

Kunststoffe

AUTOMOTIVE



SPECIAL:
DESIGN UND
VIRTUELLE
PRODUKT-
ENTWICKLUNG

Fotos: Porsche, Bayer MaterialScience, HBPO

Management

- 98 Gastkommentar: Autos in Deutschland erfolgreich bauen (M. Macht)
- 100 Interview mit Dr. Thomas Schuh: „Kunststoffe auch weiterhin auf dem Vormarsch“ (G. Klein)

SICHERHEITSTECHNIK

- 104 Fußgängerschutz: Knautschzonen für Fußgänger (S. Schlott)

Neue Produkte

- 110 Erratum: Crashbelastete Bauteile virtuell entwickeln
Lasersintern: Entwicklungszeiten halbiert
LGF-PP/PP-Mischungen: Wirtschaftlich und flexibel

E+E-Technik

- 112 Design: Scheinwerferkomponenten aus Duroplast (E. Moritzer)
- 115 Fluorelastomer: Dauerhaft beständig
- 116 Materialentwicklung: Linsenspektiven von LEDs aus Polycarbonat (M. Döbler, F. Schiemann)

Motorraum

- 118 Sicherer Verbund: Mehrschichtrohre für Kraftstoffleitungen (K. Kuhmann)
- 122 Ölsaugrohr: Material schonend verbinden
Brennstoffzelle: Alternative Energieform
- 123 Einfüllrohre: Individuell blasformen
Kraftstofftank: Kleinserien manuell herstellen
- 124 Spritzgießen: Projektlinjektionstechnik geht in Serie (M. Piazza)
- 127 Blasformen: Zuverlässig auch bei hohen Temperaturen

NANOTECHNOLOGIE

- 129 Automobilelektronik: Filigrane Bauteile wirtschaftlich herstellen (A. Eipper, M. Völkel)
- 132 Tampondruck: Gurtschlösser automatisch bedrucken
- 133 Lacke: Kratzfeste Kunststoffoberflächen (T. Sawitowski)

100



Interview. Kunststoffe befinden sich als innovative Werkstoffe für Design und Leichtbau im Automobil auch weiterhin auf dem Vormarsch. Fragen zu den Potenzialen von Kunststoffen im Materialmix der Automobilwerkstoffe beantwortet Dr. Thomas Schuh, Leiter Polymertechnik bei der DaimlerChrysler AG, Sindelfingen.

104



Fußgängerschutz. Der Countdown für den Fußgängerschutz läuft weiter. Seit Oktober 2005 müssen neu zugelassene Fahrzeuge entsprechende Schutzeinrichtungen aufweisen. Doch die Branche denkt bereits an die zweite Stufe ab 2010.



Michael Macht, Vorstand Produktion und Logistik der Porsche AG: „Das Qualitätssiegel ‚Made in Germany‘ erzeugt für Porsche einen beachtlichen Mehrwert.“

Autos in Deutschland erfolgreich bauen

■ Seit 1950 baut Porsche am Stammsitz in Stuttgart-Zuffenhausen exklusive Premium-Sportwagen. Doch zu Beginn der 90er-Jahre geriet das Unternehmen ernsthaft in Gefahr. Ineffiziente Produktion und Fehler in der Produktpolitik hatten zu Verlusten geführt. Die Existenz des Unternehmens war bedroht. Der Vorstand entschied sich für eine Re-

strukturierung, bei der – bildlich gesprochen – im Stammwerk kein Stein auf dem anderen blieb. Gemeinsam mit japanischen Produktionsexperten setzte das Management schrittweise die Ideen einer „schlanken Fabrik“ um. Wesentlicher Grund für das Gelingen dieser Restrukturierung lag in der frühzeitigen Einbindung von Betriebsrat und Belegschaft. Sie hatten die Restrukturierungsstrategie von Beginn an mitgetragen und aktiv umgesetzt.

Produktivität um 6 % erhöht

Gleichzeitig haben wir bei Porsche einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess installiert. Ziel war, die Produktivität jährlich um mindestens 6 % zu erhöhen. Dass die Zahl der Beschäftigten trotz signifikanter Produktivitätssprünge bis heute in unserem Werk in Stuttgart-Zuffenhausen sicher ist, resultiert aus der Entwicklung neuer Produkte wie der Boxster- und Cayenne-Baureihen sowie weiterer 911-Derivate. Auch wenn nur einige dieser Modelle in Stuttgart-Zuffenhausen produziert werden, so kommen doch fast alle Motoren der Baureihen aus dieser Fabrik. Sie sorgen hier für zusätzliche Beschäftigung.

Als wir 1999 einen zusätzlichen Standort für die Produktion eines neuen sportlichen Geländewagens suchten, entschieden wir uns wiederum für einen Standort in Deutschland. Unsere Wahl fiel auf die sächsische Metropole Leipzig, in der wir im August 2002 eines der modernsten Automobilwerke der Welt in Betrieb nahmen. Wir waren überzeugt, dass das Qualitätssiegel „Made in Germany“ für einen Hersteller von Premiumfahrzeugen wie Porsche einen beachtlichen Mehrwert erzeugt – nicht nur mit Blick auf die Kunden im eigenen Land, sondern auch in den Exportmärkten. Der eindrucksvolle Erfolg unseres sportlichen Geländewagens Cayenne hat gezeigt, dass die Entscheidung für den Standort Deutschland richtig war: Mehr als 140 000 Fahrzeuge sind seit 2002 im

Leipziger Werk vom Band gerollt. Es war deshalb nur konsequent, dass wir auch das viersitzige Sport-Coupé Panamera, das 2009 auf den Markt kommt, in Leipzig produzieren werden.

Gleichzeitig haben wir sowohl bei der Ansiedlung als auch beim gerade begonnen Ausbau des Leipziger Werks auf Subventionen in zweistelliger Millionenhöhe verzichtet. Der Erfolg unseres Unternehmens hängt nicht von staatlicher Alimentierung, sondern von technologischen Innovationen, einem anerkannt guten Design, intelligenten Vertriebsstrategien und – wie bereits ausgeführt – von effizienten Produktionsprozessen ab.

Aus diesem Grund haben wir auch im Leipziger Werk die Prinzipien der „schlanken Fabrik“, die wir in den 90er-Jahren in unserem Stammwerk in Stuttgart-Zuffenhausen erarbeitet hatten, konsequent umgesetzt. Wir konzentrieren uns in Leipzig auf die Kernkompetenzen Montage, Qualität und Prozesssteuerung. Funktionen, die nicht notwendigerweise mit dem Produktionsprozess direkt zusammenhängen, wurden ausgelagert. Die relativ niedrige Fertigungstiefe verbindet sich dabei mit einem hohen Prozentsatz an deutschen Zulieferern. Steuerung des komplexen Wertschöpfungsnetzwerks und der Qualitätssicherstellung der Teile und Aggregate sind dabei wesentliche Bestandteile dieses modernen Produktionsprozesses.

Management als Dienstleister

Eine entscheidende Rolle spielen in unserem Leipziger Werk unsere gut ausgebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Ihre Stärken sind Leistungsbereitschaft, Motivation und Flexibilität. Sie werden mit konkreten Zielen geführt, ständig weiterqualifiziert und leistungsbezogen entlohnt. Gleichzeitig bilden wir jeden Mitarbeiter vor seinem persönlichen Hintergrund weiter. Die variable Lohnkomponente hängt vom persönlichen Einsatz, aber auch der Leistung des gesamten Teams ab. Das Management versteht sich als Dienstleister für die Mitarbeiter, die die Fahrzeuge in höchster Qualität fertigen.

Die Entscheidung für Leipzig als Produktionsstandort des Sport-Coupé Panamera war deshalb vor allem auch ein Vertrauensbeweis in die Fähigkeiten unserer Leipziger Belegschaft. Gemeinsam haben wir den Ehrgeiz, mit dem Panamera an den Erfolg des Cayenne anzuknüpfen. Damit wollen wir ein weiteres Mal beweisen, dass sich auch in Deutschland exzellente Automobile, die auf der ganzen Welt begehrt sind, zu wettbewerbsfähigen Preisen bauen lassen. ■



Porsche-Produktionsstandort Leipzig



Thomas Schuh über Herausforderungen und Trends mit Kunststoffen im Automobil

»Kunststoffe auch weiterhin auf dem Vormarsch«

Dr. Thomas Schuh ist seit einem Jahr Leiter Polymertechnik bei der DaimlerChrysler AG, Sindelfingen. Er folgt auf Dr. Wolfgang Wittig, der ihn seit vielen Jahren auf diese Position vorbereitet hat. Im Gespräch mit Gudrun Klein, verantwortlich für **Kunststoffe AUTOMOTIVE**, beschreibt er seinen Aufgabenbereich und die Potenziale von Kunststoffen im Materialmix der Automobilwerkstoffe.

KU103746

Kunststoffe: Herr Dr. Schuh, Sie haben viele Jahre in dem Bereich, dem Sie heute vorstehen, mit Ihrem Vorgänger Herrn Dr. Wolfgang Wittig zusammengearbeitet. Wie können Sie jetzt von dieser langen Zusammenarbeit profitieren?

Schuh: Herr Dr. Wittig hatte mir Gelegenheit gegeben, in mehreren Teilbereichen des heutigen Aufgabenfelds Erfahrungen zu sammeln und somit auch ein breites internes und externes Netzwerk aufzubauen. Speziell in der Entwicklung und Serienbetreuung ist es von besonderem Nutzen, wenn man auf langjährige Erfahrungen aufbauen kann. Das bewahrt vor so mancher Fehlentscheidung, die unter Umständen viel Zeit und Geld kosten kann. Außerdem hilft es enorm, wenn man bereits zu Beginn seiner Leitungstätigkeit sowohl die internen als auch die externen Kontaktpartner kennt.

Kunststoffe: Welche Verantwortlichkeiten und Aufgaben bringt Ihre Position als Leiter Polymertechnik mit sich?

Schuh: Mein Verantwortungsbereich lässt sich in drei Themenblöcke clustern. Am Anfang steht die Technologievorsorge und

-absicherung: Hier schauen wir uns an, welche Polymertechnologien zukünftig im Markt verfügbar sein werden und bewerten, welche davon für unsere Produkte eine Bedeutung erlangen. In Einzelbereichen entwickeln wir auch neue Technologien selbst, und zwar bis zu einem Reifegrad, der es erlaubt, sie für neue Modelle zu nutzen. Dann übergeben wir diese an unsere Kollegen in der Entwicklung, die damit neue Bauteile erproben, die wir dann gemeinsam zum Einsatz bringen.

Als zweiter Part folgt die Serienumsetzungsphase: Hier arbeiten wir Hand in Hand mit den Kollegen in den Entwicklungsbereichen, bei denen die Bauteilverantwortung liegt. Zu unseren Aufgaben gehört es, die richtige Werkstoffauswahl zu treffen. Wir müssen u. a. darauf achten, dass die Materialien den geforderten Spezifikationen entsprechen und dass die Bauteile kunststoff- und produktionsgerecht konstruiert werden. Nur so können die hohen Anforderungen an Funktion und Qualität sichergestellt werden.

Im dritten Schwerpunkt beschäftigen wir uns mit Spezifikationen, Material- und Bauteilfreigaben sowie Schadensanalysen im Stadium der Entwicklungsphase. Gleichzeitig sehen wir uns aber auch

Feldbeanstandungen an. Indem wir diese Erfahrungen auswerten und in neue Entwicklungen einfließen lassen, schließt sich der Kreis. Das alles geschieht in ganz enger Zusammenarbeit mit Kunststoffherstellern und Lieferanten sowie Kunststoffverarbeitern.

Kunststoffe: Welcher dieser drei Bereiche ist wesentlicher Schwerpunkt Ihrer Arbeit?

Schuh: Im Wesentlichen sind alle drei Bereiche gleich wichtig. Dem Thema Prävention und Technologieabsicherung kommt zwar eine vorrangige strategische Bedeutung zu. Aber wenn es bei der Serieneinführung einmal wirklich klemmt, kommt es immer wieder vor, dass meine Mitarbeiter auch unsere Lieferanten vor Ort unterstützen.

Kunststoffe: Falls es in der Serienüberführung mal wirklich kritisch wird, müssen Sie dann sozusagen „Hilfspolizei spielen“?

