

Im Mittelpunkt des Bildes sind die beiden aufgezogenen Hälften des Spritzgießwerkzeugs zu sehen. Die beitragenden Personen von links nach rechts sind: Nicolas Büttner, Dominik Lawatsch, Dr. Sebastian Neubauer (alle Valeo), Christian Hellmuth, Michael Voßwinkel (beide Hofmann). Es fehlt Pawel Uchyla (Valeo). © Valeo/Hofmann

Gehäuse aus faserverstärktem Polybutylenterephthalat (PBT)

Additiv gefertigte Werkzeugkavität steigert Effizienz und Bauteilqualität

Anhand von Simulationen und einer Prototypenproduktion wurde der Einfluss einer additiv gefertigten Spritzgießwerkzeug-Kavität auf den Fertigungsprozess untersucht. Durch die verbesserte Kühlleistung kann die Zykluszeit um rund 10 Prozent verringert, sowie gleichzeitig eine hohe dimensionale Stabilität des PBT-Bauteils erreicht werden.

Der Antriebsstrang im Automobil befindet sich in einem zukunftsweisenden Umbruch. Die Haupttreiber sind hier die immer strengeren Vorgaben für die Emission von Kohlenstoffdioxid und anderen Schadstoffen bei Neuwagen,

um dem globalen Klimawandel entgegenzuwirken und Nachhaltigkeitsziele zu erreichen [1]. Aufgrund dessen stellt die Energieeffizienz eines modernen Fahrzeugs eine Schlüsseleigenschaft im Hinblick auf die E-Mobilität dar.

Metallersatz für die neue Mobilität

Im Projekt von Valeo unter Einbeziehung der Siegfried Hofmann GmbH als Lieferant war es das Ziel, den Herstellprozess eines Gehäuses für einen elektromecha-

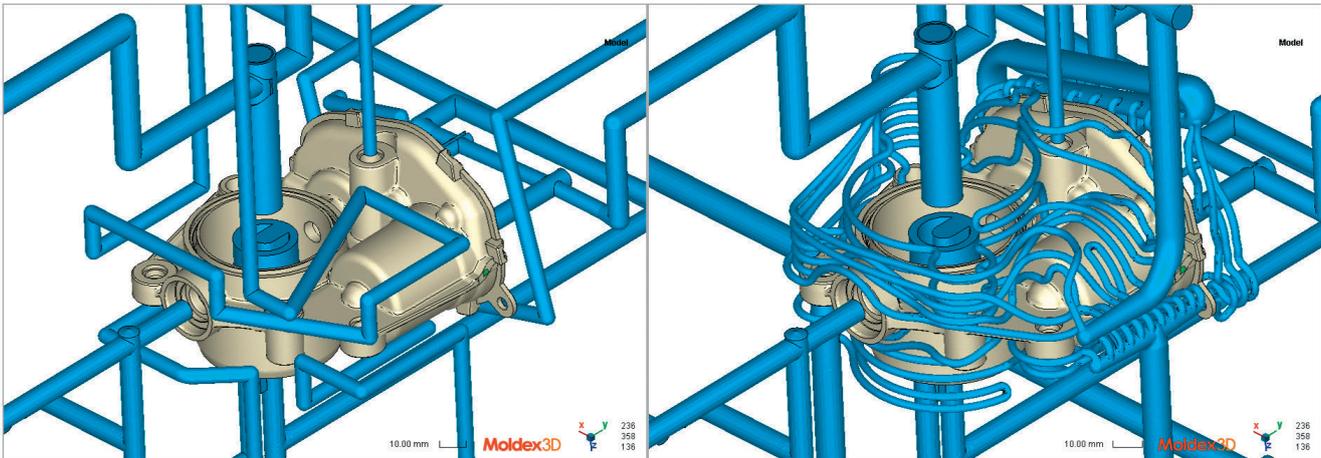


Bild 1. Links: konventionelle Kühlung (blau) und Bauteil (beige). Rechts: konturnaher Kühlung aus additiver Fertigung und Bauteil. © Valeo/Hofmann

nischen Aktuator zu verbessern. Damit einhergehend wurde ein angepasstes Design entwickelt, sodass der bisherige Werkstoff Aluminium durch ein mit 45 % Glasfasern gefülltes PBT ersetzt werden sollte. Allein hierdurch konnte das Gewicht des Gehäuses um ca. 35 % gesenkt werden, was wiederum positiv zur Energieeinsparung des Fahrzeugs beiträgt. Die vorgestellte Untersuchung vergleicht Rheologie-Simulationen untereinander und bezieht diese auf Prototypenteile im Vorfeld der Serienfertigung. Die Funktion des Endprodukts selbst ist die Regulierung von Gasströmen, wie sie in der Turboaufladung von modernen Hybridfahrzeugen oder für Brennstoffzellen eingesetzt werden kann.

