

EXTRA: Electronics

[FAHRZEUGBAU] [MEDIZINTECHNIK] [VERPACKUNG] [ELEKTRO&ELEKTRONIK] [BAU] [KONSUMGÜTER] [FREIZEIT&SPORT] [OPTIK]

Bauteile direkt verpackt

Duroplastspritzgießen von Gehäusen für Elektronikbauteile

Duroplaste kommen vermehrt für Gehäuse von Elektronikbauteilen zum Einsatz und bieten dafür gute Eigenschaften. Besonders interessant ist die Direktumspritzung der Komponenten. Dabei muss allerdings der Spagat zwischen Verarbeitbarkeit, Wärmeleitfähigkeit und Reproduzierbarkeit gemeistert werden, um ein erfolgreiches Produkt zu realisieren.

Die industrielle Nutzung duroplastischer Werkstoffe geht bis in das Jahr 1908 zurück [1]. Damit sind sie die ältesten synthetisch hergestellten Kunststoffe. Auch gegenwärtig kommen immer wieder neue Anwendungsfälle für diese Materialien hinzu. Duroplaste hatten vor allem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ihre Hochzeit, wobei ihre sehr gute Wärme- und Chemikalienbeständigkeit in den meisten Einsatzgebieten eine große Rolle spielte. In den Jahrzehnten danach hat ihre Bedeutung allerdings abgenommen. Durch Entwicklungen in der Elektronikindustrie und im Automobilbereich kommen in letzter Zeit aber wieder vermehrt duroplastische Bauteile auf den Markt. Ein Schwerpunkt ist dabei der

Schutz von empfindlichen elektronischen Bauteilen wie beispielsweise Sensoren. Auch bei der Robert Bosch GmbH werden immer mehr elektronische Bauteile mit einem duroplastischen Gehäuse versehen, häufig mittels der sogenannten Direktverpackung.

Bei der Direktverpackung wird ein elektronisches Bauteil, beispielsweise ein Steuergerät oder ein Sensor, mit einer duroplastischen Formmasse direkt umspritzt. Der Duroplast geht dabei zumindest eine adhäsive Verbindung mit den verpackten Komponenten ein und bildet oft gleichzeitig das spätere Gehäuse für das Bauteil aus. Besonders von Vorteil sind bei dem Verfahren die thermomechanischen Eigenschaften von Duroplasten, insbesondere die geringe thermische Ausdehnung sowie die nahezu isotropen Eigenschaften in der Ebene.

Quantitativ gesehen bewegen sich die duroplastischen Formmassen bei der Wärmeausdehnung typischer-

weise im Bereich von Kupfer ($17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) bzw. Aluminium ($23 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Auch die Wärmeausdehnung der eingesetzten Leiterplatte ist ähnlich zu derjenigen der verwendeten Formmassen. Je näher die Ausdehnungskoeffizienten beieinander liegen, umso geringer sind die auftretenden mechanischen Spannungen bei wechselnder Temperaturbeanspruchung. Duroplastische Formmassen bieten deshalb ideale Voraussetzungen für den Einsatz als Umhüllungsmaterial. Ein typischer Temperaturbereich für Direktverpackungen liegt zwischen -40 und 150 °C .

Schonender in der Verarbeitung als Thermoplaste

Auch die Verarbeitungseigenschaften von Duroplasten begünstigen den Einsatz zur Verpackung empfindlicher Bauteile. Duroplaste zeigen während des Füllvorgangs, wenn also nur ein geringer Verformungsgrad vorliegt, die geringste Viskosität (Werkzeugtemperatur $>$ Masstemperatur). Die Umhüllung ist deshalb besonders schonend möglich. Bei Thermoplasten steigt hingegen die Viskosität im Werkzeug (Werkzeugtemperatur $<$ Masstemperatur) bereits wieder stark an, wodurch die Belastung der zu umhüllenden Komponenten größer ausfällt. Außerdem existieren sehr niedrigviskose Duro-



Bei der Direktverpackung wird das elektronische Bauteil oder die Komponente direkt mit der Formmasse umspritzt

