

Der Dreh in der Produktentwicklung

Traditionelle Ansätze treffen auf mikromechanische Herangehensweisen

Im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung ist der Kreislaufgedanke seit vielen Jahren etabliert. Doch an welcher Stelle beginnt der Kreislauf? Hinterfragen wir diesen Ansatz, ergeben sich folgerichtig neue Aspekte. Beispielsweise, ob existierende, bisher bewährte Mechanismen ergänzt bzw. erweitert werden können oder müssen, um gesteckte Ziele zu erreichen, sie vielleicht sogar zu übertreffen – und wenn ja, wie.

Treibende Kräfte und Weiterentwicklungspotenzial zeigen sich in den letzten Jahren verstärkt im Leichtbau. Dies nicht zuletzt deshalb, weil sich auch die Automobilindustrie hinsichtlich einer Reduktion der CO₂-Emissionen zum Handeln gezwungen sieht. Dabei geraten zunehmend auch Prozesse und Verfahren der Spritzgießverarbeitung in den Fokus einer notwendigen Veränderung. Einerseits steigt die Komplexität der Produkte, andererseits stehen als Schwerpunkte des Herstellungsprozesses Faktoren wie die Reduktion der Produktionsschritte, anspruchsvolle Designanforderungen sowie hohe Erwartungen an die mechanischen Eigenschaften des Produkts im Raum. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch das (chemische ebenso wie das physikalische) Schäumen von Kunststoffen. Notwendigerweise stehen bei Einführung dieser Technologie Investitionen an, nicht nur in die Technik, sondern auch in die Infrastruktur, die Ausbildung des Personals und die Anpassung der Arbeitsabläufe. Die Umstellung auf dieses Verfahren kann man also zwiespältig sehen, zumal Bauteilanpassungen an bestehende, für das Kompaktspritzgießen ausgelegte Werkzeuge in der Vergangenheit mit sehr unterschiedlichem Erfolg gelangen.

Separate Entwicklungsschritte

Doch wie sieht es nun tatsächlich auf der Seite der Entwicklung geschäumter Bauteile aus? Bis heute werden Aufgaben und Schritte meist getrennt voneinander betrachtet. So führt ein Entwicklungsschritt direkt vom Designer zum Werkzeugkonstrukteur, ein anderer zu einer Abteilung, die unabhängig von der Analyse des Prozesses Berechnungen im

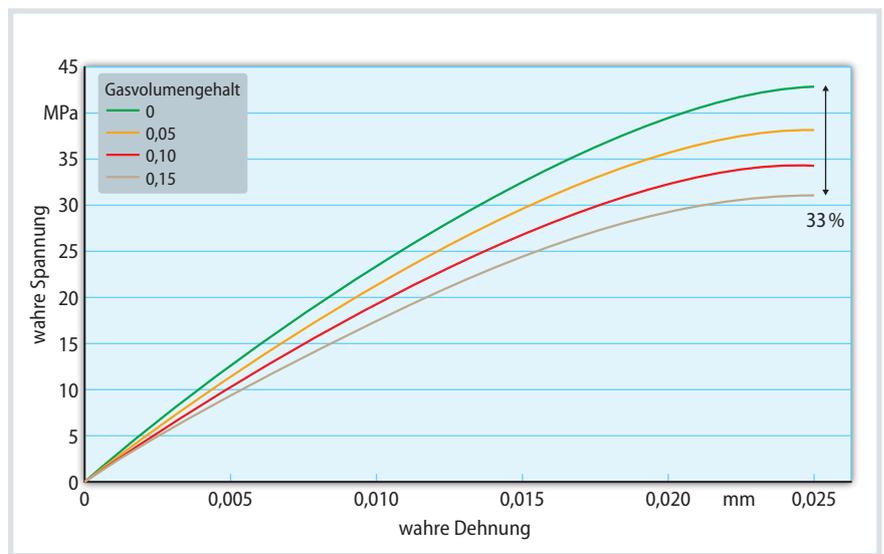


Bild 1. Spannungs-Dehnungsdiagramm in Abhängigkeit von der Mikrostruktur. Dargestellt sind drei Porositäten (5 bis 15%) im Verhältnis zum kompakten Material. Quelle: SimpaTec; Grafik: © Hanser

Rahmen der mechanischen Simulation durchführt. So erfolgt die Simulation des Herstellungsprozesses in der Regel im Produktdesign und/oder in der Werkzeugkonstruktion. Dort gilt es, die produktionsrelevanten Herausforderungen zu meistern. Im Rahmen des Produktdesigns müssen beispielsweise Wanddickenverhältnisse von Grundkörpern und Rippen überdacht werden. Auch in der Werkzeugkonstruktion werden Anpassungen notwendig, z. B. hinsichtlich der Position der Anbindungen.