Die ausführlichen Simulationen zu Rheologie und Kühlverhalten des Kunststoffes wurden vor und begleitend zur Werkzeugkonstruktion durchgeführt. Hier wurden eine konventionelle und eine konturnaher Werkzeugkühlung miteinander verglichen. Die späteren Abmaße des Werkzeugs inklusive typischer Vorhaltungen wurden berücksichtigt.

Konturnaher Kühlung aus additiver Fertigung als Mittel der Wahl

In der Vergangenheit wurde diese Art Gehäuse durch Aluminium-Druckguss hergestellt, um beispielsweise die Medienresistenz und die erforderliche maßliche Präzision zu erreichen. Letzteres ist hier unter anderem mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ mm auf einem Durchmesser von 48 mm und einer Positionstoleranz von 0,2 mm auf einer Länge von 78 mm verbunden. Für Anwendungen

bei Gaszufuhr, die eine geringere chemische Beständigkeit erfordert, konnte Aluminium nun durch einen Thermoplast ersetzt werden. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Toleranzen und des Ziels, die Wirtschaftlichkeit zu optimieren, wurde ein Großteil der Werkzeugkavität als additiv gefertigter Formeinsatz mit konturnaher Kühlung ausgelegt, um die Kühlleistung zu erhöhen [2]. Durch das gewählte SLM-Verfahren können die Kühlgeometrien wesentlich näher an der Kontur geführt werden als

wurden, sind in **Bild 1** dargestellt. Links ist die konventionelle Kühlung zu sehen, rechts die konturnaher Kühlung. Rechts ist eine klare Verdichtung der Kühlkanäle um das Bauteil herum zu erkennen.

Höchste dimensionale Genauigkeit beim Metallsatz ein Muss

Aus den Simulationsdaten wird die dimensionale Qualität der erstfallenden Bauteile vorhergesagt. Die Positionstoleranz zwischen der Zentrierung eines

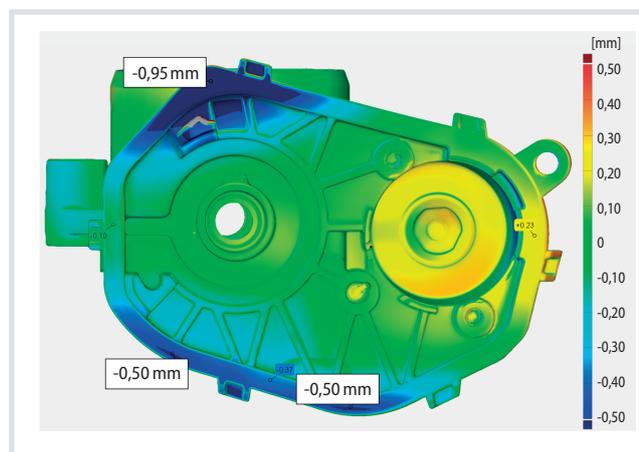


Bild 2. Blick von oben auf das Gehäuse. Der Verzug des Bauteils nach Simulation mit konturnaher Kühlung an der Schnittstelle zum Deckel ist visualisiert.

Quelle: Valeo/Hofmann;

Grafik: @ Hanser

durch die konventionelle Herstellung der Kanäle durch Fräsen oder Tiefbohren. Zudem kann die Dichte der Kühlkanäle nahe der Kontur erhöht und sonst nicht erreichbare Bereiche adressiert werden. Durch die gleichmäßigere Kühlung sollen eine niedrigere Verzugsneigung und eine verkürzte Zykluszeit erzielt werden. Die entsprechenden 3D-Modelle, die in der Simulation verwendet

E-Motors und der Klappenachse sind hier von besonderem Interesse. Diese Achsen definieren die Kinematik des Gesamtbauzeugs; über eine dritte Achse wird das Motordrehmoment auf die Klappe übertragen. Das System sorgt für eine Drehung dieser Klappe um bis zu 90° , sodass es damit den Luftstrom innerhalb von 65 ms minimieren und maximieren kann. Die Toleranzkette der Achsen »