Schuh: Zu unseren Aufgaben gehört es durchaus, einen nicht ganz unerheblichen Anteil an Troubleshooting-Aktivitäten beim Lieferanten im täglichen Seriengeschäft zu leisten. Im Extremfall geht es sogar so weit, dass meine Mitarbeiter vor Ort die Prozesstechnik „unter die Lupe nehmen“. Dieses Troubleshooting ist auch für uns immer wieder ein Lernprozess. Und aus diesem Grund wollen wir die Prozessbegleitung und die Schadensbekundung in unserem Bereich aufrechterhalten. Es können so alle Informationen rund um die Produktentstehung in einem Bereich zusammengeführt werden und die Erfahrungen in künftige Entwicklungen einfließen.

Kunststoffe: Welche Rolle spielen Kunststoffe im Materialmix der Automobilwerkstoffe bei DaimlerChrysler?

Schuh: DaimlerChrysler weist speziell in diesem Werkstoffbereich eine große Bandbreite auf. Sie spannt sich vom Mercedes SLR McLaren (Bild 1) als Supersportwagen mit Kohlefaser-Verbundkunststoffen über den Smart (Bild 2) mit dem größten Kunststoffanteil bei Großserienfahrzeugen bis zu den Nutzfahrzeugen mit einem geringen Gewichtsanteil an Kunststoff. Alles in allem bewegen wir uns bei unseren Mercedes-Limousinen im normalen Materialmix von 18 bis 20 Gew.-% Kunststoff.

Von den Anwendungen her erlebt der Verbraucher den Werkstoff Kunststoff sehr deutlich im Interieur sowohl optisch als auch haptisch. Dort wird er direkt damit konfron-

tiert, denn hier ist die größte Menge an Kunststoffen verbaut. Aber auch im Exterieur haben wir uns an Kunststoffe ganz selbstverständlich gewöhnt. Beispielsweise wird bei Stoßfängern nicht mehr diskutiert, ob ein anderes Material zum Einsatz kommen sollte. Im Exterieur gibt es aber auch ein Segment, wo Kunststoffe im Einzelfall immer wieder neu zu diskutieren und zu entscheiden sind, da sie sich hier im Wettbewerb zum Blech aus Stahl oder Aluminium befinden. Das betrifft Bauteile wie Kotflügel, Rückwandtüren oder Heckklappen. Dort gibt es immer wieder Einzelentscheidungen, die angesichts einer Vielzahl von Anforderungen immer wieder unterschiedlich ausfallen.

Kunststoffe: Wann würden denn Kunststoffe den Wettbewerb der Materialien gewinnen?

Schuh: Im Wesentlichen bestimmt der Wettbewerb aus Funktionalität (inklusive Gewicht und Gestaltungsfreiheit), Kosten und Qualität die Materialauswahl. Dabei kann die Gewichtung der Einzelkriterien unterschiedlich sein. Bei Rückwandtüren und Heckdeckeln aus Kunststoff standen insbesondere die Themen Gewicht und Antennenintegration im Vordergrund.

Relativ unbekannt geblieben ist, dass beispielsweise unser auslaufendes Mercedes S-Klasse Coupé und die „alte“ Mercedes A-Klasse vor allem aus Gewichts- und Designgründen Kotflügel aus Kunststoff besaßen. In den aktuellen Modellen werden sie jedoch wieder in Stahl bzw. Aluminium ausgeführt, weil sich seitdem auch diese Werkstoffklassen weiterentwickelt haben. Doch der Wettstreit der Materialien ist damit natürlich nicht beendet. Deshalb setzen wir uns weiterhin mit dem Thema Kunststoffkotflügel auseinander und verfolgen auch gespannt, was unsere Wettbewerber auf diesem Gebiet tun. Es gibt Anzeichen dafür, dass ähnlich wie bei Stoßfängern, sich auch bei diesem Bauteil die Materialwelt im Umbruch befindet.

Kunststoffe: Haben Kunststoffe im Fahrzeugbau bereits ihr Limit erreicht?

Schuh: In den letzten 20 Jahren kann man einen stetigen leichten Anstieg bei Kunststoffen in den Fahrzeugen beobachten. Ich glaube nicht, dass dieser Trend im Augenblick wesentlich gebremst wird. Denn nach wie vor werden



Bild 1. Karosserie und verschiedene Konstruktionselemente des Supersportwagens Mercedes-Benz SLR McLaren 722 bestehen aus Kohlefaser-Verbundkunststoffen



Bild 2. Der Smart for four gehört zu den Großserienfahrzeugen mit dem größten Kunststoffanteil



Bild 3. Das Mercedes-Benz A-Klasse Coupé besitzt serienmäßig eine Ersatzrad-Muldenabdeckung aus der extrem zugfesten Naturfaser der Abaca-Banane



Bild 4. Das Kunststoffteil im Dachbereich der aktuellen Mercedes GL-Klasse besteht aus Polycarbonat und ist fast 1 m² groß

wir aufgrund der Vorschriften zur CO₂-Reduktion den Leichtbau weiter vorantreiben. Die Erhöhung der Funktionalität und die deutliche Weiterentwicklung der Sicherheitsmaßnahmen in unseren Fahrzeugen führt dazu, dass unsere Fahrzeuge immer schwerer werden. Und dieses gilt es zum Teil wieder zu kompensieren. Dazu kann auch Kunststoff mit seinem Potenzial beitragen.

Kunststoffe: Welche Bedeutung hat der Einsatz von Naturmaterialien für neue Entwicklungen?

Schuh: Einige Automobilbauer setzen bereits heute in ihren Fahrzeugen Naturfasern im Interieur ein, ein Beispiel sind Trägerteile für Türverkleidungen. Unser Haus hat sich vor etwa 15 Jahren mit diesem Thema etabliert. Neu hinzugekommen sind nun erstmals auch naturfaserverstärkte Bauteile im Exterieur in der aktuellen Mercedes A-Klasse (Bild 3). Auch bei Kraftstoffen erwarten wir einen erhöhten Anteil an Bioprodukten als Beimischung. Das zeigt die zunehmende Bedeutung von nachwachsenden Rohstoffen.

Im Bereich der Biopolymere gibt es derzeit eine ganze Reihe interessanter Entwicklungen. Und mit den Preiserhöhungen, die wir bei Rohöl in der Vergangenheit hatten, werden diese Bioprodukte immer attraktiver. Im Augenblick denken wir noch an keine konkreten Anwendungen. Wir befinden uns jetzt in dem Stadium, dass wir Produkte, die die Rohstoffindustrie uns zur Verfügung stellt, erproben. Das ist notwendig, um das Leistungspotenzial dieser Werkstoffe abschätzen zu können.

Kunststoffe: Welchen Stellenwert haben Hybridmaterialien für das Haus DaimlerChrysler?

Schuh: Hybridstrukturen sind stark im Kommen. Sie finden auch vermehrt bei uns im Hause Anwendung. Beispielsweise setzen wir Frontmodule in Hybridbauweise ein. Der Sinn dieser Strukturen ist, dass bei den klassischen Kunststoff-Metall-Verbindungen einige der strukturellen Anforderungen auf das Metall übertragen werden. Es gibt aber auch Möglichkeiten, mit langglasfaserverstärkten Kunststoffen Hybridstrukturen herzustellen. So entsteht eine ganzheitliche Kunststoffvariante, die die Nachteile der klassischen Kunststoff-Metall-Hybride umgehen kann. Insgesamt betrachtet sind verstärkte Kunststoffe für uns eine interessante Alternative zu Metallen.

Kunststoffe: Wie wichtig sind die Themen Wirtschaftlichkeit und Ökologie bei der Auswahl der Werkstoffe für neue Modelle bzw. Bauteilentwicklungen?

Schuh: Das Thema Wirtschaftlichkeit erhält bei den Automobilbauern zunehmend mehr Bedeutung. Wir leben ja in Zeiten eines harten Wettbewerbs. Dadurch hat der wirtschaftliche Druck auch zwischen den Automobilhäusern zugenommen. Es kommt heute darauf an, neue Modelle mit den richtigen Kosten hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Funktionalität und Qualität in den Markt zu bringen.

Zum Thema Ökologie gibt es klare gesetzliche Vorgaben, die als Mindestforderung zu erfüllen sind. Unabhängig davon suchen wir aber auch ständig nach neuen Lösungen, um z. B. Rezyklate vermehrt einzusetzen. Wir eruieren, für welches Bauteil die Anforderungen dafür ausreichen und ob diese Materialien qualifi-



Dr. Thomas Schuh,

geb. 1955 in Saarbrücken, studierte und promovierte in der Fachrichtung Werkstoffwissenschaften. 1986 trat er in die DaimlerChrysler AG, Sindelfingen, ein und war im Bereich Polymertechnik tätig. Im Oktober 2005 übernahm er die Leitung Polymertechnik in der Produktions- und Werkstofftechnik.

ziert werden müssen. Nicht zuletzt geschieht dies auch vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit, denn zunehmend können mit der Verwendung von Rezyklaten auch Kostenvorteile realisiert werden.

Kunststoffe: Wie bewerten Sie den wirtschaftlichen Einsatz von Kunststoffen im Außenbereich?

Schuh: Stoßfänger, Kühlergrill, Spiegelgehäuse und Längsträger als Schwellerverkleidung bestehen heute standardmäßig aus Kunststoff. Im Einzelfall wird, wie bereits beschrieben, über Teile wie Heckdeckel, Kotflügel oder Rückwandtüren entschieden. Relativ neu sind Kunststoffverschiebungen aus Polycarbonat. Man kann hier mit Kunststoffmaterialien Geometrien realisieren, die mit Mineralglas nicht herstellbar sind. Beispielsweise haben wir bei der aktuellen Mercedes GL-Variante ein relativ großes Kunststoffteil – fast 1 m² groß – im Dachbereich eingesetzt (Bild 4). Hier war die Integration der Antennenabdeckung ausschlaggebend für die Wahl von Kunststoff. Wir schätzen ein, dass dieses Themenfeld in den nächsten Jahren deutlich wachsen wird. Es bleibt jedoch immer eine Einzelentscheidung, ob für Verschiebungen Kunststoff oder Glas eingesetzt wird. Denn im Vergleich zum Mineralglas ist eine Kunststofflösung deutlich teurer, sofern dieses nicht durch einen Zusatznutzen kompensiert werden kann.

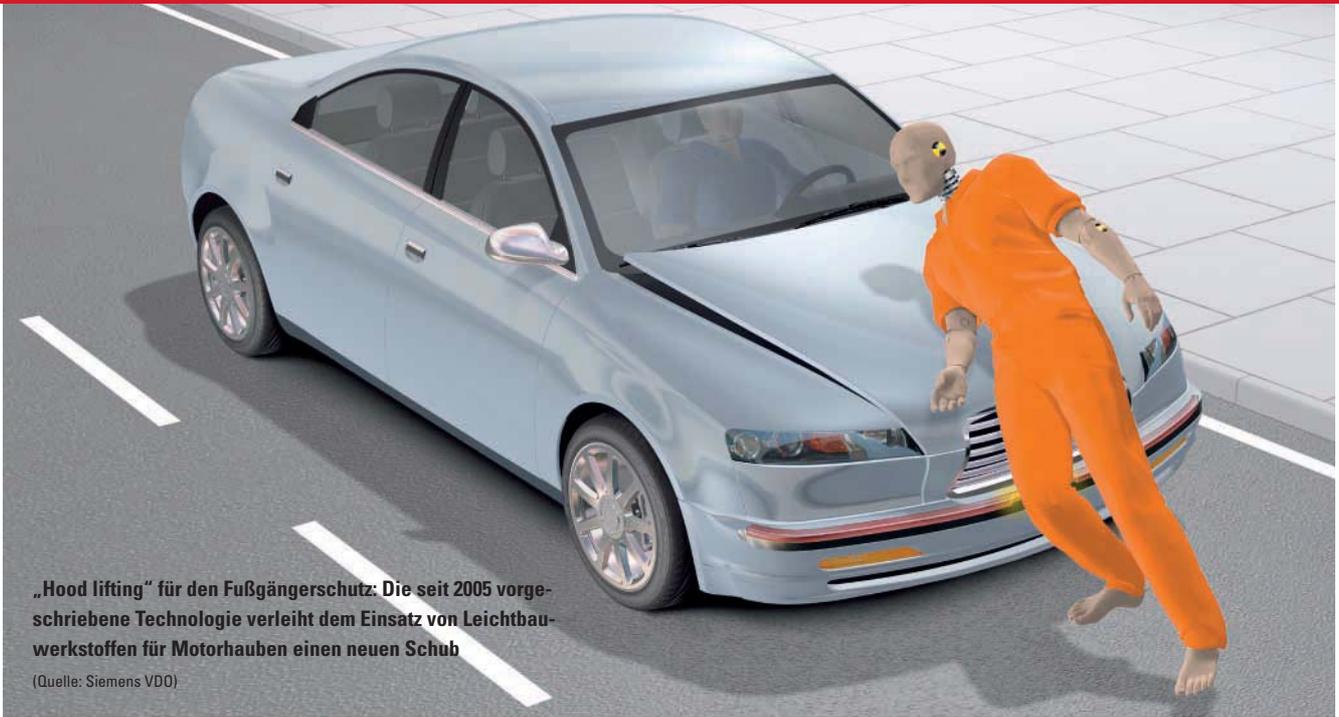
Kunststoffe: Welche Rolle spielt die Online-Lackierbarkeit bei der Auswahl von Kunststoffen?

