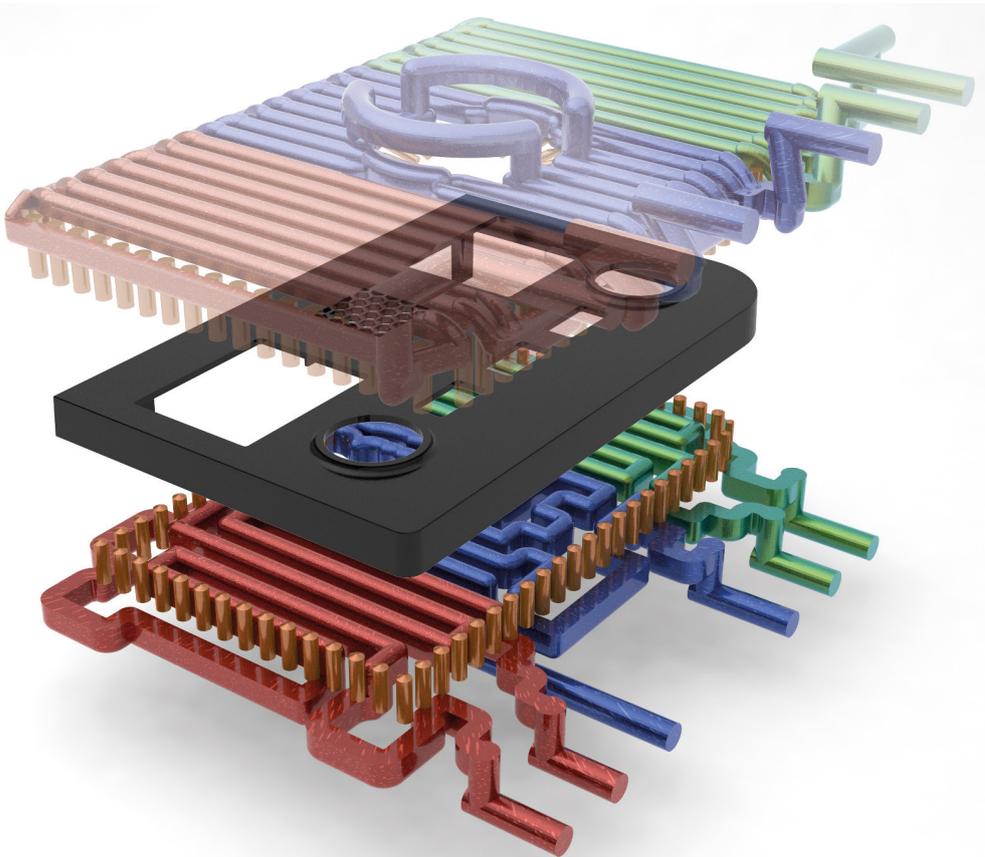


Vorhersage der Oberflächenqualität von Kunststoffbauteilen mit Hochglanzoberflächen

Der Lack ist ab

Das gekonnte Zusammenspiel von Bewertungs- und Analysemöglichkeiten bei der Prozesssimulation, die eine Auslegung des optimalen Temperiersystems und einen Vergleich alternativer Herstellungsverfahren einschließt, ebnet den Weg hin zu einem effizienten Produktentwicklungs- und Produktionsprozess. Bereits zu Projektbeginn können so Investitionen abgewogen und qualifiziert sowie technische, ökonomische oder ökologische Anforderungen berücksichtigt werden, wie das Beispiel eines Bauteils mit Hochglanzoberfläche zeigt.