Interessant für die Produktentwicklung ist aber auch, wie sich geschäumte Produkte unter mechanischer Last verhalten und wie deren Auslegung erfolgt. Traditionell werden diese Ansätze bisher in separaten Abteilungen realisiert, eine Folge des unterschiedlichen Fokus des jeweiligen Aufgabenfelds. Die „üblichen“ unabhängigen Produktentwicklungs-

schritte finden sich auch bei Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen wieder. Doch wird damit das Potenzial der Technologie effizient genutzt? Oder ist ein Umdenken erforderlich? Und falls ja, welche technischen und vor allem welche zeitlichen und finanziellen Auswirkungen haben diese Anpassungen?

Zur Beantwortung dieser Fragen gilt es zunächst, den aktuellen Status zu bilanzieren. So stellt man fest, dass die zu einer Verbesserung notwendigen Werkzeuge häufig bereits existieren. Es stellt sich auch nicht die Frage, wie mit diesen Werkzeugen umzugehen ist. Sondern vielmehr die, wie gewonnene Resultate bewertet, eingesetzt und wie bzw. an wen sie kommuniziert werden.

Ein elementarer Aspekt liegt in der üblichen Herangehensweise bei der mechanischen Auslegung von Produkten. Denn diese Betrachtungsmethode folgt



Bild 2. Blende eines Haushaltsgeräts als Beispiel für eine erfolgreiche virtuelle Produktentwicklung © SimpaTec

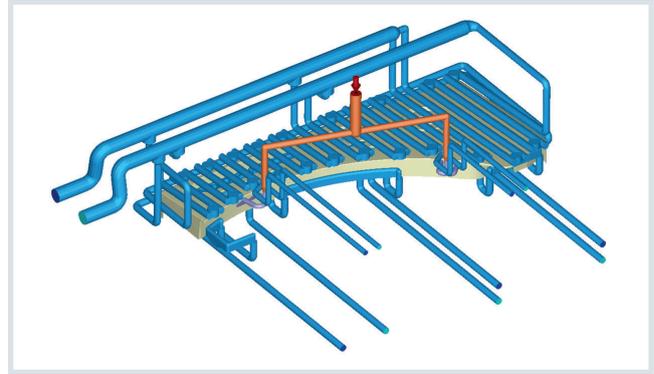


Bild 3. Ergebnis der Prozesssimulation für das Temperiersystem der Blende © SimpaTec

meist der Annahme gleicher mechanischen Eigenschaften für das gesamte Bauteil. Doch genau hier liegt der Knackpunkt, denn durch die dargestellte Vorgehensweise werden die Möglichkeiten dieser Technologien deutlich reduziert.

Mechanische Eigenschaften als Knackpunkt

Welches Potenzial liegt in der Verknüpfung dieser Arbeitsschritte verborgen? In der Vereinigung zweier bisher unabhängiger Komponenten, der Betrachtung des Prozesses und der Analyse der mechanischen Eigenschaften, in einem Kreislauf, um die Substanz der virtuellen Produktentwicklung maßgeblich zu verbessern? So trivial es heute auch klingen mag, eine gute Basis aller Schritte liegt in der Durchgängigkeit der Konstruktionsdaten. Der Einsatz verschiedener CAD-Programme ist bis heute eine Quelle möglicher Herausforderungen. So sind die Details jedes CAD-Kernels (nicht CAD-Programms) nicht einheitlich und es kann durch Datenimport und -export zu unerwünschten Überlappungen von Flächen

oder anderen Fehlern kommen. Da für Produktdesign und Werkzeugkonstruktion oft zweierlei CAD-Programme eingesetzt werden, tritt dieses Phänomen häufig auf. Zur notwendigen Nacharbeit bzw. Aufbereitung der Daten für die Simulation stehen darauf spezialisierte Softwaretools zur Verfügung.

Die Prozesssimulation liefert die Basis für die Bewältigung etwaiger Herausforderungen des Schäumprozesses, des Produktdesigns, der Werkzeugkonstruktion und/oder des Werkstoffs. Berechnet, analysiert und optimiert wird der gesamte Prozess von der Füllung über die Abkühlung bis hin zur Simulation der Deformation. Zu den geläufigen Simulationsergebnissen des Schäumens zählen vor allem zwei, die einen teils erheblichen Einfluss auf die weiteren Entwicklungsschritte haben: die Verteilung der Zellgrößen und die Zelldichte.

Diese beiden Resultate erlauben nicht nur einen Rückschluss bezüglich „kosmetischer“ Fragestellungen. Vielmehr spiegeln sie, wie stark die lokale Randschicht ausgeprägt, ob mit mehr oder weniger Schlieren auf der Oberfläche zu

rechnen und wie hoch die zu erwartende Deformation des Bauteils ist. Weiterhin klären sie verfahrensrelevante Fragestellungen, ob möglicherweise der Einsatz einer variothermen Temperierung empfehlenswert ist.