Schuh: Wir lackieren bereits heute Bauteile online in der laufenden Serie: So sind die meisten unserer Fahrzeuge, die jetzt neu auf den Markt kommen, mit einer Kunststoffanklappe ausgestattet. Dieses Teil besitzt eine hohe Konturgenauigkeit, damit es optisch hochwertig anmutend in die Oberfläche der Seitenwand hineinpasst. Bei diesem Teil ist eine online-Lackierung an der Stahlkarosse durchaus wirtschaftlich sinnvoll, da es beste Voraussetzungen für ein perfektes Colourmatching bietet. Weiterhin haben wir z. B. bei Mercedes Vito und Viano Kunststoffkotflügel eingesetzt, die aus dem beschriebenen Grund auch online lackiert werden. Zusätzlich waren Designgründe mit Ausschlaggebend für die Kunststofflösung.

Kunststoffe: Wie stellen Sie sich eine effiziente und qualitätsorientierte Zusammenarbeit mit der Kunststoffindustrie vor?

Schuh: Die Ansprüche an die Kunststofftechnologien steigen: Wir reizen sie in ihrer Leistungsfähigkeit immer mehr aus. Damit geben wir aber gleichzeitig ein Stück Robustheit der Technologie auf, was dazu führen kann, dass in der Serienanlaufphase bei größeren Stückzahlen zunächst Defizite in der Qualität entstehen können. Deshalb ist es notwendig, dass die ausgewählte Technologie zur Bauteilherstellung einen hohen Reifegrad besitzt. Denn die Prozesse beim Transfer aus der Entwicklungsphase – mit kleinen Stückzahlen – unterliegen anderen Schwankungen und Toleranzen als die in der Serienphase, wo große Stückzahlen produziert werden. Hier gilt für die Zukunft, bereits im Vorfeld die Prozessgrenzen neuer Technologien besser abzusichern und den Reifegrad zu erhöhen.

Kunststoffe: Vielen Dank für das Gespräch. ■



„Hood lifting“ für den Fußgängerschutz: Die seit 2005 vorgeschriebene Technologie verleiht dem Einsatz von Leichtbauwerkstoffen für Motorhauben einen neuen Schub

(Quelle: Siemens VDO)



Knautschzonen für Fußgänger

Fußgängerschutz. Der Countdown für den Fußgängerschutz läuft weiter.

Seit Oktober 2005 müssen neu zugelassene Fahrzeuge entsprechende Schutzeinrichtungen aufweisen. Doch die Branche denkt bereits an die zweite Stufe ab 2010.

STEFAN SCHLOTT

Zu den aktuellen Forschungsschwerpunkten in den Sicherheitsabteilungen der Automobilhersteller zählt noch immer der Fußgängerschutz (Bild 1). Das Ziel dabei lautet, die bei der Kollision eines Fußgängers entstehenden Kräfte an Bein, Hüfte und Kopf zu reduzieren und damit die Unfallfolgen für den Fußgänger erträglicher zu machen.

Die biomechanischen Grenzwerte, die im Rahmen der Richtlinie geprüft und unterschrieben werden müssen, sind die Unterschenkelbeschleunigung, der Kniebiegewinkel und der Kniescherweg. Vor allem hinsichtlich des Unterschenkelaufralls gibt es bereits Lösungen, den hohen Anforderungen gerecht zu werden. Beispielsweise durch den Einsatz zusätzlicher Energieabsorber in Höhe des Stoßfängerquerträgers und durch ein zusätzliches Querträgerprofil unter dem Stoßfängerquerträger.

Ähnliches gilt für den Haubenschlossbereich. Dort muss die vom Automobilhersteller geforderte Steifigkeit mit den Anfor-

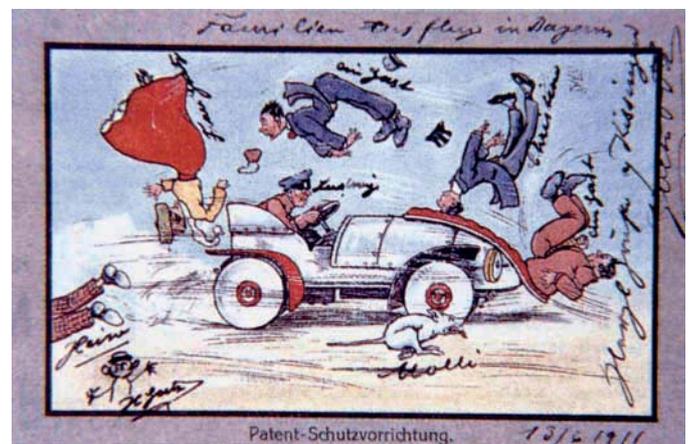


Bild 1. Frühe Darstellung einer „Fußgängerwegwerfvorrichtung“: Die Interaktionen zwischen Mensch und Maschine beschäftigen die Automobilindustrie seit ihrer Gründung (Quelle: DaimlerChrysler)

derungen an den Fußgänger-schutz in Einklang gebracht werden. Zu den Lösungsansätzen zählen, das Haubenschloss weiter nach unten zu verlegen oder konstruktive Maßnahmen für eine gezielte Energieaufnahme über den Stoßfängerüberzug und die Motorhaube zu schaffen.

Doch die seit dem 1. Oktober 2005 geltenden Testverfahren und Grenzwerte sind erst ein Anfang. Bereits heute stellen sich die Entwickler auf die zweite Phase der einschlägigen EU-Direktive 2003/102/EC ein, die ab Oktober 2010 deutlich strengere Anforderungen als heute stellen wird. Und: Anders als heute soll die zweite Phase nicht nur auf die Homologation von Neufahrzeugen, sondern auch für Facelifts und Modellüberarbeitungen anzuwenden sein. Ob die ab 2010 verschärften Grenzwerte nur durch modifizierte Fahrzeugdesigns – wie einen vergrößerten Abstand zwischen Motorhaube und Motorblock – eingehalten werden können, scheint fraglich.

Alternative Entwicklungen zielen deshalb in die Richtung, einen Zusammenstoß mit einem Fußgänger vorherzusagen. Da-

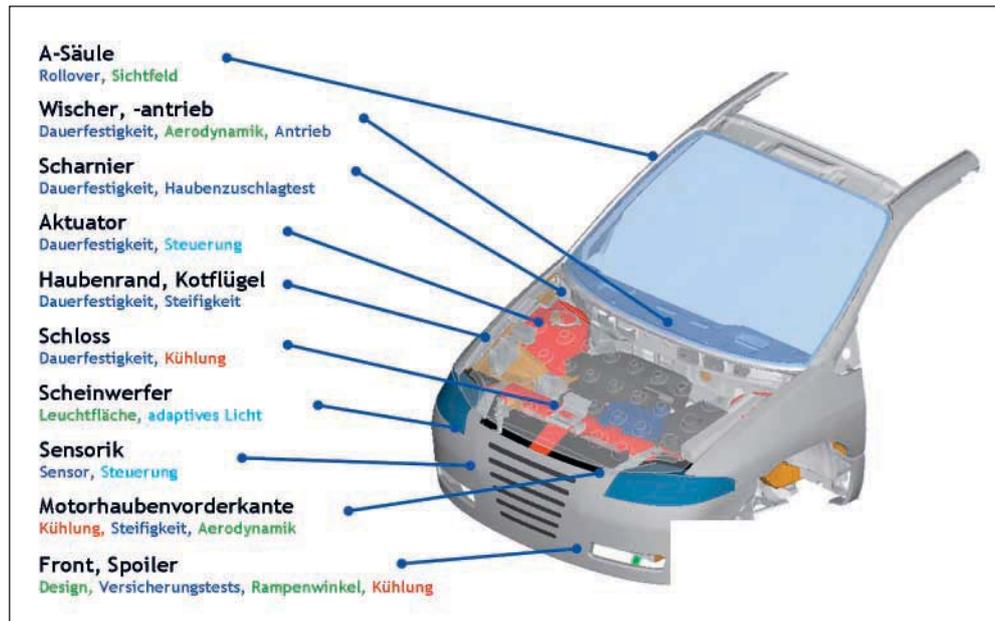


Bild 2. Virtuelles Fahrzeug: Konflikte bei der Entwicklung von Fußgängerschutzsystemen (Quelle: vif)

mit, so die Idee, könnten entsprechende Aktuatoren getriggert und aktive Systeme zum Fußgängerschutz ausgelöst werden. Grundlegende Entwicklungen einer solchen Fußgängerdetektion laufen zurzeit im Ulmer Forschungszentrum von Daimler-Chrysler in Zusammenarbeit mit der Universität Ulm. Das anlässlich der VDI-Tagung „Innovativer Kfz-Insassen- und Partnerschutz“ präsentierte Konzept sieht eine Kombination aus ►

Nahbereichsradar und thermoelektrischen Sensoren in der Frontpartie von Fahrzeugen vor.

Konzepte von Motorhauben und Fahrzeugfront

Auch was die Gestaltung von Systemen für den aktuellen Fußgängerschutz betrifft, zeigen die OEMs und ihre auf Sicherheitssysteme spezialisierten Zulieferer ein großes Maß an Fantasie. So belegt eine aktuelle Patentrecherche unterschiedliche Entwicklungsansätze, die sich in sechs verschiedene Technologien unterteilen lassen.

Vom Konzept eines Hood-Airbags, der Fußgänger weich auffangen soll, abgesehen, betreffen alle Ideen konstruktive Modifikationen der Motorhaube und der Fahrzeugfront. Diese reichen vom Einsatz von Sandwichmaterialien oder Strukturbauteilen zwischen Innen- und Außenhaut bis hin zu integrierten Schwachstellen in den Bauteilen.

Mit gutem Grund: Um lebensrettende Knautschzonen für die schwächsten Verkehrsteilnehmer zu schaffen, lautet das übergeordnete Ziel, Frontend und Motorhaube so zu gestalten, dass sie einen darauf landenden Fußgänger möglichst weich auffangen. Doch aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Motorraum mit Aggregaten, die bis wenige Zentimeter unter die Haube reichen, ist es mit nachgebenden Werkstoffen meist nicht getan (Bild 2).



Bild 3. Konstruktion eines Frontends bei Plastic Omnium in Frankreich: Vermehrte Beschäftigung mit den Parametern zum Fußgängerschutz

(Foto: Plastic Omnium)

Abhilfe schaffen die verschiedenen Ansätze zum „Hood lifting“, bei denen die Motorhaube zunächst ein Stück angehoben wird, um anschließend weich in die Ausgangsposition zurückzugleiten (Titelbild). Selbst Motorhauben, die sich ähnlich einem Katzenbuckel den Fußgängern entgegenwölben, zählen zu den Ideen.

All diesen Technologien ist gemein, dass sie mit einer deutlichen Gewichtszunahme verbunden sind und deshalb von den OEMs neuerliche Anstrengungen erfordern, um durch werkstofflichen und konstruktiven Leichtbau eine ideale Gewichtsverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse zu erreichen.

Dazu kommt, dass die Konzepte zum „Hood lifting“ sensorisch zwar leicht umzusetzen sind, aufgrund der Masse der Motorhauben jedoch hohe Anforderungen an die Aktuatorik stellen.

Beide Argumente begründen bei der Leichtbauindustrie zwischenzeitlich die Erwartung, dass der Fußgängerschutz neuerliche Impulse für die Substitution von Stahlwerkstoffen begründen könnte.