© Robert Bosch GmbH

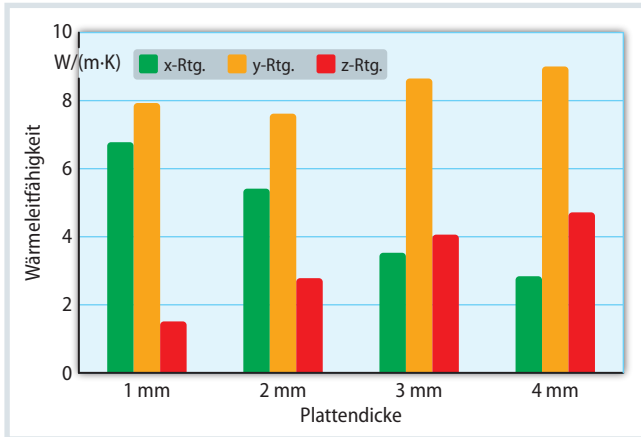


Bild 1. Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit zur Fließrichtung bei unterschiedlichen Plattendicken: Mit steigender Plattendicke nimmt die Wärmeleitfähigkeit in x-Richtung ab und in z-Richtung zu
Quelle: Robert Bosch GmbH; Grafik: © Hanser

terschiedliche Plattendicken nachgewiesen werden (**Bild 1**) [5,6]. Auch bei plättchenförmigen, wärmeleitfähigen Füllstoffen wie hexagonalem Boronitrid zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Insbesondere bei kleinen Plattendicken lässt sich eine ausgeprägte Orientierung der Füllstoffe in Fließrichtung erkennen, während bei großen Plattendicken auch die Wärmeleitfähigkeit in z-Richtung stark ausgeprägt ist.

Die Verfügbarkeit von wärmeleitfähigen Materialien ist für duroplastische Formmassen begrenzt. Dennoch sind einige kommerzielle Stoffe verfügbar. Die Wärmeleitfähigkeit bei duroplastischen Formmassen reicht von Werten im Bereich von 0,5 W/m·K (Standardwerkstoff) bis zu 8 W/m·K (wärmeleitfähiger Kunststoff). Dabei spielt jedoch das eingesetzte Messverfahren eine wesentliche Rolle. Im Fall der vorliegenden Messungen kam das Prüfgerät NanoFlash LFA447 der Netzsch-Gerätebau GmbH zum Einsatz. Durch eine spezielle Probenpräparation kann die Wärmeleitfähigkeit in allen Raumrichtungen erfasst werden, was vor allem für thermische Simulationen und für die Bauteilauslegung von großer Bedeutung ist.

Verlustleistung und Wärmeleitfähigkeit nicht proportional

Zudem wurden die Materialien auf die Entwärmungsleistung bei freier und erzwungener Konvektion überprüft und es wurden auch spezielle Strukturen zur Entwärmung wie Pins und Rippen direkt im Spritzgießprozess angeformt [7]. Es zeigte sich, dass die aufnehmbare Verlust- »

plastformulierungen sowohl für das Transfermolding als auch für das Spritzgießen, mit denen sich sehr niedrige Forminnendrucke realisieren lassen [2]. Ein Nachteil der Werkstoffe ist die auftretende Vernetzung während der Verarbeitung, deren Einfluss bei Betrachtungen zur Prozesssicherheit stets berücksichtigt werden sollte.

Die besonders hervorzuhebenden Vorteile der Direktverpackung liegen u.a. in der hohen Funktionsintegration, der Reduktion von Montageschritten sowie der verbesserten Zuverlässigkeit, etwa von Lotverbindungen [3,4]. Eine wesentliche Herausforderung bei der Direktverpackung von elektronischen Bauteilen ist hingegen die Abführung der Verlustwärme, die mitunter eine erhebliche Höhe erreicht und im herkömmlichen Gehäuse oft durch eine Anbindung an eine Kühlstruktur realisiert wird. Da Kunststoffe eher zu den thermisch isolierenden Werkstoffen zählen, sind entsprechende Funktionalisierungen notwendig, wie beispiels-

weise durch Zumischen wärmeleitfähiger Partikel.