Prozesssimulation und Strukturmechanik koppeln

Der entscheidende Aspekt für die erfolgreiche Kopplung zweier bisher unabhängiger Komponenten – Prozesssimulation und Strukturmechanik – in einem Produktentwicklungskreislauf liegt nun im folgenden Schritt. Lange Zeit wurden, wie bereits dargelegt, diese beiden Methoden zur Herstellung sicherheitsrelevanter Produkte außen vor gelassen, da eine durchgängige Prozess- wie auch mechanische Simulation nicht möglich sein sollte. Doch bei Berücksichtigung einiger Aspekte gelingt genau das. Die Beschreibung der entstandenen Zellen kann über Porositätsergebnisse von Moldex3D, ein für die Prozesssimulation eingesetztes Simulationsprogramm, an das Softwaretool Digimat zur Materialmodellierung übergeben werden. Die daraus resultierenden lokal unterschiedlichen Materialkennwerte werden an die strukturmechanische Simulation weitergegeben, ein Schritt von erheblicher Relevanz (**Bild 1**).

Auf diesem Weg wird sichergestellt, dass die lokal unterschiedlichen Zustände des Materials berücksichtigt und somit die mechanischen Eigenschaften im Bauteil gezielt korrigiert werden können. Die anschließende Überprüfung der geometrischen Anpassungen erfolgt erneut mittels Prozesssimulation. Optimierte Prozesssimulationsergebnisse werden wiederholt zum Export in die Mechanik vorberei- ➤

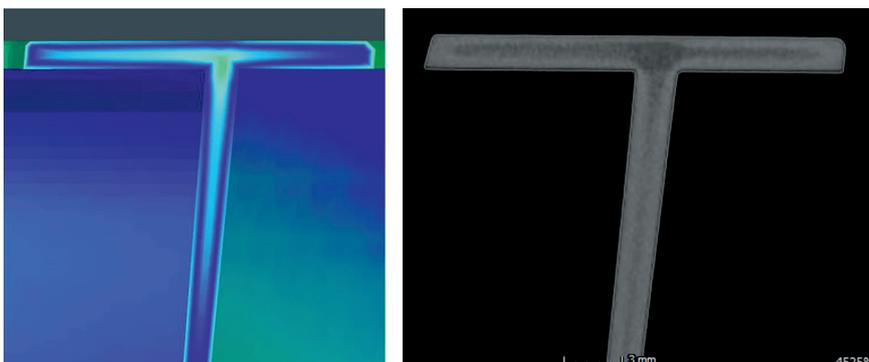


Bild 4. Simulierte Zellstruktur (links) und CT-Aufnahme (rechts) einer Rippe: Ersichtlich ist eine hohe Übereinstimmung © SimpaTec

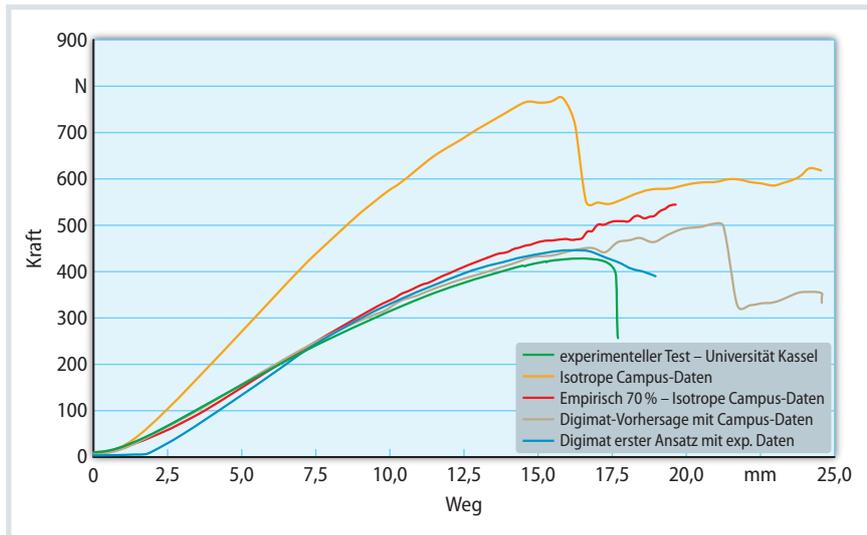


Bild 5. Mit den in Digimat erzeugten Materialkarten wurde innerhalb der FEA ein Drei-Punkt-Biegeversuch berechnet, der parallel mit dem realen Bauteil durchgeführt wurde. Quelle: SimpaTec; Grafik: © Hanser

tet, der Kreislauf schließt sich. Dieser Vorgang kann manuell durchgeführt werden. Allerdings bietet sich hier auch die Möglichkeit, den Ablauf weitgehend zu automatisieren. Ein Vorteil der Optimierung liegt darin, dass neben dem klassischen DoE-Ansatz auch geometrische Anpassungen ermöglicht werden, bis hin zur automatischen Topologieoptimierung.