Motorhauben aus Leichtbauwerkstoffen fallen im Schnitt um bis zur Hälfte leichter aus als entsprechende Konstruktionen aus Stahlblech. Damit bieten die Leichtbauhauben das Potenzial, das aus den Fußgängerschutzeinrichtungen resultierende Zusatzgewicht auszugleichen. Überdies tragen möglichst leichte Motorhauben dazu bei, die elektrischen oder pyrotechnischen Aus-

stellmechanismen für das „Hood lifting“ möglichst klein auslegen zu können.

Integrative Simulation mit experimentellen Daten

Einen innovativen Fußgänger-Überfahrerschutz stellten unlängst Opel und BASF vor. Der „Lower Bumper Stiffener“ (LBS) aus Polyamid 6 sitzt hinter dem vorderen Stoßfänger und kann bei einem Unfall mit einem Fußgänger die Möglichkeit schwerer Knieverletzungen verringern.

Zur Entwicklung des LBS setzte BASF ihr neues Verfahren zur integrativen Simulation ein. Durch diese Kombination aus computergestützter Simulation und experimentellen Daten wird die virtuelle Entwicklung von Fahrzeugen wesentlich verbessert. Grund: Die integrative Simulation kann das Verhalten von Kurzglasfaser-verstärkten Kunststoffbauteilen deutlich realitätsnäher abbilden als alle anderen bekannten Verfahren. Denn die integrative Simulation nutzt die Materialparameter des reinen Kunststoffs und die Eigenschaften der Fasern gleichermaßen.

Daraus ergibt sich sowohl die gewünschte Form des Kunststoffteils als auch die optimale Gestaltung des Werkzeugs für die Fertigung. „Nachdem das BASF-Verfahren nahtlos in den Entwicklungsprozess und die Simulationssoftware bei Opel integriert war, konnte der LBS detailliert modelliert und sein Crashverhalten mit bisher nicht erreichter Genauigkeit beschrieben werden“, lobt Dr. Steffen Frik, Gruppenleiter Simulation Passive Sicherheit bei Opel in Rüsselsheim.

Bei Bayer hoffen die Entwickler auf einen neuen Schub für Polyurethan-Schaumstoffsysteme. Der halbharte Schaumstoff dämpft bereits in geringen Schichtdicken effektiv den Aufprall eines auftreffenden Körpers und erlaubt die Konstruktion von Stoßfängersystemen, die keine großen Zugeständnisse an das Fahrzeugdesign erfordern.

Vier Funktionen in einem Kunststoffbauteil

Auch HBPO, das auf Frontends spezialisierte Joint Venture zwischen Hella, Behr und Plastic Omnium war in Sachen Überfahrerschutz aktiv. „SFuse“ (Several Function Stiffener) integriert vier Funktionen in einem Kunststoffbauteil und dient überdies als zweiter Lastpfad zur Aufnahme der Aufprallenergie im unteren Bereich der Fahrzeugfront (Bild 3). „SFuse“ ist Teil eines Frontend-Projekts von HBPO und seinem Partnerschaftsnetzwerk. Es stellt die dritte Entwicklungsstufe bisher üblicher Überfahrerschutzlösungen dar und erfüllt bereits heute die Anforderungen an den Unterschenkelaufprall der Phase 2.

Das neu entwickelte Bauteil wird in einem Stück aus Polypropylen gegossen und kommt ohne Füllmaterial aus. Bei der Kollision eines Fußgängers mit dem Fahrzeug dient „SFuse“ als Überfahrerschutz, indem es dem Körper eine Drehbewegung gibt, sodass der Fußgänger über die Motorhaube abgelenkt und nicht vom Fahrzeug überrollt wird (Bild 4). Da „SFuse“ überdies etwa 30 % der Energie eines Unterschenkelaufpralls aufnimmt, lässt sich die sonst notwendige Verlängerung des Fahrzeugüberhangs für die Anforderungen ab 2010 deutlich verkürzen.

Als weitere Funktionen integriert das Bauteil außerdem die Luftführung für die Motorkühlung und die Bremsluftführung. Gegenüber bisher üblichen einfachen Bauteilen aus Metall lassen sich mit „SFuse“ das Gewicht um 25 % und die Montagezeit um 40 % reduzieren. Bereits vor dem Bau der ersten Modelle lassen sich unter Einsatz von Crashesimulationsver- ▶

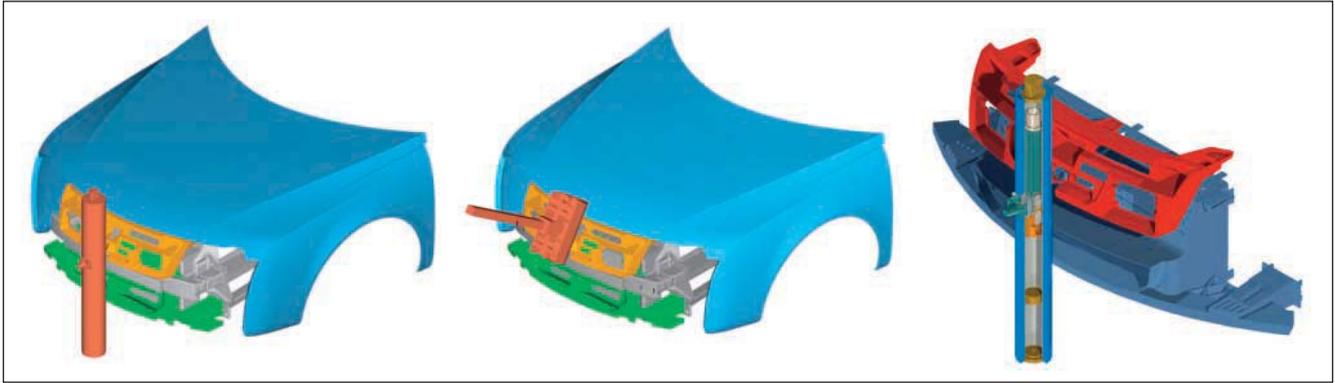


Bild 4. Simulationen des Unter- (links) und Oberschenkelaufralls (Mitte): Viel Konstruktionsarbeit lässt sich mit den Werkzeugen der Digitalen Fabrik (rechts) vereinfachen (Quelle: HBPO)

fahren und dynamischer Materialkennwerte valide Aussagen zum Crashverhalten eines Bauteils machen. Dabei bezieht HBPO in der Simulationsberechnung solcher Aufpralltests das Verhalten von Fahrzeugteilen wie Motorhaube, Kotflügeln oder Stoßfängerabdeckung mit ein. Fahrzeuge mit entsprechend modifizierten Frontends und Scheinwerfern sollen nach Unternehmensangaben bereits in den nächsten Jahren auf den Markt kommen.

Bei der Entwicklung neuer Lösungsansätze für einen verbesserten Fußgängerschutz nutzen die Spezialisten von HBPO auch das Know-how ihrer jeweiligen Muttergesellschaften. So erarbeitete Hella optimierte Scheinwerfer, die durch konstruktive Veränderungen an Gehäuse und Projektionsmodul wesentlich zu

verbesserten Aufpralleigenschaften beitragen. Dabei kann das Verhalten eines Scheinwerfers mit dem eines Tennisschlägers verglichen werden: weich in der Mitte und hart an den Kanten. Zur Aufnahme von Aufprallenergie müssen die Konstrukteure deshalb Raum für das kontrollierte Verdrängen schaffen.

Von Fußgängerschutzsystemen bis Frontschutzbügel

Das gute Abschneiden des Citroën C6 bei der Fußgängersicherheit nach Euro NCAP schreibt sich der französische Zulieferer Faurecia zu. Das Fußgängerschutzsystem kombiniert Energieabsorber am Frontend mit einer aktiven Motorhaube.

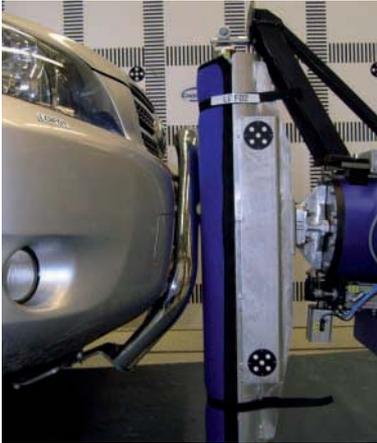


Bild 5. Testanlage zur Fußgängerverträglichkeit von „Bullenfängern“:
Die Zierelemente müssen besonderen Anforderungen an den Fußgängerschutz genügen

(Foto: Concept Technologie)

Selbst bei den Rammschutzbügeln für große SUVs, Geländewagen und Pick-ups zeichnet sich ein neues Einsatzgebiet für innovative Kunststoffanwendungen ab. Was zunächst wenig plausibel klingt, hat seinen Grund ebenfalls in der europäischen Gesetzgebung. Aus Gründen des Fußgängerschutzes sollten Frontschutzbügel zunächst verboten werden. Doch die einschlägigen EU-Richtlinien 2005/66/EG und 2006/368/EG sehen auch weiterhin eine Zulassungsfähigkeit vor, sofern die „Bullenfänger“ detaillierten Anforderungen an den Fußgängerschutz entsprechen (Bild 5). Dies wiederum setzt voraus, dass die Hersteller strenge geometrische Bestimmungen einhalten und durch exakt definierte Aufpralltests nachweisen, dass sie auch mit den Frontschutzbügeln bestimmte Parameter bei einem Zusammenstoß mit Fußgängern nicht überschreiten.

Solche „Frontschutzbügel“ verkommen zwar in ihrer Funktionalität zum reinen Designelement, bieten aber einen breiten Ansatzpunkt zur Werkstoffsubstitution bei den bisherigen Edelmetallanwendungen.

Der Markt wächst

Die Initiative der Automobilindustrie für den Fußgängerschutz geht einher mit einer wachsenden Sensibilisierung der Endverbraucher für sicherheitsrelevante Themen. So erwartet eine Studie der Mercer Management Consulting, dass der Gesamtmarkt für Fahrzeugsicherheit von heute 48 Mrd. EUR bis 2010 auf etwa 62 Mrd. EUR anwachsen wird. Die größte Chance, von diesem Kuchen zu profitieren, haben nach Einschätzung von Mercer integrierte Zulieferer wie TRW, Delphi, ZF, Bosch oder Continental, die ganze Sicherheitssysteme liefern. ■

DER AUTOR

STEFAN SCHLOTT ist freier Journalist mit Schwerpunkt Automobilindustrie; redaktion_schlott@gmx.net.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Crumple Zones for Pedestrians

PEDESTRIAN PROTECTION. *The countdown to pedestrian protection continues. Since October 2005, all newly approved vehicles have had to incorporate suitable protective systems. But the industry is already looking ahead to the second phase, which will apply from 2010.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103754** on our website at www.kunststoffe-international.com

Scheinwerferkomponenten aus Duroplast

Design. Kfz-Scheinwerfer neuester Generation sind für den Laien in erster Linie designgetriebene Elemente, die in Fahrzeugkarosserien das markentypische Aussehen beeinflussen. Die Komplexität dieser Produkte hinsichtlich lichttechnischer, mechanischer sowie thermischer Aspekte

ist nicht wahrnehmbar. Das Beispiel eines Tragrahmens aus ungesättigten Polyesterharzen zeigt die konstruktive Lösung mechanischer Problemstellungen.



Tragrahmen aus BMC (Bulk Molding Compounds) mit Lichtmodulen

ELMAR MORITZER

In vielen Bereichen der Automobilindustrie nehmen thermoplastische Kunststoffe eine führende Stellung ein. Neben Massenkunststoffen wie Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polystyrol (PS) geht die Materialauswahl bis hin zu hochtemperaturbeständigen Polyetheretherketonen (PEEK) und Polyethersulfonen (PES). Diese sind je nach Anwendungsfall noch spezifisch modifiziert. Häufig sind hier jedoch die thermischen und mechanischen Grenzwerte des thermoplastischen Materials erreicht, so dass es überproportionaler Anstrengungen bei der Modifizierung bedarf, um dem Anforderungsprofil gerecht zu werden.