3D-CAD-Ansicht des konturnahen Temperiersystems für die Spritzgießfertigung einer Blende mit Hochglanzoberfläche. © SimpaTec

O b im Automobilbau, der Möbelindustrie oder der Unterhaltungselektronik – Produkte in Hochglanzoptik sind gefragt, garantieren Aufmerksamkeit, Kundenakzeptanz und sichern somit Marktanteile. Kunststoff, oft als Billigwerkstoff abqualifiziert, hat sich mittlerweile zu einem Lifestyle-Werkstoff gewandelt, begleitet von höchsten Ansprüchen an

die Oberflächenqualität, die stetig neuen Anforderungen unterliegen. Zusätzlich beeinflussen diesen Wandlungsprozess weitere Aspekte, die es ebenso zu berücksichtigen gilt, wie beispielsweise ökonomische Faktoren oder notwendige Maßnahmen zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks. Eine Schlüsselrolle bei der Gewährleistung einer gewünschten

Produktqualität spielt ein abgestimmtes Zusammenwirken zwischen Analyse- und Bewertungsmöglichkeiten, die sich aus der Prozesssimulation ergeben, sowie die Beachtung und Umsetzung der daraus gewonnenen Erkenntnisse mit dem Ziel, die Verfahrenstechnik zu verbessern. So lassen sich im Vorhinein Herstellungsverfahren zielführend bewerten und das geeignete Anwendungsspektrum definieren.

Unbestritten birgt das Spritzgießen von Kunststoffbauteilen mit Hochglanzoberflächen zahlreiche Herausforderungen. So können unter anderem eine unzureichende Oberflächenqualität des Werkzeugeinsatzes, ungeeignetes Material oder falsche Prozessparameter zu einer minderwertigen Oberflächenqualität führen [1, 2]. Um dennoch den gewünschten Hochglanz zu erzielen, können Oberflächen unter bestimmten Voraussetzungen mit einem nachfolgenden Lackierprozess veredelt werden [3]. Allerdings verursachen dann die Energiekosten für den Lackierprozess mit 5 bis 15% einen maßgeblichen Anteil an den gesamten Herstellkosten des Bauteils [4]. Angesichts des steigenden Bedarfs nach effizienteren Produktionsmethoden sowie der Anforderung, möglichst niedrige Herstellkosten mit einer hohen Produktqualität zu verbinden, sind alternative Prozesse gefragt [3].

Kosten und Nutzen der variothermen Temperierung abwägen

Die drei Faktoren, die die Qualität von Hochglanzoberflächen während des Spritzgießprozesses wesentlich beeinflussen, sind die Einspritzgeschwindigkeit

keit, der Nachdruck sowie die Werkzeugtemperatur, wobei letztere die größten Auswirkungen hat [5]. Bei hoher Werkzeugtemperatur lassen sich nahezu ideale Hochglanzoberflächen herstellen. Um dabei überhöhten Zykluszeiten durch lange Kühlzeiten vorzubeugen, bieten variotherme Temperierverfahren eine praktikable Alternative zur Herstellung von Bauteilen mit Hochglanzoberflächen [5]. In diesem Zusammenhang empfiehlt sich die frühzeitige Vorhersage der Bauteilqualität durch Simulation, idealerweise bereits in der Phase des Produktdesigns, um ungeplante Kosten oder Bauteildefekte zu vermeiden [6].

In enger Zusammenarbeit haben die Contura MTC GmbH und die SimpaTec GmbH bei der Auslegung eines Herstellungsprozesses für ein Bauteil mit Hochglanzoberfläche den Einsatz einer konventionellen und einer variothermen Temperierung miteinander verglichen. In beiden Prozessen kam dasselbe Spritzgießwerkzeug mit konturnaher Kühlung zum Einsatz (**Titelbild**). Bei der Entwicklung und Herstellung des Werkzeugs waren die Premec S.p.A., Toolax sowie Contura MTC maßgeblich beteiligt. Durch das maßgeschneiderte Temperiersystem wird ein starker Einfluss auf die Werkzeugwandtemperatur ermöglicht (**Bild 1**).