Besonderheiten beim Füllverhalten

Die Füllung bei duroplastischen Werkstoffen wird im Normalfall durch eine sogenannte Block-Scher-Strömung beschrieben. Ausgelöst wird dieses Füllverhalten u.a. durch die thermischen Verhältnisse und den damit einhergehenden Viskositätsverlauf: Während das Material im direkten Werkzeugkontakt sehr schnell aufgeheizt und die Viskosität entsprechend verringert wird, bleibt die Viskosität im Inneren aufgrund der geringeren Temperatur höher. Dementsprechend wird das Material vor allem im Randbereich stark geschert, wodurch sich eine fließinduzierte Füllstofforientierung ergibt. Im Inneren wird eher von einer statistischen Orientierung der Füllstoffe ausgegangen. Anhand von Untersuchungen mit magnetischen und wärmeleitfähigen Füllstoffen konnte dieses Verhalten bei un-

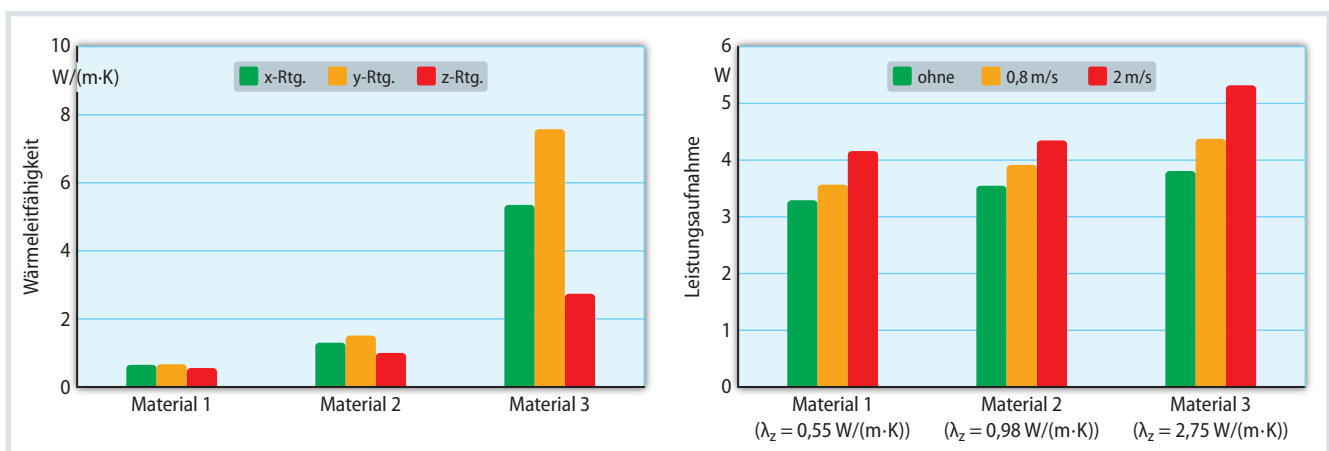


Bild 2. Wärmeleitfähigkeit (links) und Leistungsaufnahme (rechts; mit und ohne Konvektion) bei 2 mm dicken Platten aus duroplastischen Formmassen: Die Wärmeleitfähigkeit und Leistungsaufnahme der Materialien steigen nicht proportional zueinander an
Quelle: Robert Bosch GmbH; Grafik: © Hanser