Aus diesem Grund werden alternativ in Kfz-Scheinwerfern der neuesten Generation duroplastische Materialien eingesetzt, da sie über deutlich höhere Temperaturbeständigkeiten sowie mechanische Festigkeiten verfügen. Insbesondere Rezepturen, bei denen mit definierten Faseranteilen die Steifigkeiten entsprechend hoch liegen, bieten eine Alternative zu thermoplastischen Materialien. Die für unterschiedliche Anwendungsfälle speziell konfektionierten Rezepturen werden in großen Mengen für die Verarbeitung aufbereitet. Die so genannten Bulk Molding Compounds (BMC) weisen durch relativ einfache Bereitstellbarkeit in großen Mengen generell ein Potenzial gegenüber

thermoplastischen Werkstoffen auf. Spritzgieß- und Spritzpressformmassen besitzen als Verstärkungszusatz kurze und zum Teil mittellange Fasern. Von der Beschaffenheit her sind sie schnitzel-, stäbchen- oder granulatartig [1]. In Scheinwerfern heutiger Bauart findet man BMC in der Regel bei lichtaktiven Flächen der Reflektoren. Im nachfolgenden Beitrag wird BMC als Material für konstruktive Lösungen, die nicht direkt lichtwirksam sind, vorgestellt. Beispiel sind Kfz-Scheinwerfer der jüngsten Generation.

Anforderungen an Werkstoff und Eigenschaften

Die Hersteller von Scheinwerfern in Europa verfügen über eigene BMC-Rezepturen, die als firmenspezifisches Know-how nicht nach außen gegeben werden.

Generell basieren solche Scheinwerfer jedoch auf ungesättigten Polyesterharzen [1]. Als Trägerwerkstoff kommt Kalksteinmehl zum Einsatz, das über eine entsprechende Reinheitsklasse verfügt. Von Bedeutung ist hier besonders die Reinheit hinsichtlich bestimmter Metalloxidverbindungen, da diese bei spritzgießfähigen Typen für ungewollte Verdickungsneigung und anderweitige Probleme sorgen.

Das bei der Hella KGaA, Lippstadt, im Einsatz befindliche Material ist hinsichtlich Schwindungsneigung so modifiziert, dass das Bauteil exakt die Werkzeugabmaße nach der Entformung wiedergibt. Dies gelingt durch beigemengte Thermo-



Bild 1. Zu hoher Anteil an Glasfasern: Sprödebruch eines glasfaserverstärkten BMC-Bauteils



Bild 2. Konstruktion: Fachwerkausführung eines Tragrahmens aus BMC



Bild 3. Werkzeugbau: niedrige Zerklüftung bei BMC-Formteilen

plaste. Diese unterdrücken physikalisch die Schwindung des Duroplasten während der Vernetzungsreaktion und der daraus resultierenden Vernetzungsschwindung infolge Temperatur und Volumenausdehnung. Das so compoundierte Material ist jedoch wenig resistent hinsichtlich mechanischer Beanspruchungen [2]. Erst das Einmischen von Glasfasern definierter Größe und Menge verleiht dem Duroplast die notwendigen Eigenschaften nach der Verarbeitung. Der Elastizitätsmodul steigt nahezu linear mit dem Füllgrad an Glasfasern. Daraus resultiert in gleicher Weise der Anstieg der Zugfestigkeit.

Ist der Glasfaseranteil zu hoch, sinkt die Steifigkeit und der Trägerwerkstoff wird geschwächt. Schlagzähigkeit und Bruchdehnung sinken mit zunehmendem Glasfaseranteil, wobei das Material bei Bruch Merkmale vom Spröbruch im Bruchbild aufweist. Dies zeigt Bild 1 an einem unter definierter Last gebrochenen Scheinwerfer-Tragrahmen.

Material	E-Modul [MPa]
BMC (UP-GF)	~ 14 000
PET-GF 15	~ 9000
PA-GF 25	~ 8000
PBT+ASA-GF 20	~ 7500
PA+PPO-GF 20	~ 6000

Tabelle 1. Materialspezifische Übersicht der E-Module [3]

Insgesamt betrachtet, liegt die Steifigkeit des BMC deutlich über den Werten von hoch gefüllten Thermoplasten, die ähnliche Einsatzgebiete bedienen. Dies stellt Tabelle 1 anhand unterschiedlicher E-Module dar. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die aus BMC gefertigten Bauteile über die Rezeptur in Kombination mit den Verarbeitungsparametern verzugsfrei musterbar sind. Von Nachteil ist, dass die im Scheinwerfer verwendeten BMC bei relativ niedrigen Temperaturen zu Ausgasungen neigen. Dem kann im Bedarfsfall durch Sperrschichtlackierungen begegnet werden.

Alternativen für Reflektoren und Tragrahmen

Traditionelles Einsatzgebiet von BMC in Scheinwerfern sind Reflektoren für die Hauptlichtfunktionen des Fern- und Abblendlichts. Aufgrund der installierten Lampenleistung sind Temperaturspitzen von 150 bis 160 °C im direkten Nahbereich der Lampe bei insgesamt relativ kleinem Bauvolumen existent. BMC hat hier Blechreflektoren ablösen können, da es die entsprechende Temperaturresistenz aufweist. Darüber hinaus wurden Formgeometrien, mit denen heutige Lichttechnik abgebildet wird, erst durch Freiheitsgrade infolge des Spritzgießens möglich.

Ein weiteres Einsatzgebiet für BMC bei Scheinwerfern erschließt sich für tragende Bauteile. Heutige Lichtmodule, mit denen Scheinwerfer modernster Bauart bestückt sind, bedürfen infolge ihrer höheren Masseanhäufung eines besonderen Augenmerks hinsichtlich der Befestigung. Infolge der durch das Fahrzeug erzeugten Schwingungen bedarf es besonderer Sorgfalt beim Anbringen der lichterzeugenden Einheiten, um das Lichtzittern weitestgehend zu eliminieren. Hier kann der erste Schritt bei der Auslegung die Auswahl des richtigen Materials – beispielsweise BMC – sein. Die hohen Festigkeiten, gepaart mit präziser Maßhaltigkeit der hergestellten Formteile, bieten eine technisch hochwertige Alternative zu thermoplastischen Materialien. Das Titelbild zeigt eine Scheinwerferlichteinheit mit einem aus BMC gefertigten Tragrahmen, wie er in Scheinwerfern neuerer Generation zum Einsatz kommt.

Konstruktive und verfahrenstechnische Gestaltungsmerkmale

Bei der Auslegung von Kunststoffbauteilen aus BMC gelten in einigen Bereichen die gleichen Kriterien wie bei der konstruktiven Gestaltung von glasfasergefüllten Thermoplastbauteilen. Aufgrund der

verfahrenstechnischen Besonderheiten sind jedoch einige Aspekte anders zu bewerten.

Obwohl es Anwendungsfälle gibt, bei denen BMC-Tragrahmen über Hinterschnitte verfügen, ist dies aus werkzeugspezifischer Sicht zu vermeiden. Die mit den Hinterschnitten in die Werkzeuge zu integrierenden Schieber weisen wegen der vor dem Vernetzungsprozess sinkenden Materialviskosität und der daraus resultierenden Gefahr des glasfasergefüllten Materialeintrags in die Schieberführung erhöhtes Verschleißpotenzial auf.

i	Anwender
<p>Hella KGaA Hueck & Co. Rixbecker Str. 75 D-59552 Lippstadt Tel. +49 (0) 29 41/38-1521 Fax +49 (0) 29 41/38-1823 www.hella.de</p>	

Die Ausführung von Versteifungsrippen verhält sich ähnlich der Gestaltungsrichtlinie für thermoplastische Materialien. Dabei sind Fachwerkausführungen, wie in Bild 2 dargestellt, anzustreben.

Bei der Rippendicke auf der Blindseite kann jedoch ohne nennenswerte Gefahr von erkennbaren Einfallstellen auf der Sichtseite die gleiche Wanddicke wie beim Grundträger angesetzt werden (s. Bild 2). Bei den Auszugsschrägen ist jedoch besonderes Augenmerk gefragt. Durch die Schwindungsunterdrückung im Material löst sich das Bauteil nicht von der Werkzeugwand und lässt sich demzufolge nur schwer entformen. Erleichtert wird dies nur mit ausreichend großen Entformungsschrägen, von denen mindestens zwei vorhanden sein müssen. Aus dem gleichen Grund ist der Gesamtbauteilversatz hinsichtlich der Bauteilhöhe limitiert. Bauteile dürfen hier ein definiertes Wanddicken-Höhen-Verhältnis nicht überschreiten. Demzufolge sind sie mög-

lichtst planar in der Höhenkoordinate zu halten. Bild 3 stellt dies am Bauteil schematisch dar.

Der Grad der Zerklüftung im Spritzgießwerkzeug muss demzufolge gering sein. Entformungsadditive in der Rezeptur helfen hier nur zum Teil, die Entformung zu verbessern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, über Thermoplastbestandteile der Rezeptur die Schwindungsneigung zu beeinflussen. ■

LITERATUR

- 1 Grauck, B.; Fründt, P.: Einstieg in die Kunststoffchemie. 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien 1991
- 2 Hella-interne Studie zu LPP-Typen im Scheinwerfer 1997
- 3 Menges, G.: Werkstoffkunde Kunststoffe. 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien 1990

DER AUTOR

DR.-ING. ELMAR MORITZER, geb. 1965, ist bei der Hella KGaA, Lippstadt, als Vice President BD Headlamps tätig; elmar.moritzer@hella.com.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Headlight Components made from Thermoset Material

STYLING. *The latest generation of automotive headlamps are primarily styling-driven elements designed for the layman. In car bodies, they help create the typical appearance of a car marque. The complexity of these products in terms of their optical, mechanical and thermal design aspects is hidden from view. The example of a headlight holder made from unsaturated polyester resins shows how mechanical design problems were solved.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103755** on our website at

Vier Zentimeter breite, quadratische
LED-Fokussieroptik aus Polycarbonat mit
Freiformfläche (Foto: LPI)



Linsensystemen von LEDs aus Polycarbonat

Materialentwicklung. Light Emitting Diodes (LEDs) sind die Lichtquellen der Zukunft. Um ihre Leuchtkraft optimal zu nutzen, müssen sie mit speziellen Linsensystemen ausgestattet werden. Zu deren Fertigung bietet sich Polycarbonat an. Am Know-how für spezielle Materialien und Verfahren wird derzeit intensiv gearbeitet.

MARTIN DÖBLER
FRANK SCHIEMANN

Mitte der 90er-Jahre gelang es, LEDs herzustellen, die auch weißes Licht abstrahlen. Seitdem hat eine stürmische Entwicklungsarbeit bei LEDs eingesetzt. Allgemein wird davon ausgegangen, dass sie im Vergleich zu Glüh- und Entladungslampen einen höheren Wirkungsgrad (geringerer Energieverbrauch) und eine längere Lebensdauer (geringere Wartungskosten) haben werden. Deshalb ist zu erwarten, dass sie künftig auf breiter Ebene – zum Beispiel in Straßenlaternen, Flüssigkristallbildschirmen, Werbetafeln, Autoscheinwerfern und auch in der Gebäudebeleuchtung – zum Einsatz kommen.

LEDs strahlen diffuses Licht mit vergleichsweise geringer Leuchtdichte ab. Sie müssen daher mit Optiken ausgestattet werden, die das Licht optimal ohne große Verluste fokussieren. Große Zukunft haben dabei Linsen mit so genannten Freiformflächen, die Geometrien ohne Symmetrie aufweisen (Titelbild) und sich aus der nicht-abbildenden Optik ableiten. Im Gegensatz zu klassischen Linsensystemen, die sich in der Regel aus mehreren Komponenten zusammensetzen, reicht eine dieser neuartigen Linsen aus, um das Licht zu fokussieren. Dabei bleiben nicht nur die Lichtverluste gering, vielmehr resultiert auch ein sehr kompakter, einfacher und montagefreundlicher Aufbau der LED-Leuchte.

Funktionsintegration und höhere Produktivität

Transparente Polycarbonate (PC) wie Makrolon von Bayer MaterialScience bieten sich als Material für diese Fokussieroptiken an. Denn mit ihrer hohen Wärmeformbeständigkeit von bis zu 130 °C sind sie den maximalen Betriebstemperaturen in einer LED gewachsen. Gegenüber Glas haben sie neben einem deutlich geringeren Gewicht den Vorteil, dass die sehr komplexen Geometrien dieser Linsen wirtschaftlicher im Spritzgießen gefertigt werden können. Wird außerdem das Potenzial zur Funktionsintegration genutzt, das Kunststoffe bieten, ergeben sich weitere Möglichkeiten zur Kostensenkung. So könnten beispielsweise mit Hilfe des Mehrkomponentenspritzgießens Gehäusekompo-

nenten, Befestigungen oder Führungen in das Linsenbauteil aus PC integriert werden.