Hochglanzoberfläche – mit Einschränkung

Im Rahmen des Vergleichs wurde sowohl die jeweilige Oberflächenqualität des Bauteils bewertet als auch eine Kosten- und Energieabschätzung beider Herstellungs-

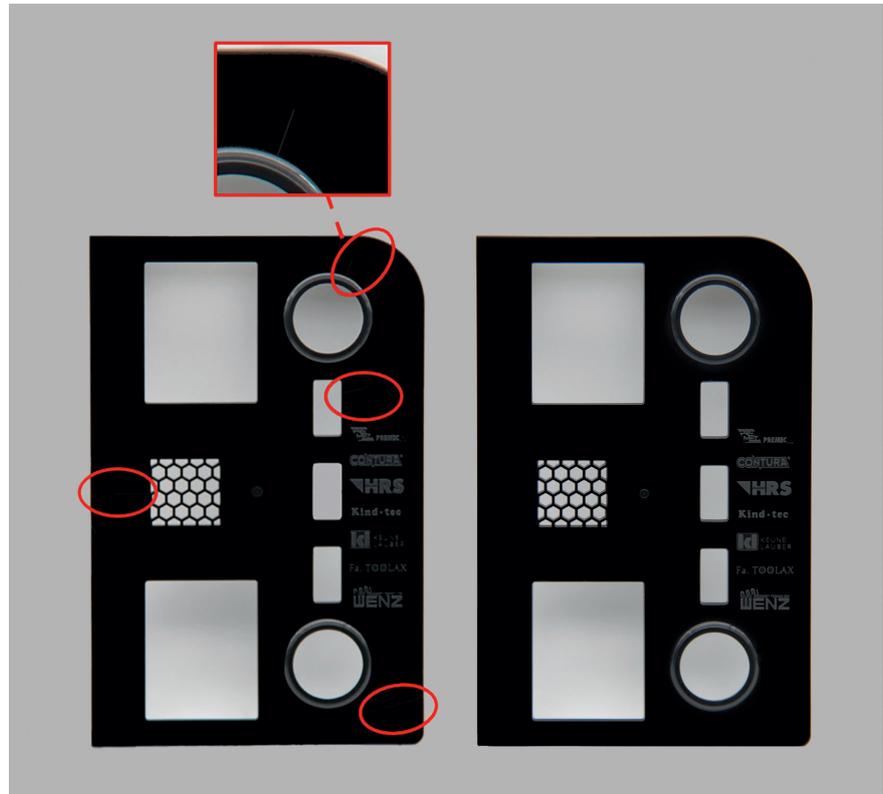


Bild 2. Das Referenzbauteil aus PC+ABS erreichte in beiden Verfahrensvarianten eine Hochglanzoberfläche, ohne Bindenähte allerdings nur mit der variothermen Temperierung (rechts). © SimpaTec

ungsverfahren unter Berücksichtigung eines eventuell zusätzlich notwendigen Lackierprozesses durchgeführt. Mithilfe der Prozesssimulation wurde geprüft, ob sich die Oberflächenqualität des Spritzgussteils bereits in einer frühen Phase der Bauteilauslegung vorhersagen lässt, um eventuell anfallende Kosten eines Lackierprozesses berücksichtigen zu können. Zusätzlich wurde der Einsatz unterschiedlicher Materialien analysiert; so wurde das Referenzbauteil zum einen

aus einem PC+ABS und zum anderen aus einem Polyamid 6 mit 30 %-igem Glasfaseranteil (PA6-GF30) hergestellt.

Das Referenzbauteil aus PC+ABS erreichte in beiden Verfahrensvarianten eine Hochglanzoberfläche. Mit der dynamischen Wechseltemperierung entstand eine ideale, sogenannte Piano-black-Oberfläche (**Bild 2 rechts**). Diese ist frei von Schlieren, Bindenähten und ähnlichen Mängeln, auf einen nachfolgenden Lackierprozess kann verzichtet werden. Beim Spritzgießen mit konventioneller Temperierung ist auf den ersten Blick ebenfalls eine schlierenfreie Oberfläche erkennbar. Bei näherer Betrachtung fallen allerdings deutlich erkennbare Bindenähte ins Auge (**Bild 2 links**). Ein nachfolgender Lackierprozess wird nötig, um die gewünschte Oberfläche in Klavierlackqualität zu erzielen.

