätigt.

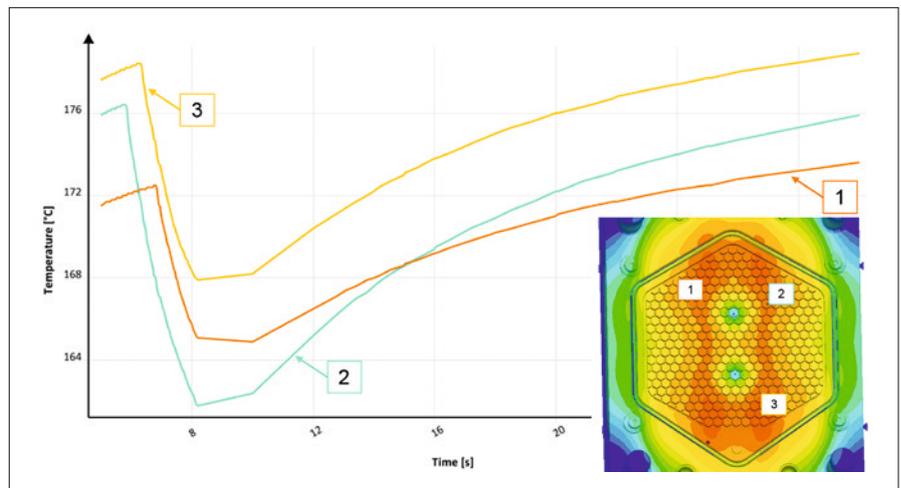


Bild 6: Während der Produktion schwanken die Temperaturen innerhalb der Kavität um 15 °C.

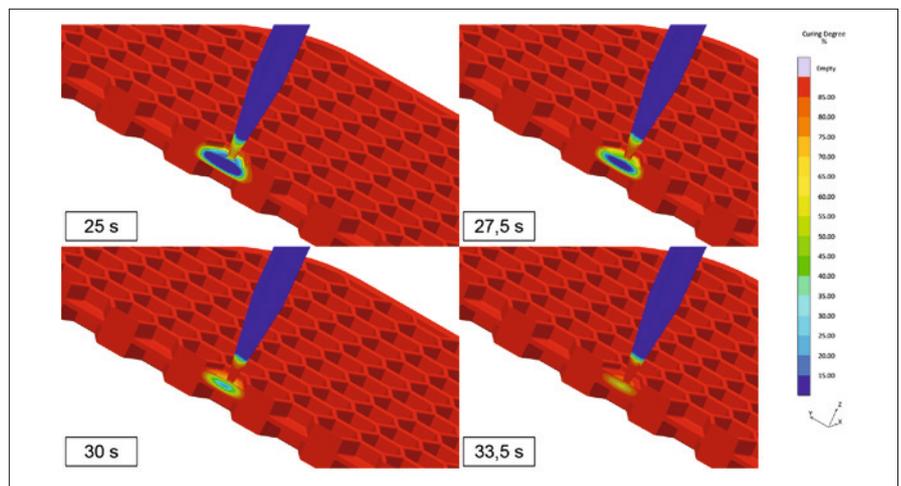


Bild 7: Vernetzungsgrad an den Anbindungen in Abhängigkeit der Heizzeit. Für eine formstabile Entformung ist eine minimale Heizzeit von 33,5 s erforderlich (vgl. oben rechts).

### Zusammenfassung

Mit Hilfe von virtueller DoE wurde das ideale Heizkonzept für den Topflappen ermittelt und die Temperaturdifferenz innerhalb der Kavität auf ein Minimum reduziert. Auf diese Weise wurden spätere Änderungen am Werkzeug vermieden. Zusammen mit der anschließenden virtuellen Prozessauslegung wurde so sichergestellt, dass von Beginn an gute Bauteile in einem stabilen Prozess produziert wurden. Umfassende Prozess-Simulation bietet einen sicheren, schnellen und kostengünstigen Weg, um die Machbarkeit zu überprüfen und Entwicklungszeiten zu verkürzen. ■

Das erste Mal wurde der Topflappen auf der Fakuma 2018 in Friedrichshafen am Stand der Momentive Performance Materials gezeigt. Dort lief das Werkzeug der Emde Moldtech auf einer Smart Power 90-350 Maschine inklusive Roboterhandling von

Wittmann Battenfeld. Dabei wurde der Kaltkanal von Emde direkt an der Maschinendüse montiert. Kompliert wurde die Fertigungszelle durch eine Dosierpumpe Maximix 2G von der ACH Solution.

### KONTAKT

- ▶ Sigma Engineering, Aachen, Deutschland  
info@sigmasoft.de
- ▶ ACH Solution, Fischlham, Österreich  
office@ach-solution.at
- ▶ Emde Mouldtec, Oberbachheim, Deutschland  
info@emde.de
- ▶ Momentive Performance Materials, Leverkusen, Deutschland  
cs-eur.silicones@momentive.com
- ▶ Wittmann Battenfeld, Kottlingbrunn, Österreich  
info@wittmann-group.com