Potenzielles thermoplastisches Konkurrenzmaterial von PC in diesem Anwendungssegment ist vor allem Polymethylmethacrylat (PMMA). Die Transmission bzw. Transparenz beider Thermoplaste ist ähnlich hoch. Auch stehen von PC mittlerweile Materialeinstellungen zur Verfügung, deren Farbneutralität an die von PMMA heranreicht. Entscheidender Vorteil von PC gegenüber PMMA ist die deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit. Dies ist vor allem deshalb so wichtig, weil Optiken mit Freiformflächen Bereiche mit Wanddicken von mehr als 10 mm und zudem große Wanddickenunterschiede aufweisen. Weil die Wanddicke quadratisch in die Kühlzeitformel eingeht, müssen bei der Fertigung dicker Kunststoffoptiken

Wärmeleitfähigkeit

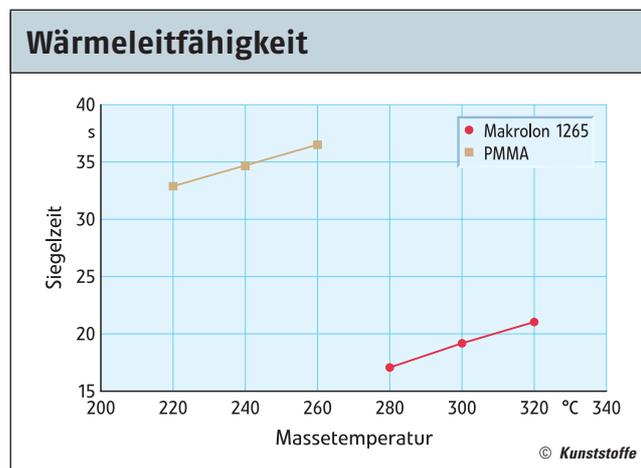


Bild 1. Vergleich der Siegelzeiten von PMMA und Polycarbonat (Makrolon 1265), gemessen an 4 mm dicken, spritzgegossenen Platten

sehr lange Zykluszeiten von teilweise mehreren Minuten in Kauf genommen werden. Wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit von PC sind im Vergleich zu PMMA die Kühl- und damit Zykluszeiten deutlich kürzer, was eine wesentlich höhere Produktivität bedeutet. So ergaben vergleichende Versuche bei Bayer Material-

reitzustellen. Denn die komplexen Optiken müssen mit hoher Präzision gefertigt werden. Die Abweichungen dürfen je nach Anwendung teilweise nur wenige Mikrometer betragen, um die optische Aberration klein zu halten. Zurzeit investiert das Unternehmen daher in eine Anlage für Ultrapräzisions-spritzgießen und

how von Hochschulen, Forschungsinstituten und anderen Unternehmen. So besteht zum Beispiel eine Kooperation mit der Firma Light Prescriptions Innovators (LPI), Altadena, CA/USA, einem der führenden Entwickler, Hersteller und Lizenzgeber von optischen Komponenten in der nicht-abbildenden Optik. ■

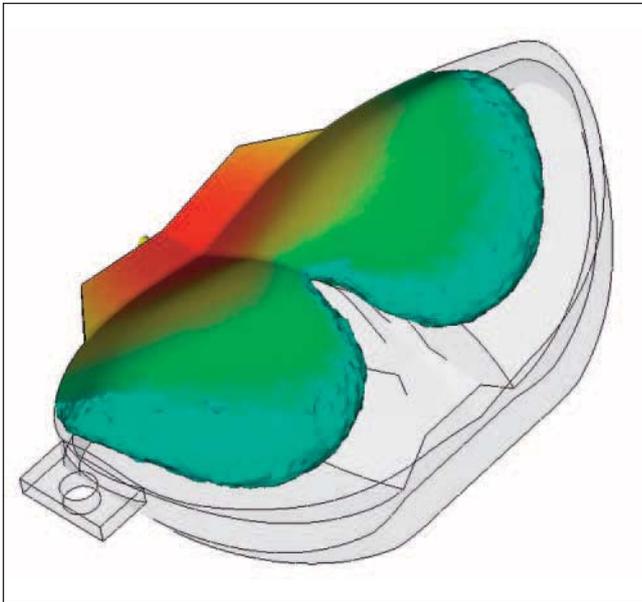


Bild 2. Simulation der Formteifüllung für eine Fokussieroptik aus Polycarbonat

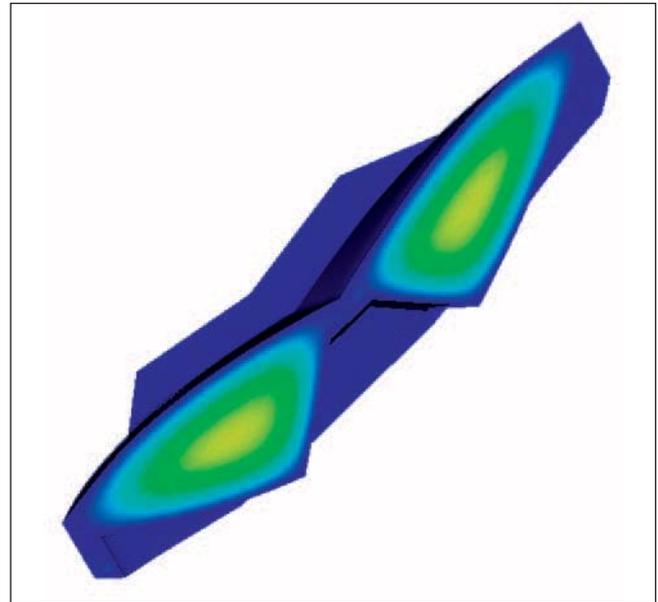


Bild 3. Simulation der Volumenschwindigkeit für eine Fokussieroptik aus Polycarbonat

Science mit 4 mm dicken Probekörpern (Platten), dass PC bis zu doppelt so schnell entformbar ist wie PMMA (Bild 1).

Weitere Stärken von PC als Material für Fokussieroptiken sind die hohe Schlagzähigkeit, die den Linsen Robustheit verleiht, und die hohe Maßhaltigkeit im Mikrometerbereich. Die hohe Wärmeformbeständigkeit ermöglicht den Einsatz in kompakten Leuchten mit hohen Innentemperaturen und stellt zudem sicher, dass die Linsen problemlos mit Anti-Reflex- oder Metall-Beschichtungen versehen werden können.

Schwerpunkt: Materialien und Präzisions-spritzgießen

Als einer der ersten Kunststoffproduzenten hat Bayer MaterialScience mit Forschungsarbeiten zu Fokussieroptiken aus PC begonnen. Ziel ist, künftigen Entwicklungspartnern und Verarbeitern einen umfangreichen Support geben zu können, der vom Design der Optiken über den Werkzeugbau bis hin zur Serienproduktion reicht. Die Aktivitäten haben zwei Schwerpunkte. Ein Fokus liegt auf der Materialentwicklung. Eine weitere Herausforderung besteht darin, eine geeignete Verarbeitungstechnologie be-

Spritzprägen inklusive passender Werkzeuge sowie in Messtechnik zur Beurteilung der Qualität von Fokussieroptiken. Außerdem wurden spezielle rheologische Berechnungsprogramme angeschafft, die speziell für sehr dicke Spritzgussbauteile mit extremen Wanddickensprüngen ausgelegt sind. Mit ihnen können beispielsweise die Formteifüllung berechnet (Bild 2), die Lage von Bindenähten und Luft einschüssen bestimmt, die Volumenschwindigkeit ermittelt (Bild 3), der Verzug minimiert oder das Überspritzen von Hartkomponenten mit weichen Materialien simuliert werden. Grundsätzlich werden die Ergebnisse rheologischer Berechnungen mit der Praxis abgeglichen.

Großen Wert legt Bayer MaterialScience außerdem auf externes Know-

DIE AUTOREN

DR. MARTIN DÖBLER, ist im Technical Product Service für optische und medizinische Anwendungen im Business Development des Geschäftsfelds Polycarbonates bei der Bayer MaterialScience AG, Leverkusen, tätig.

DIPL.-ING. FRANK SCHIEMANN, arbeitet in den Bereichen Technical Management für den Kfz-Innenraum und optische Anwendungen im Business Development des Geschäftsfelds Polycarbonates im gleichen Unternehmen.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Polycarbonate Lenses for LED Lighting

MATERIAL DEVELOPMENT. Light emitting diodes (LEDs) are regarded as the illuminants of the future. They have to be fitted with special (customised) lenses to optimise their luminosity. For this purpose, polycarbonate is a suitable material. At present, the development of expertise in special materials and techniques is the focus of intensive effort.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103748** on our website at www.kunststoffe-international.com

i	Hersteller
<p>Bayer MaterialScience AG Media Relations, Trade & Technical Press D-51368 Leverkusen Tel. +49 (0) 2 14/30 72536 Fax +49 (0) 2 14/30 66426 www.bayerbms.com</p>	

Sicherer Verbund. Um die komplexen Anforderungen an mechanische und chemische Eigenschaften, Permeationsverhalten und rationelle, kostengünstige Fertigung zu erfüllen, werden im Automobil mehrschichtig aufgebaute, coextrudierte Kraftstoffleitungen mit PA 12-Außenschichten eingesetzt. Eine neue Generation von Kraftstoffleitungen basiert auf PA 12-Formmassen und einem spezifischen Haftvermittler, der die Kompatibilität zur eingesetzten EVOH-Sperrschicht bei den geforderten Test- und Einsatzbedingungen zuverlässig gewährleistet.

Mehrschichtrohre für Kraftstoffleitungen



Benzinleitung des Opel Omega

© KU103747

KARL KUHMANN

Bereits seit vielen Jahren werden Kraftstoffleitungen aus Polyamid 12 (PA 12) erfolgreich im Automobil eingesetzt (Titelbild). Im Vergleich zu den weitgehend substituierten Metallrohrleitungen zeigen extrudierte Kunststoffleitungen Vorteile aufgrund der Korrosionsbeständigkeit und der Gewichtsreduzierung. Weitere Vorteile bestehen in kostengünstiger Verarbeitung sowie einfacher Montage durch die relativ gute Biegsamkeit bei Einsatz weichgemachter Kunststoffe oder von Wellrohren.

Die Entwicklungsziele der Automobilhersteller werden unter anderem durch die zunehmend strenge Emissions-

gesetzgebung geprägt. Es werden maximal zulässige Kohlenwasserstoffemissionen (HC-Emissionen) für das Gesamtfahrzeug festgeschrieben. Aus diesen Grenzwerten werden schließlich zulässige Werte für das Kraftstoffsystem bzw.

einzelne Komponenten des Kraftstoffsystems abgeleitet. Ein PZEV-Fahrzeug (Partial Zero Emission Vehicle) darf beispielsweise maximal 54 mg pro Tag an HC-Emission aus dem Kraftstoffsystem aufweisen [1]. Diese Anforderungen werden durch den Einsatz von Werkstoffverbunden mit geeigneten Sperrschichtkunststoffen in mehrschichtigen Kunststoffkomponenten (z. B. Leitungen und Tanks) erfüllt.

Die heute eingesetzten Kraftstoffleitungen basieren auf coextrudierten Sperrschichten u. a. auf Basis von

- Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH),
- Polybutylenterephthalat (PBT),
- Polyvinylidenfluorid (PVDF) und

i	Hersteller
<p>Degussa AG High Performance Polymers Paul-Baumann-Str. 1 D-45764 Marl Tel. +49 (0) 23 65/49-9292 Fax +49 (0) 23 65/49-5992 www.degussa-hpp.de</p>	

■ Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE).

Diese Sperrschichten unterscheiden sich in ihren Eigenschaften und teilweise auch erheblich im Preis. Insbesondere die Fluorkunststoffe können volumenbezogen um mehr als das Zehnfache teurer als die EVOH-Formmassen sein.

Abhängig von der Zusammensetzung des eingesetzten Testkraftstoffs differieren auch die Permeationsraten der genannten Sperrschicht-Kunststoffe. Während die Fluorkunststoffe PVDF und ETFE im Vergleich zu EVOH eine bessere Sperrwirkung gegen methanolhaltige Kraftstoffe aufweisen, ist EVOH insbesondere dann die zu bevorzugende Sperrschicht, wenn ethanolhaltige Kraftstoffe zur Anwendung kommen.