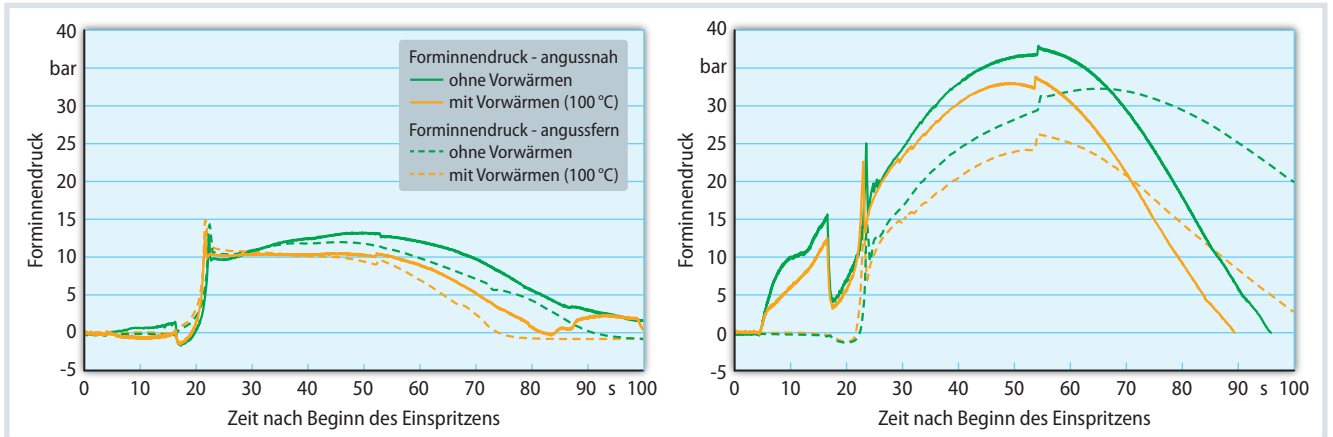


Bild 3. Vergleich der Forminnendrücke bei Materialien mit geringerer (links) und höherer Viskosität (rechts): Bei geringerer Viskosität ist auch der Forminnendruck deutlich niedriger Quelle: Robert Bosch GmbH; Grafik: © Hanser

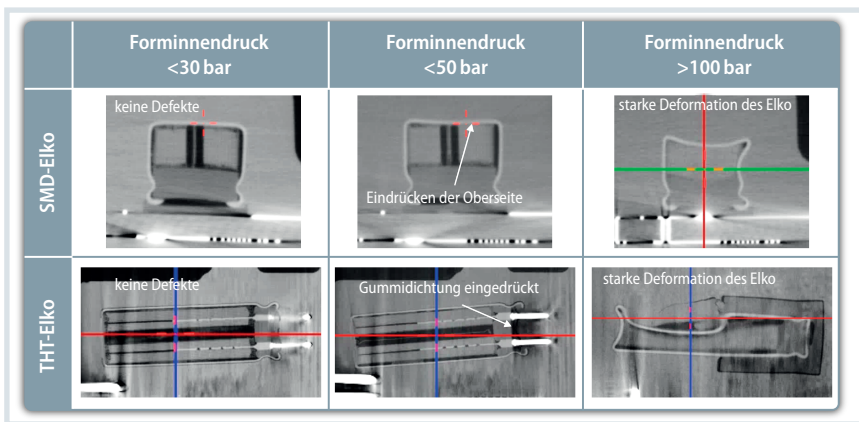
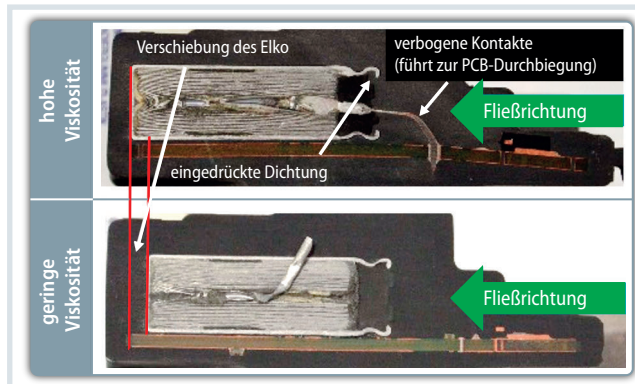


Bild 4. Fehlerbilder bei SMD- und THT-Elektrolytkondensatoren (Elko): Höhere Forminnendrücke können zur Beschädigung der Bauteile führen Quelle: Robert Bosch GmbH; Grafik: © Hanser

Bild 5. Bei Materialien mit hoher Viskosität kann es beim Füllen zur Verschiebung des Elko und damit einhergehend zu Beschädigungen kommen

Quelle: Robert Bosch GmbH;
Grafik: © Hanser



leistung nicht proportional zur Wärmeleitfähigkeit ansteigt (Bild 2). Daher bringt eine hohe Dosierung der Füllstoffe, die in der Regel zu einem starken Preisanstieg der Werkstoffe führt, nicht zwangsweise eine Verbesserung der thermischen Verhältnisse im verpackten Bauteil mit sich.

Der Prozess der Direktverpackung ist normalerweise am Ende der Wertschöpfungskette angesiedelt. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Durchführung und Reproduzierbarkeit

des Prozesses. Tritt im Prozess ein Fehler auf, beispielsweise durch eine Druckspitze während der Füllung infolge von Material- oder Prozessschwankungen, können die elektronischen Komponenten beschädigt werden. Da es sich zusätzlich aus Kostengründen oft um Mehrfachwerkzeuge handelt, ist der entstehende monetäre Schaden schnell sehr hoch. Durch die fehlende Rückströmsperre liegt daher gerade beim Duroplastspritzgießen ein besonderes Augenmerk auf der

Reproduzierbarkeit. Neben dem Einsatz von Materialien mit geringen Viskositäten, um die Forminnendrücke möglichst zu minimieren, besteht die Notwendigkeit einer exakten Prozesskontrolle.