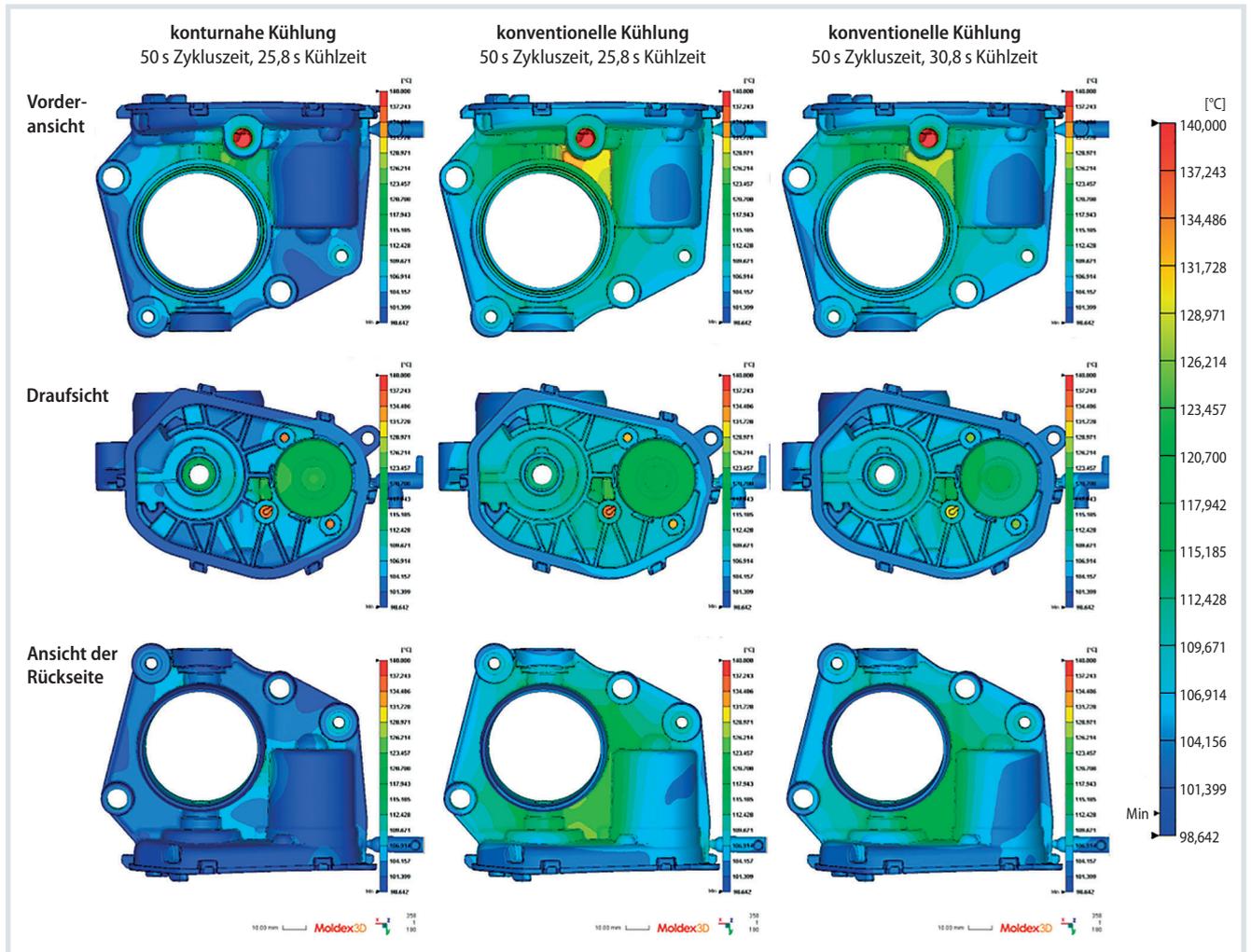


Bild 3. Vergleich der Oberflächentemperaturen zum Zeitpunkt am Ende des Zyklus mit verschiedenen Kühlmethode. Quelle: Valeo/Hofmann; Grafik: © Hanser

zueinander sollte idealerweise nicht mehr als 200 μm betragen. Für die Variante des konturnahen Kühlens wird dieses Ergebnis innerhalb der schnelleren Kühlzeit erzielt.