Ethanol wird in zukünftigen kommerziellen Kraftstoffen verstärkt eingesetzt. Gleichmaßen werden die Permeationseigenschaften nach den relevanten Prüfvorschriften, z. B. nach SAE J2260 [2], mit ethanolhaltigen Kraftstoffen (CE10) ermittelt. Zur Prüfung der Beständigkeit dient bisher noch häufig methanolhaltiger Testkraftstoff (CM15). Permeationsmessungen werden auf Basis von Kraftstoff-Prüfkreisläufen (SAE J1737 [3]) und auf Basis so genannter statischer Methoden z. B. in Anlehnung an SAE J30 [4] durchgeführt.

Sichere Haftung zwischen den Schichten

Neben einer möglichst guten Sperrwirkung gegen relevante Kraftstoffe liegt eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung mehrschichtiger Kraftstoffleitungen in der sicherzustellen der zuverlässigen Haftung zwischen den einzelnen Schichten. Diese muss auch nach Wärmelagerung, Kraftstoff-Prüfkreisläufen und Montage von Quickverbindern ausreichende Mindestwerte zeigen. Die SAE J2260 beispielsweise fordert nach

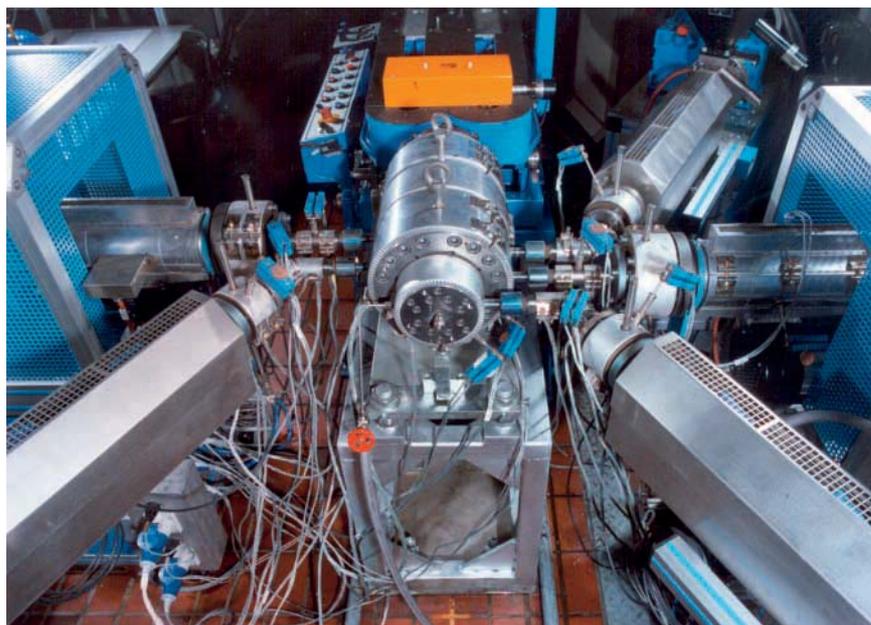


Bild 1. Fünf-Schicht-Coextrusionsanlage für Entwicklungsarbeiten im Anwendungstechnikum von Degussa High Performance Polymers

Kraftstofflagerung mindestens Werte von 1 N/mm, ein Wert, der aus Sicht einiger OEM jedoch deutlich übertroffen werden sollte.

Weitere Anforderungen beziehen sich auf die chemische Beständigkeit, die mechanischen Eigenschaften (vor allem die Kälteschlagzähigkeit) und die Konfektionsfähigkeit des Systems. Insbesondere bei Anwendungen in den USA werden zudem leitfähige Innenschichten bei Kontakt mit fließendem flüssigen Kraftstoff gefordert. Hier dürfen nach SAE J2260 gemessene Oberflächenwiderstände einen Wert vor und nach Kraftstofflagerung von 10⁶ Ohm/square nicht überschreiten. Dagegen werden in Europa noch immer überwiegend nicht leitfähige Kraftstoffleitungen eingesetzt.

Neue Entwicklungen im Bereich der Kunststoffkraftstoffleitungen müssen heute nicht nur die genannten technischen Anforderungen erfüllen, sondern möglichst eine bessere technische Per-

formance bei gleichen oder verringerten Kosten im Vergleich zu bisherigen Systemen realisieren. Dies kann nur durch eine Optimierung des Rohraufbaus hinsichtlich (Sperrschicht-)Werkstoff, Schichtdicken und Anordnung der Schichten umgesetzt werden [5].

Vor dem Hintergrund der genannten Anforderungen wurde von Degussa High Performance Polymers eine neue Generation von Mehrschichtrohren entwickelt, die auf der bewährten EVOH-Sperrschicht und einem speziell auf gute mechanische Eigenschaften sowie zuverlässige Haftung ausgelegten Haftvermittlersystem basiert. Der polyamidbasierte Haftvermittler ist u. a. aufgrund des erhöhten Temperaturbereichs bezüglich der mechanischen Eigenschaften vor allem bei den im Motorraum künftig weiter zunehmenden Temperaturen einem polyolefinischen Haftvermittler überlegen.

Entsprechend den unterschiedlichen regionalen Anforderungen und Spezifikationen stehen eine leitfähige sowie eine nicht leitfähige 5-Schichtvariante (Mehrschichtrohr MSR 4540 bzw. MSR 4500) und eine nicht leitfähige, besonders kostengünstige 4-Schichtvariante mit PA 6-Innenschicht (MSR 4300) zur Verfügung (Tabelle 1). Hier ist zu berücksichtigen, dass der Einsatz von PA 6 in Verbindung mit metallischen Komponenten und Streusalz nicht unproblematisch ist. Vorteilhaft ist dagegen der relativ geringe Materialpreis von PA 6. Alle Rohrkonstruktionen basieren prinzipiell auf dem gleichen äußeren Schichtenaufbau PA 12/Haftvermittler/EVOH. Als

Schicht/Material	Handelsname	MSR 4300 [mm]	MSR 4500 [mm]	MSR 4540 [mm]
PA12-Außenschicht	Vestamid X7297 (*)	0,30	0,325	0,45
PA-Haftvermittler	Vestamid SX8002	0,10	0,10	0,10
EVOH	EVAL FP 101 B	0,15	0,15	0,15
PA-Haftvermittler	Vestamid SX8002	–	0,10	0,10
PA6-Innenschicht	Vestamid SX8001	0,45	–	–
PA12-Innenschicht	Vestamid X7297 (*)	–	0,325	–
PA12-Innenschicht, leitfähig	Vestamid LX9110	–	–	0,2

(*) alternativ Verwendung von Vestamid LX 9002 möglich

Tabelle 1. Aufbau der EVOH-Mehrschichtrohre (Angaben der einzelnen Schichtdicken für eine Rohrdimension von 8 x 1 mm)

Eigenschaften	Prüfab-schnitt SAE J 2260	4300.1	4500.1	4540.1	
minimaler Biegeradius	mm	7,3	40	40	40
Berstdruck	bar				
– bei 23 °C		7.1	78	86	92
– bei 115 °C		7.2	24	24	26
– nach Schlagprüfung		7.5	76	84	91
– nach Zinkchloridlagerung (50%-Lösung, 200 h, 23 °C)		7.12	–	90	96
Zinkchloridbeständigkeitstest		7,12	nicht bestanden	bestanden	bestanden
Schlagzähigkeit bei 40 °C	Anzahl Brüche				
– extrusionsfrisch		7.5	0/10	0/10	0/10
– nach CM15-Prüfkreislauf (1000 h, 60 °C)		7.7	0/10	0/10	0/10
– nach Sourgas Prüfkreislauf (1000 h, PN50, 40 °C)		7.8			
– nach Prüfkreislauf (10 000 h, 60 °C) CM15A	**		0/5	0/5	0/5
FAM B			–	0/10	0/10
			0/10	-	-
Oberflächenwiderstand	Ω/sq	7,9			
– extrusionsfrisch			–	–	<10 ⁶
– nach Schlagprüfung			–	–	<10 ⁶
– nach Fuel C Prüfkreislauf (1000 h / 60 °C)		7.5	–	–	<10 ⁶
		7.6	–	–	<10 ⁶
Zugfestigkeit	MPa	A.4	31	29	32
Reißdehnung	%	A.4	> 150	> 150	> 150

** Lagerung ist in SAE J2260 nicht gefordert

Tabelle 2. Zusammenstellung ausgewählter Rohreigenschaften (Glatrohrdimension 8 × 1 mm)

Außenschicht wird ein weichgemachtes, schlagzähmodifiziertes PA 12 (Typ: Vestamid, Hersteller: Degussa AG, Marl) eingesetzt.

Von entscheidender Bedeutung für die mechanischen Eigenschaften des Mehrschichtrohrs ist bei guter Haftung die konstruktive Auslegung des Werkstoffverbunds, vor allem die räumliche Anordnung der spröderen EVOH-Sperrschicht. Optimal bei Biege- und Schlagbeanspruchung ist in der Regel eine mittige, zentrale Anordnung dieser Schicht, die im Wesentlichen bei den MSR 4300 und MSR 4500 umgesetzt wurde. Beim

MSR 4540 wurde die Einhaltung von möglichst geringen Haftvermittler- und Innenschichtdicken bei gleichzeitig guter Schlagzähigkeit angestrebt. Weitere Berücksichtigung bei der Werkstoffauswahl und Auslegung des MSR-Systems findet das ggf. unterschiedliche Quellungsverhalten der einzelnen Schichten bei Kraftstoffkontakt.

Gute Extrusionseigenschaften und bessere Sperrwirkung

Die Produkt- und Verarbeitungseigenschaften der Mehrschichtrohre wurden in

Technikumsversuchen auf 5-Schicht-Coextrusionsanlagen und Degussa-Prüfeinrichtungen untersucht (Bild 1).

Die in der Entwicklung eingesetzte Coextrusionsanlage der Bellaform Extrusionstechnik GmbH, Ingelheim, wurde gemeinsam mit Degussa High Performance Polymers für Entwicklungsarbeiten optimiert. Das 5-Schicht-Coextrusionswerkzeug der Eta Kunststofftechnologie GmbH, Troisdorf, basiert auf einem Wendelverteilerprinzip, das eine gleichmäßige und reproduzierbare Schichtenverteilung auch bei z. T. unterschiedlichem Fließverhalten der einzelnen Schmelzeschichten gewährleistet. Die Rohre wurden bei einer Extrusionsgeschwindigkeit von 20 m/min gefertigt. Weitere Technikums- und Kundenversuche haben eine für die Produktion relevante, deutlich höhere Extrusionsgeschwindigkeit nachgewiesen.

Tabelle 2 zeigt am Beispiel ausgewählter Prüfergebnisse die ausgewogenen anwendungstechnischen Eigenschaften von entsprechenden Glatrohrleitungen. Diese sind sowohl im extrusionsfrischen Zustand als auch nach Lagerungen auf dem geforderten hohen Niveau. Die seitens der Systementwickler und OEM besonders kritisch betrachtete Kälteschlagzähigkeit zeigt selbst nach langen Prüfkreisläufen z. B. nach 10 000 h mit dem Prüfkraftstoff CM15A keinen Ausfall (0 Brüche von 10 bzw. 5 geprüften Rohrproben).

Im Vergleich zu PVDF-basierten MSR bestätigt sich die deutlich bessere Sperrwirkung gegen ethanolhaltige Kraftstoffe. Mit zunehmendem Ethanolgehalt nimmt die Permeation zu. Dagegen ist die Permeationssperre gegenüber methanolhaltigem Testkraftstoff bei einem PVDF-Mehrschichtrohr besser als bei der EVOH-Konstruktion (Tabelle 3).