Um eine solche zu ermöglichen, wurden bei Bosch die Forminnendrücke bei der Verpackung mit verschiedenen Materialien untersucht. Während das Standardmaterial dabei sehr geringe Forminnendrücke von etwa 10 bar zeigt, sind diese bei dem wärmeleitfähigen Material bereits deutlich höher (Bild 3). Auch das Füllverhalten ist stark unterschiedlich. Beim Standardmaterial zeigt sich nahezu kein Unterschied zwischen dem gemessenen Druck angussnah und angussfern. Lediglich ein kleiner Druckanstieg angussnah während der Füllung ist zu erkennen. Bei dem wärmeleitfähigen Material dagegen steigt der angussnahe Druck während der Füllung stark an, was ein deutliches Zeichen für die höhere Viskosität des Materials ist. Eine Erhöhung der Temperatur des Einlegers bringt zwar eine geringfügige Verbesserung, dennoch ist der Anstieg bereits deutlich zu beobachten.

Ausfälle bei zu hohem Forminnendruck

Die Auswirkung des Forminnendrucks und des Füllverhaltens lassen sich sehr gut anhand von Schlißbildern der verpackten Elektronik beurteilen. Im untersuchten Fall repräsentierten jeweils ein SMD- (Surface-Mounted Device; dt. oberflächenmontiertes Bauteil) und ein THT-Elektrolytkondensator (Through Hole Technology; Durchsteckmontage) die empfindlichen Bauteile. Beide Bauteile zeigen

bei Forminnendrücken von über 50 bar Ausfallanzeichen. Während beim SMD-Elko eine leichte Eindellung des Gehäuses zu beobachten ist, wird beim THT-Elko vor allem die Gummi-Kappe eingedrückt. Bei noch höheren Forminnendrücken kommt es schließlich zum Totalausfall des Bauteils (**Bild 4**).

Ein weiteres Fehlerbild wird durch die Viskosität der Materialien und die damit einhergehenden Belastungen während des Füllvorgangs hervorgerufen. Dadurch kann es zur Verschiebung des Kondensators in Fließwegrichtung kommen (**Bild 5**). Dabei werden die Kontakte verbogen und auch die Gummi-Kappe wird eingedrückt. Allein der Füllvorgang kann somit zum Ausfall des Bauteils führen. In der Aufbau- und Verbindungstechnik existieren außerdem noch empfindlichere Bauteile wie Bonddrähte, die nur noch geringeren Belastungen ausgesetzt werden dürfen.

Neben den aufgezeigten Schwierigkeiten bei der Umhüllung elektronischer Bauteile bestehen noch weitere Herausforderungen. Dazu zählen z.B. auftretende Luft einschüsse im Bauteil, Delaminationen zwischen Moldmasse und Bauteil, Verformungen der Leiterplatte und Lötstellenschädigung sowie die notwendige Unterfüllung von Bauelementen. Je nach Bauteil und Komponenten lässt sich diese Liste noch erweitern. Umso wichtiger ist eine gute Prozessführung. Es wird aber auch eine geeignete Methode zur Bauteil- und Prozessauslegung benötigt.

Die Reproduzierbarkeit von Material und Prozess spielt bei der Verpackung von elektronischen Bauteilen eine wesentliche Rolle. Wie erwähnt, ist das Electronic Packaging das letzte Glied in einer langen Prozesskette und entsprechend

groß sind die finanziellen Risiken im Falle von Ausschussteilen. Bereits geringe Änderungen in den Verarbeitungseigenschaften oder den Randbedingungen können Einfluss auf die Prozessqualität haben. Eine geeignete Strategie für eine Materialqualifizierung sowie für die Prozesssteuerung ist unabdingbar.