Im nächsten Schritt wurde die Planarität der Schnittstelle zum anschließenden Bauteildeckel überprüft. Der Deckel enthält eine komplexe umspritzte Leiterbahnstruktur, eine umlaufende Dichtung sowie Gegenstücke zu den bereits aufgeführten Kinematikachsen. Die Planaritätstoleranz beträgt maximal 0,35 mm, mit einer maximalen Toleranz von 0,20 mm zwischen zwei Befestigungspunkten. **Bild 2** stellt den Verzug nach Einsatz der konturnahen Kühlung dar. Der Punkt mit der größten Entfernung zum Anguss zeigt einen Verzug um 0,95 mm. Der konventionelle Kühlansatz zeigt hier mit 1,05 mm einen Verzug, welcher um 100 μm höher liegt. Für die Toleranzen auf der Bildunterseite schneidet die konventionelle Kühlung

30 μm schlechter ab, als die konturnahe Kühlung.

Die Prototypenproduktion mithilfe konturnaher Kühlung bestätigt diese guten Ergebnisse der Planarität der erstfallenden Teile. Zwischen den Befestigungspunkten stellt sich eine Planaritätsabweichung von 0,068 mm ein, auf die Gesamtfläche ergeben sich 0,348 mm.

Steigerung der Kühlleistung für höhere Produktionseffizienz

Im Fokus der Untersuchungen steht die Gegenüberstellung der Methoden hinsichtlich ihrer Kühlleistungen. **Bild 3** veranschaulicht hierzu die Oberflächentemperatur des Teils nach dem Ende der Kühlzeit. Es werden drei Raumansichten des Teils gezeigt. Die linke Spalte der Darstellung gibt die konturnahe Kühlung wieder, die mittlere Spalte die konventionelle Kühlung und rechts ist die konventionelle Kühlung mit einer um

19 % (5 s) verlängerten Kühlzeit zu sehen. Die vermehrt auftretenden blauen Bereiche in der linken Spalte zeigen klar die im Mittel kühlere Oberflächentemperatur des Teils bei der Methode der konturnahen Kühlung.

In der Draufsicht ist eine ca. 10°C höhere Oberflächentemperatur des Bauteils bei der konventionellen Kühlung zu beobachten, welche nicht einmal durch die Verlängerung der Kühlzeit angeglichen werden kann. Die höhere Kühlleistung lässt weniger intrinsische Spannungen im Bauteil und freie Kristallisation entstehen, die in einen gestiegenen Verzug nach Auswerfen des Bauteils resultieren würden.

In der Vorder- und Rückansicht wird eine ungefähr 10°C kühlere Oberflächentemperatur im Bereich des Motorsitzes sichtbar. Nichtsdestoweniger wird ein Wärme-Hotspot im Bereich eines Schraub-Doms in der Vorderansicht identifiziert. Dieser Hotspot

verhindert eine noch stärkere Verkürzung der Kühl- und damit Zykluszeit unter 50 s, weil in dieser Bohrung ansonsten im Zuge des Auswerfens des Bauteils nicht erstarrter Kunststoff an der Kavität haften bleibt und zur Delamination führt.

Der Unterschied in der Kühlleistung beider Technologien wird in **Bild 4** tiefer betrachtet. Der größere Wärmefluss der heißen Schmelze in das konturnah gekühlte Werkzeug wird hier deutlich sichtbar. Der gewählte Messpunkt liegt an der Rückseite des erwähnten Hotspots. Die Kurven sind bis ca. 10 s des Zyklus deckungsgleich überlagert, was im Prozess dem Einspritzen und der Nachdruckphase der Schmelze entspricht. Ab diesem Punkt wird der Unterschied der Kühlleistung signifikant erkennbar im Auseinanderlaufen der Kennlinien pro Kühltechnologie. Den größten Unterschied stellt ein Delta von 7 °C zum Zeitpunkt der angenommenen Werkzeugöffnung bei 40 s in der Simulation dar. Der zu diesem Zeitpunkt gemessene Wärmefluss an diesem Punkt beträgt $1,7 \text{ Js}^{-1}\text{cm}^{-2}$ was einen 14 % höheren Wert der konturnahen Kühlung im Vergleich zur konventionellen Kühlung bedeutet.