Energieaufwand im Vergleich: Variothermie vs. Lackieren

Die Integration eines nachfolgenden Prozessschritts, wie der des Lackierens, bewirkt nicht nur einen erhöhten Ressourceneinsatz für Organisation, Transport, Verpackung und Handling des »

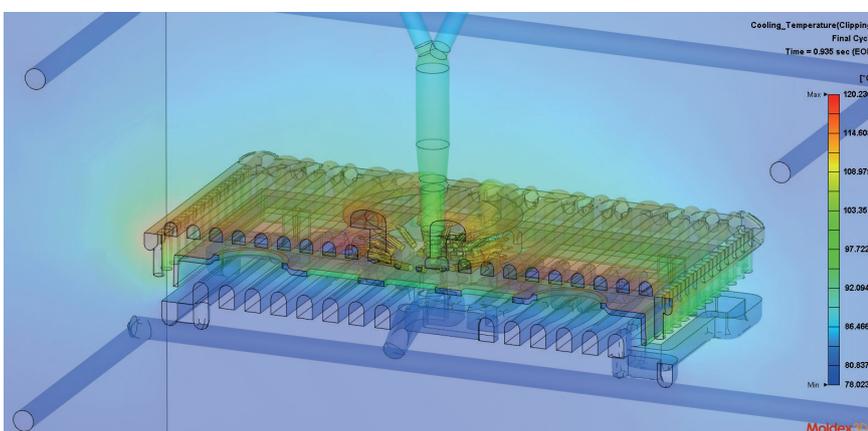


Bild 1. Der Schnitt ins Werkzeuginnere im Simulationsmodell zeigt den Temperaturunterschied am Ende der Füllphase: Auf der Oberseite wird variotherm temperiert, was zu höheren Werkzeugtemperaturen als auf der konventionell temperierten Seite (unten) führt. © SimpaTec

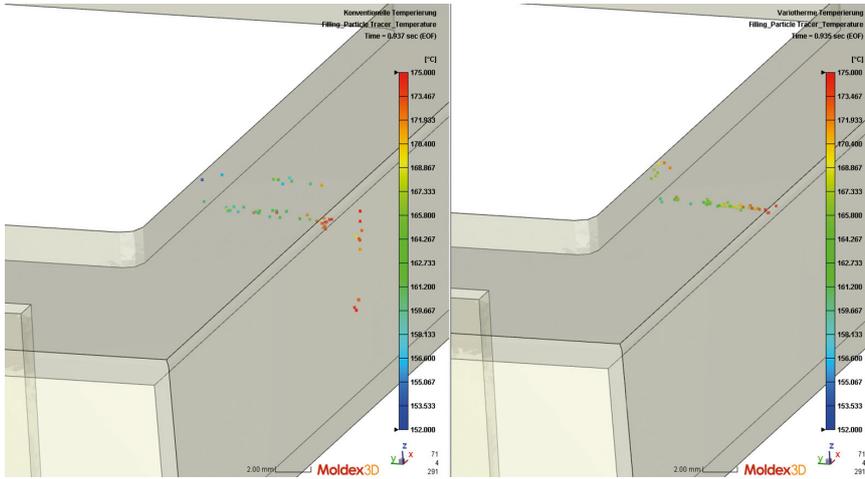


Bild 3. Die Partikelverfolgung zeigt die Temperatur der Bindenähte bei deren Entstehung. Bei variothermer Temperierung (rechts) ist die Temperatur der Schmelzfronten an der Sichtfläche (Oberseite) noch so hoch, dass sie nicht als Bindenähte angezeigt werden. © SimpaTec

Bauteils bei der Nachbehandlung. Zusätzlich muss der steigende Energie- und damit Kostenaufwand berücksichtigt werden. Demgegenüber steht ein ebenfalls erhöhter Energiebedarf bei der Spritzgießfertigung mit variothermer Temperierung. Wie gestaltet sich der erhöhte Aufwand tatsächlich? Das gilt es zu vergleichen.