Letztendlich stellt sich eine Frage: Wie sehr lohnt sich dieser Aufwand? Anhand

eines konkreten Bauteils, einer Blende (**Bild 2**), sollen die Vorteile näher erläutert werden. Im Rahmen der Prozesssimulation wurde neben dem Bauteil zusätzlich das gesamte Temperier- und Verteilersystem berechnet und analysiert (**Bild 3**).

Beim Vergleich der simulierten Zellstruktur mit einer CT-Aufnahme zeigt sich eine starke Übereinstimmung zwischen den berechneten Werten und der Realität (**Bild 4**). Die relevanten Resultate der Porosität aus dem Schäumprozess wurden anschließend an Digimat übertragen. Mit den dort erzeugten Materialkarten wurde innerhalb der FEA ein Drei-Punkt-Biegeversuch berechnet. Parallel dazu wurde dieser Versuch mit dem realen Bauteil durchgeführt.

In dem resultierenden Kraft/Weg-Diagramm ist deutlich zu erkennen, wie sehr die isotropen Ansätze von der realen

Messung (hier in grün) abweichen (**Bild 5**). Dies gilt mitunter nicht nur für den quantitativen Verlauf, sondern vor allem auch für den qualitativen Aspekt des Versagens. In diesem Diagramm sind ferner die ersten Resultate (in blau) der durchgängigen Berechnung dargestellt, die sehr gut mit der Realität übereinstimmen.

Zusätzlich wurden mit der Blende Optimierungsläufe durchgeführt. Der Vergleich begann mit einer Gegenüberstellung des Kompaktspritzgießens mit dem Schaumspritzgießen. Damit konnte das Bauteilgewicht bereits um 10,1 % reduziert werden. In einem weiteren Schritt wurde das Produktdesign mechanisch optimiert. So wurde die Rippenstruktur auf der Unterseite der Blende an die geforderten Randbedingungen angepasst. Das Bauteilgewicht verringerte sich nochmals um 5 %. Zudem wurde die Optimierung des Fertigungsprozesses in den Produktentwicklungsprozess eingebunden. Dank der ganzheitlichen Betrachtungsweise gelang es letztlich, das Gewicht um insgesamt 25 % zu reduzieren, gleichzeitig die fertigungsrelevanten Deformationen um gut 50 % zu verringern und die Zykluszeit um 10 % zu verkürzen.

Fazit

Die ganzheitliche virtuelle Entwicklung eines Produkts (**Bild 6**) verdeutlicht zwei wesentliche Aspekte: Zum einen lassen sich geschäumte Bauteile mit der dargestellten Methodik per Simulation ganzheitlich betrachten. Und zum zweiten verbirgt sich in dieser Herangehensweise ein Potenzial – nicht nur mit Blick auf den Leichtbau –, das nur darauf wartet, ausgereizt zu werden. ■

Die Autoren

Cristoph Hinse ist Geschäftsführer der SimpaTec GmbH, Aachen.

Tobias Schäfer, MSc, ist R&D Engineer FEA bei SimpaTec.

Dank

Für Unterstützung bei den Untersuchungen danken die Autoren

- dem Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel,
- der Ineos Styrolution Europe GmbH,
- der F. & G. Hachtel GmbH & Co. KG
- und Volume Graphics.

Service

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

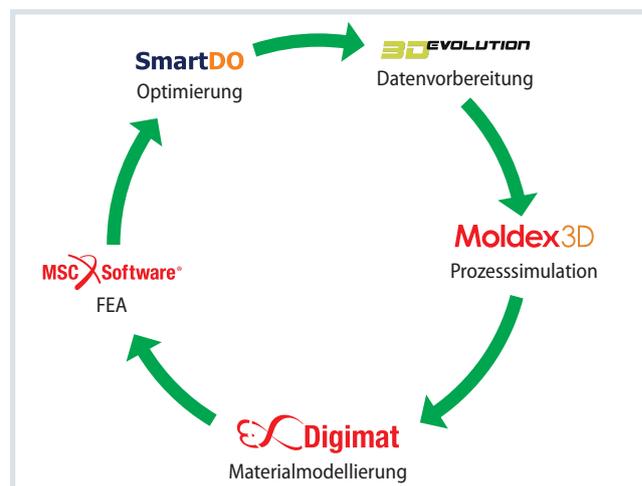


Bild 6. Die ganzheitliche Produktentwicklung führt die Optimierung im Kreislauf. Quelle: SimpaTec; Grafik: © Hanser