Unterschiede in Simulation und Realität

Neben den realen Einflüssen auf Prozess und Bauteile rückt auch die virtuelle Produktentwicklung bei Bosch immer stärker in den Fokus. Um die oben beschriebenen Probleme von vornherein minimieren zu können, ist eine entsprechend zuverlässige Prozess- und Struktursimulation notwendig. Während die Füllsimulation zwar qualitativ bereits sehr gute Ergebnisse liefert, z.B. im Hinblick auf das Füllverhalten und Auftreten von Luft einschüssen und Bindenähten, lässt die quantitative Auswertung noch Raum für Verbesserungen. Gerade bei der Vorhersage von Prozessdrücken beim Duroplastspritzgießen zeigen einige Programme deutliche Unterschiede zu gemessenen Werten (**Bild 6**). Außerdem stellt für die Prozesssimulation mit Duroplasten oft die Beschaffung von zuverlässigen Materialdaten eine Herausforderung dar.

Im in **Bild 6** gezeigten Beispiel wird der benötigte Druck (spezifischer Hydraulikdruck) während der Formfüllung deutlich unterschätzt. Auch der Forminnendruck wird durch die Simulation nicht korrekt abgebildet. Es scheint eine perfekte Druckübertragung vorzuliegen, was in der Realität nicht der Fall ist. Weitere Schwerpunkte bei der Verbesserung des Duroplastspritzgießens liegen im Bereich

der zu erwartenden Lasten für bestückte Bauelemente und in der Vorhersage der Lebensdauer von verpackten elektronischen Komponenten. ■

Die Autoren

Dr.-Ing. Torsten Maenz ist Projektleiter bei der B. Braun Melsungen AG im Bereich Montage und Spritzgießen im Braun Technology Center in Melsungen; torsten.maenz@bbraun.com

Dr.-Ing. Martin Giersbeck ist Abteilungsleiter bei der Robert Bosch GmbH im Bereich Applied Mathematics and Engineering for Future Components im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung in Renningen; martin.giersbeck@de.bosch.com

Dr.-Ing. Gerrit Hülder ist Gruppenleiter bei Robert Bosch im Bereich Materials and Manufacturing Technologies Polymers im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung; gerrit.huelder@de.bosch.com

Dipl.-Ing. Armin Kech ist Forschungsingenieur bei Robert Bosch im Bereich Design and Dimensioning of Components, Prediction of Lifetime, Process Simulation im Zentralbereich Forschung und Vorausbildung; armin.kech@de.bosch.com

Service

Literatur & Digitalversion

- 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

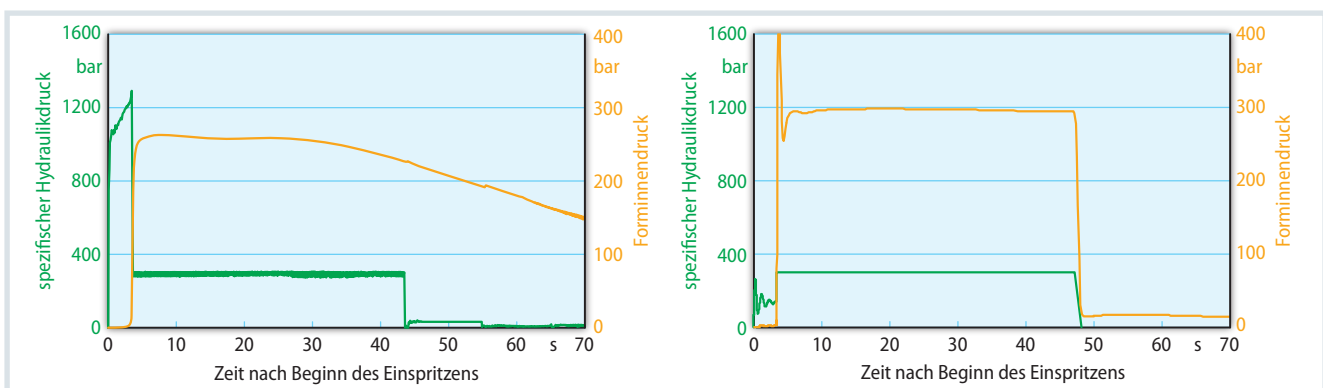


Bild 6. Der Vergleich realer (links) und simulierter Prozessdrücke (rechts) beim Duroplastspritzgießen offenbart deutliche Abweichungen in der Simulation. Quelle: Robert Bosch GmbH; Grafik: © Hanser