Dafür wird der Energiebedarf einer Spritzgießmaschine (Typ: Si-180-6s; Hersteller: Toyo Machinery & Metal Co.) inklusive aller zusätzlichen Temperiereinheiten für die Herstellung von jeweils 40 Referenzbauteilen gemessen. Mit der konventionellen Temperierung wurde für 40 Zyklen ein Energiebedarf von

2,882 kWh erfasst; nach Zuschalten der dynamischen Temperierung waren es 7,868 kWh. Dies bedeutet einen Anstieg des Energieverbrauchs um einen Faktor 2,7. Bei einem Strompreis von 20 ct pro kWh (Basis: 2020) ergibt sich daraus eine Preiserhöhung von knapp 2,5 ct pro Bauteil [7].

Verglichen mit dem Aufwand für einen nachgestellten Lackierprozess, der im Falle einer Spritzgießfertigung mit konventioneller Temperierung anfällt, ist dies trotz allem eine relativ geringe Preiserhöhung: Bei einer Losgröße von 25 000 Stück und einer Einschichtlackierung fallen mehr als 45 ct pro Bauteil zusätzlich an. Bei dieser Preisabschätzung sind das Handling, eventuelle Einmalkosten sowie ein Lackierausschuss von ca. 2% noch nicht inbegriffen.

Resultierend ergibt sich daraus ein Faktor von mindestens 18, um den die Herstellungsvariante mit variothermer Temperierung kostengünstiger ist im Vergleich zur Variante mit konventioneller Temperierung (inklusive des erforderlichen Aufwands für den Lackierprozess).

Spritzgießsimulation zur Kostenabschätzung

Eine Piano-black-Oberfläche kann also beides sein: eine günstige oder eine teure Lifestyle-Optik, je nach Herstellungsprozess. Gewinnbringend und nützlich ist diese Information jedoch nur, wenn sich im Vorhinein abschätzen lässt, ob eine variotherme Temperierung für

das zu fertigende Produkt einen Mehrwert bringen kann, oder nicht.

Mithilfe der Spritzgießsimulation lassen sich nicht nur Trends aufzeigen, die auf die spätere Oberflächenqualität des Bauteils schließen lassen. Mit Moldex3D wurde dafür der Spritzgießprozess zum einen mit konventioneller und zum anderen mit dynamischer Temperierung berechnet. Neben den bewährten herkömmlichen Ergebnissen, wie beispielsweise Fließeigenschaften, Temperaturen, Druck und Deformation, sind für die Tendenz der Oberflächenqualität unter anderem die Eigenschaften der Bindenähte sowie die Scherbelastungen von Interesse.

Viskosität beeinflusst Durchmischung beeinflusst Bindenähte

Anhand der Temperatur der Bindenähte zum Zeitpunkt der Entstehung lassen sich Rückschlüsse auf deren Ausprägung ziehen. Bei höheren Temperaturen der aufeinandertreffenden Schmelzfronten bedingt die niedrigere Viskosität der Schmelze eine stärkere Durchmischung, was zu weniger ausgeprägten Bindenähten führt. Dieses Phänomen zeigt sich im Prozess mit variothermer Temperierung auf der variotherm temperierten Bauteilseite, hier also auf der Sichtfläche an der Oberseite. Auf dieser Seite ist die Temperatur noch so hoch, dass das reale Bauteil an dieser Stelle keinerlei Anzeichen von Bindenähten zeigt (**Bild 2 rechts**).