Schonende Materialverarbeitung bei schneller Prozessführung

Aufgrund des erhöhten Wärmeflusses konnte eine unterdrückte Kristallisation und eine damit verbundene mögliche Nachkristallisation bei Wiedererwärmen des Bauteils nicht ausgeschlossen werden. Mithilfe einer DSC-Analyse von

verschiedenen Stellen am Bauteil mit Proben aus der Methode der konturnahen Kühlung wurde dieser mögliche Effekt überprüft. Es konnten während des gesamten Aufheizvorgangs bis 240 °C keine Restrukturierungsereignisse nachgewiesen werden. Gerade im Bereich bis 140 °C, was der maximalen Verwendungstemperatur des Bauteils entspricht, wurden hier sämtliche mögliche Auffälligkeiten ausgeschlossen.

Im Weiteren wurde eine Viskositätszahlmessung am Bauteil durchgeführt. Der Abbau des Polymers am Fließwegende konnte, durch eine schonende Verarbeitung und ausreichende Trocknung des Materials, mit 4% Veränderung der Viskositätszahl auf einem niedrigen und völlig akzeptablen Level gehalten werden.

Die Fähigkeit der Vorserienteile wurde zusätzlich ermittelt, um die Robustheit des Prozesses nachzuweisen. Es wurde unter anderem der Hauptdurchmesser ausgewertet. Bei einem nominalen Wert von 48 mm und einem Toleranzband von $\pm 0,1 \text{ mm}$ konnte hier ein Cmk-Wert $> 2,00$ bestätigt werden.

Erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens

Die konturnahen Kühlung aus additiver Fertigung präsentiert sich für das gezeigte Projekt als bevorzugte Technologie. Bei entsprechender Auslastung des Werkzeugs werden die erhöhten Werk-



Bild 5. Bild vom fertigen Bauteil: Das Gehäuse eines elektromechanischen Aktuators aus PBT. In dieser Ausführung ist es 35 % leichter als das Original aus Aluminium. © Valeo

zeugkosten durch die gesteigerte Produktionseffizienz des Prozesses amortisiert. Gleichzeitig wird die nötige Produktqualität beim Metallerzatz erhalten und ein stabiler Prozess erreicht. ■

Info

Text

Dr. Sebastian S. Neubauer, Bereichsleiter Technologie, **Dominik Lawatsch, M.Sc.**, Prozessingenieur, **Nicolas Buettner**, Techniker für Industrialisierung, **und Pawel Uchyla, M.Eng.**, Bauteilverantwortung Konstruktion, sind alle für Valeo Powertrain Systems Driveline tätig. **Michael Voßwinkel, B.Eng.**, Simulationsingenieur, arbeitet ebenso wie **Christian Hellmuth**, Projektleiter, für die Siegfried Hofmann GmbH.

Service

Infos unter www.valeo.com
www.hofmann-impulsgeber.de

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

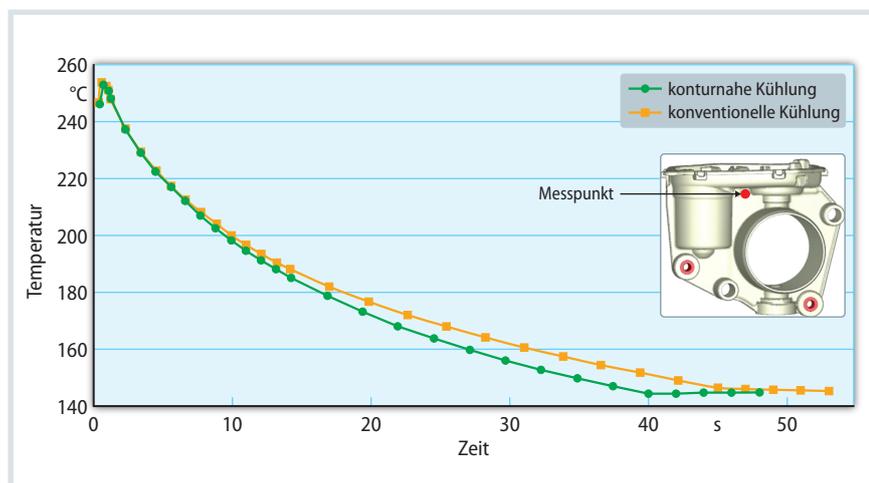


Bild 4. Vergleich der Oberflächentemperatur an der Rückseite des Hotspots bei konturnaher und konventioneller Kühlung. Quelle: Valeo/Hofmann; Grafik: © Hanser