Das Ergebnis der Berechnung verdeutlicht die Temperaturunterschiede der Bindenähte: Auf der variotherm temperierten Sichtfläche (Oberseite) des Bauteils ist die Temperatur der potenziellen Bindenaht so hoch, dass hier die Datenpunkte mit noch höheren Temperaturen als Bindenähte vernachlässigt werden können (**Bild 3 rechts**). Ohne variotherme Temperierung entstehen Bindenähte mit geringeren Temperaturen, die mithilfe der Datenpunkte detektiert werden können (**Bild 3 links**). Neben der Betrachtung der Bindenähte ist auch ein Vergleich der Scherspannungen an der Bauteiloberfläche, die bei den verschiedenen Temperiersystemen auftreten, von Bedeutung. Dieser Fokus wird im weiteren Verlauf dieses Artikels bei dem glasfaserverstärkten Material gesetzt.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse beider Temperierarten zeigt

Info

Text

Cristoph Hinse ist Geschäftsführer der SimpaTec Simulation & Technology Consulting GmbH, Aachen.

Paula Hohoff ist Ingenieurin bei SimpaTec; sales@simpatec.com

Dank

Die Autoren danken Contura MTC für die ausgezeichnete Zusammenarbeit.

Digitalversion

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

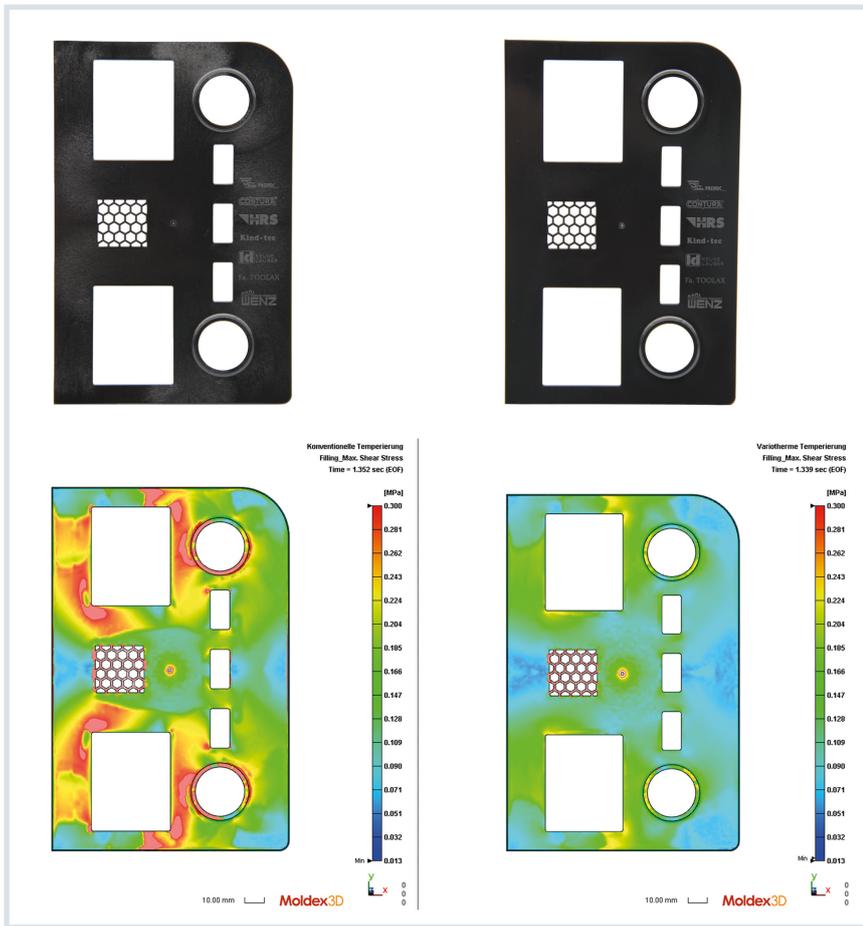


Bild 4. Das Berechnungsergebnis für die Scherspannungen (unten) liefert tendenziell Hinweise auf die spätere Oberflächenqualität des Realbauteils aus PA6-GF30 – hier die höherwertige Oberfläche mit variothermer Temperierung (rechts). © SimpaTec

deutliche Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der Bauteile. Dies kann jedoch im Falle eines variothermen Spritzgießprozesses noch keine endgültige Garantie für eine einwandfreie Oberfläche respektive für die Einsparung eines ganzen Lackierschritts sein. Hierfür sind weiterführende Versuche notwendig, die Erkenntnisse zu ergänzen den relevanten Einflussgrößen, wie etwa der Oberflächenqualität des Werkzeugs, liefern. Nichtsdestotrotz verdeutlichen die Ergebnisse bereits eine sichtbare Steigerung der Oberflächenqualität für das Bauteil aus variothermer Temperierung, was bei der Entscheidungsfindung für einen geeigneten Herstellungsprozess eine wesentliche Rolle spielen sollte.

Dass es ganz ohne Lack schwierig wird, verdeutlichen die Bauteile aus Polyamid 6 mit 30% Glasfaseranteil. Beim Spritzgießen mit konventioneller Temperierung wurden so kritische Oberflächenqualitäten erreicht, dass selbst eine

Lackierung auf Hochglanz aufgrund mangelnder Machbarkeit teilweise nicht mal mehr angeboten wurde (**Bild 4 oben links**). Eine solche Situation ist für einen realen Produktentwicklungsprozess untragbar.

Alles oder nichts: Hochglanz mit Glasfaser

Die Wahl eines Spritzgießprozesses mit dynamischer Wechseltemperierung konnte noch retten, was zu retten ist: Es wurde eine akzeptable Oberflächenqualität erzielt (**Bild 4 oben rechts**), sodass ein nachfolgender Lackierprozess noch möglich wäre, um die gewünschten Hochglanzflächen zu erreichen. Der Notwendigkeit eines nachfolgenden Lackierprozesses zum Trotz: In diesem Fall hat die variotherme Temperierung die Herstellung einer Hochglanzoberfläche überhaupt erst möglich gemacht.

Beim Vergleich der realen Bauteiloberflächen mit den hier dargestellten

Ergebnissen der Simulation mit Moldex3D werden Parallelen erkennbar, die auf die Möglichkeit einer Vorhersage des zuvor beschriebenen Debakels schließen lassen können (**Bild 4**). Die Berechnungsergebnisse zeigen die maximalen Scherspannungen am Ende der Füllphase beider Temperierarten (**Bild 4 unten**). Die Gradienten der Scherspannungen sind Indikatoren für eine ungleichmäßige Bauteiloberfläche, was sich im Falle der konventionellen Temperierung auf drastische Weise bestätigt (**Bild 4 links**).

Die geringer ausgeprägten Scherspannungsgradienten beim Berechnungsergebnis für die variotherme Temperierung decken sich mit der hochwertigeren realen Bauteiloberfläche (**Bild 4 rechts**). Wie zuvor bei den Bindenähten kann also auch das Berechnungsergebnis der Scherspannungen Tendenzen für die spätere Oberflächenqualität des Realbauteils aufzeigen. Dieser Versuch mit PA6-GF30 unterstreicht zudem den wichtigen Beitrag, den die Spritzgießsimulation zur Abschätzung der Machbarkeit der Bauteilproduktion leisten kann.

Lack nötig oder überhaupt möglich? Erfahrungswerte nutzen

Um die absoluten Werte der Scherspannungen und der Temperaturen der Bindenähte noch besser deuten zu können, kann die Plattform Moldex3D iSLM genutzt werden. In dieser interaktiven Plattform zum Datenmanagement für Unternehmen in der Kunststoffbranche können unter anderem bereits gewonnene Erkenntnisse, wie etwa die Größe von Modellmerkmalen, Anschnittgrößen, Anschnitttypen, Kühlsystemen, Abmusterungsparameter und CAE-Simulationsergebnisse, gespeichert und bei nachfolgenden Projekten als Vergleich herangezogen werden.

Die beschriebene Vorgehensweise lässt sich auch auf andere Produktentwicklungsprozesse übertragen, beispielsweise auf die Herstellung geschäumter Bauteile. Zwar stellt die optimale Temperierung zur Erreichung einer hochwertigen Bauteiloberfläche in diesem Fall eine besondere Herausforderung dar, doch bietet sie zugleich ein großes Potenzial für Prozessoptimierungen. ■