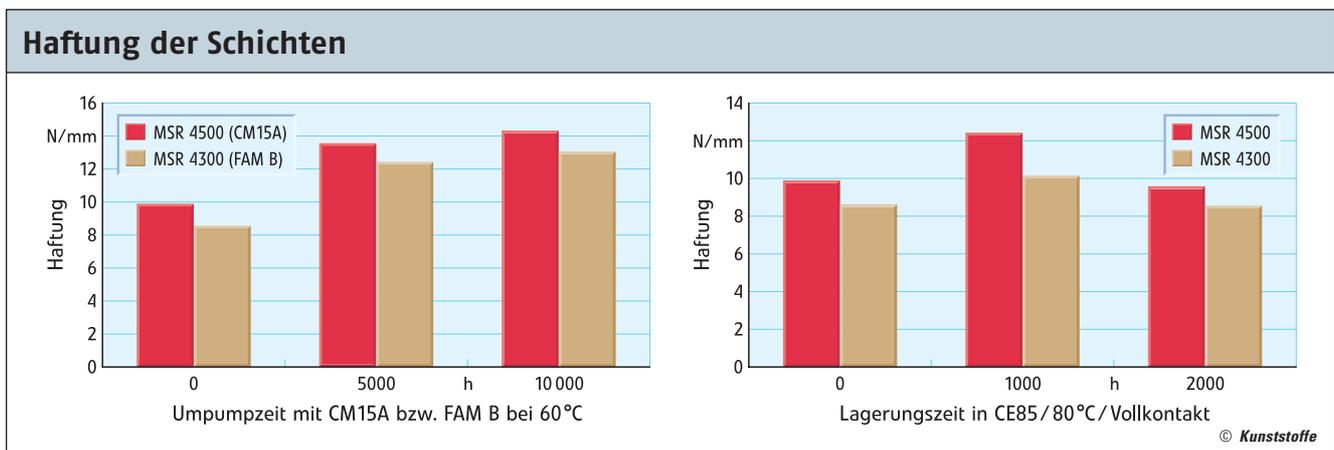


Bild 2. Einfluss von Kraftstoffkontakt auf die Schichtenhaftung im Schältest (links: Prüfkreislauf mit CM15A und FAM B bei 60 °C; rechts: Vollkontaktlagerung in CE85 bei 80 °C); Schältest in Anlehnung an SAE J2260, Haftung zwischen äußerer Haftvermittler- und EVOH-Schicht, Rohre 8 x 1 mm

Prüfkraftstoff	Zusammensetzung	Rohrsystem		
		MSR 4500.1	MSR 2030.1	Monorohr PA12
Fuel C	50 % iso-Octan + 50 % Toluol	<0,60	3	34
CE 10	90 % Fuel C + 10 % Ethanol	1,3	10	267
CE 85	15 % Fuel C + 85 % Ethanol	21	–	–
CM 15	85 % Fuel C + 15 % Methanol	85	48	>600**

** abgeleitet aus dynamischer Messung nach SAE J1737

Anmerkung: MSR 2030.1: 3-Schicht-Aufbau Außen-/Innenschicht (je 0,4 mm) aus modifiziertem PA12 und Mittelschicht (0,2 mm) aus modifiziertem PVDF; Monorohr aus weichgemachtem PA12

Tabelle 3. Permeation von Mehrschichtrohren mit EVOH- und PVDF-Sperrschicht bei 60 °C (statische Prüfung in Anlehnung an SAE J 30; Messwerte in g/(m²d) an Glatrohren der Dimension 8 x 1 mm)

Der von Degussa patentierte Polyamid-Haftvermittler gewährleistet ein dauerhaft hohes Haftungs-niveau zur EVOH-Schicht auf der einen und zur PA 12-Schicht auf der anderen Seite (Bild 2). Weder nach 10 000 h Prüfkreislauf mit CM15A bzw. FAM B bei 60 °C (Innenkontakt mit fließendem Kraftstoff) noch bei einer verschärften Vollkontaktlagerung von Rohrabschnitten für 2000 h in CE85 bei 80 °C wird ein nennenswerter Abfall der Haftung zur

EVOH-Schicht erkennbar. Werte der Haftung können schicht- und prüfabhängig schwanken. Die nicht gezeigten Haftungswerte der übrigen Schichten bewegen sich auf ähnlich hohem oder höherem Niveau. Damit bieten diese EVOH-Mehrschichtrohrsysteme erhebliche Reserven für den Einsatz in der Praxis.

Die aus den Degussa-Entwicklungslabors vorliegenden Erkenntnisse wurden inzwischen durch zahlreiche Kundenversuche bestätigt. Die Zulassungen der vorgestellten Mehrschichtrohre bei verschiedenen OEM zeigen, dass mit einer Ausweitung des Einsatzes dieser MSR mit EVOH-Sperrschicht zu rechnen ist. ■

LITERATUR

- 1 Karsch, U.: Aktuelle Entwicklungen bei Tanksystemen. CTI Fachkonferenz Tanksysteme, Proceedings, 31.01.-01-02.2005, Nürtingen
- 2 N.N.: SAE J2260 „Surface vehicle standard – Nonmetallic Fuel System Tubing with One or More Layers“. Society of Automotive Engineers, Warrendale/USA, November 2004

- 3 N.N.: SAE J1737 „Test Procedure to Determine the Hydrocarbon Losses from Fuel Tubes, Hoses, Fittings, and Fuel Line Assemblies by Recirculation“. Society of Automotive Engineers, Warrendale/USA, November 2004
- 4 N.N.: SAE J30 „Fuel and Oil Hoses“. Society of Automotive Engineers, Warrendale/USA, June 1998
- 5 Ries, H., Rawe, H.-J.: Kunststoff-Leitungen mit besserer Sperrwirkung bei alkoholhaltigen Kraftstoffen, Teil 1 und Teil 2. *Plastverarbeiter* 44 (1993) 8/9, S. 21–25/190–191

DER AUTOR

DR.-ING. KARL KUHMAN, geb. 1964, ist Leiter der Arbeitsgruppe Processing Technology & Development in der Anwendungstechnik Degussa High Performance Polymers in Marl.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Multi-layer Tubing for Fuel Lines

RELIABLE DESIGN. In order to meet the complex requirements regarding mechanical and chemical performance, permeability and efficient, cost-effective manufacturing, multi-layer, coextruded tubes with a PA 12 outer layer are used in the automobile industry. A new generation of fuel lines is based on PA 12 compounds and a specific adhesion promoter that guarantees compatibility with the EVOH barrier layer under the required test and operating conditions.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103747** on our website at www.kunststoffe-international.com

Projektile-Injektionstechnik geht in Serie

Spritzgießen. Röchling Automotive

praktiziert die erste Serienanwendung der

Projektile-Injektionstechnik für Kunststoffmedienleitungen in der Automobil-

industrie. Die Vorteile im Vergleich zur Gas- oder Wasserinjektionstechnik: Der gleich bleibende Innendurchmesser der Rohre bewirkt einen geringeren Druckverlust, und die kleineren Wanddicken reduzieren das Bauteilgewicht. Für das Verfahren taugen handelsübliche Standardwerkstoffe.



Die Teile zeichnen sich durch einen über die gesamte Bauteillänge gleich bleibenden Innendurchmesser bei minimaler Wanddicke aus

(Foto: Claudia Kiefer; Quelle: Röchling)

MATTEO PIAZZI

Die Projektile-Injektionstechnik (PIT) ist das Ergebnis eines Brainstormings bei Röchling aus dem Jahr 2000. Einziger damaliger Agendapunkt: Wie lassen sich komplexe Bauteile wie Rohre mit innovativen Mitteln – also ohne konventionelle Ansätze wie Blasformen und Fluidinjektionstechnik – herstellen? Einer der anwesenden Ingenieure meinte spontan, eine ideale Methode müsse doch ein Projektil sein, das einfach durch die Schmelze geschossen wird. Dieser Einwurf stieß ernsthafte Überlegungen an, die letztendlich in die

Ausarbeitung der PIT mündeten. Die Vorentwicklung dauerte ab diesem Zeitpunkt noch zwei Jahre (Bild 1). Erster Kunde war BMW im Jahr 2003.

Schussapparat jagt Projektil durch die Schmelze

Sowohl das PIT-Werkzeug als auch der Schussapparat sind Entwicklungen von Röchlings hauseigenem Werkzeugbau. Große Sorgfalt wurde auf die Auslegung der Kühlkanäle verwendet, die mehrere Testschleifen erforderte. Die Kühlbohrungen für die Außenkühlung sind mit der Vorgehensweise bei der Gasinjekti-

onstechnik (GIT) und Wasserinjektionstechnik (WIT) durchaus vergleichbar, stellten aber für sich schon ein Teilprojekt in der Entwicklung dar.

Beim Kühlprozess wurden die einzelnen Wirkungsgrade und das Zusammenwirken von Werkzeug, Projektil, Gas und Wasser in langen Versuchsreihen erforscht. Damit wurde sichergestellt, dass die verdrängte Seele sehr schnell abkühlt – sogar noch schneller als bei der WIT. Dies trug erheblich dazu bei, die Taktzeiten zu verkürzen und eine sehr homogene Innenoberfläche auszubilden.

Weitere systemkritische Parameter waren die Überlaufkavitäten und die Menge der Schmelze vor dem Schuss. Je nach Bauteil wurden von der Komplett- bis zur Teilfüllung verschiedene Füllgrade eruiert. So konnte der Anteil der plastischen Seele, der in die Überlaufkavität fließt, auf ein Minimum reduziert werden. Als gangbare Option erwies sich unter anderem das Masserückdruckverfahren, das eine Wiederverwendung der überschüssigen Schmelze erlaubt.

Mit Hilfe von Sperrschiebern ließen sich sogar Verzweigungen und überspritzte Befestigungen realisieren, und zwar innerhalb einer Produktionszelle. Ein wichtiger Faktor waren die Injektoren für Druckmedium und Projektil. Diese mussten erheblich modifiziert bezie-



Bild 1. In einem Alterungstest wird die zu erwartende Produktlebensdauer der mit der PIT hergestellten Bauteile ermittelt

(Foto: Röchling)

hungsweise komplett neu entwickelt werden. In einer Vielzahl von Versuchen wurden Form und Material sowie die Rückführung und Reinigung des Projektils optimiert. Die schlussendlich für das Projektil gefundenen Ausbildungen erlauben unterschiedliche Biegeradien. Somit lassen sich sogar 90°-Biegungen durchschießen (Bild 2).

Ebenfalls keine Referenzwerte waren für den Druck bekannt, mit dem das Antriebsmedium für das Projektil beaufschlagt wird. Welcher Wert sich als praxistauglich erweist, hängt davon ab, wie das Druckmedium und wie die Geometrien des Projektils und des Bauteils beschaffen sind. Beim Druck der Schmelzeinjektion selbst konnten die Konstrukteure auf Erfahrungswerte bei GIT und WIT zurückgreifen.

Serientauglichkeit bewiesen

Die Praxiserfahrung mit dem Kühlwasserrohr für die BMW 3er Allradmodelle beweist: Das PIT-Verfahren bei Röchling Automotive läuft prozesssicher. Damit ist die PIT eine serienerprobte Alternative zur GIT. „Ein robuster Prozess war

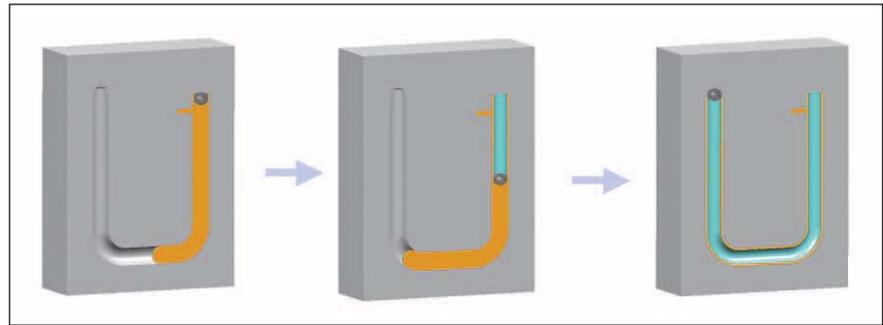


Bild 2. Die Kavität wird mit Schmelze komplett oder teilgefüllt, Laschen können dabei komplett ausgefüllt werden (links). Das Projektil wird durch die Kunststoffmasse geschossen – Kühlzeit, Teilegewicht und Wanddicke sind über den Projektildurchmesser einstellbar (Mitte). Als Produkt erhält man einen rohrförmigen Hohlkörper mit gleichmäßiger Wanddicke, gleich bleibendem Innendurchmesser und homogener Innenoberfläche (rechts) (Foto: Röchling)

werkstoffe mit unterschiedlicher Verstärkung. Dies ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal gegenüber der GIT und WIT. Beide Alternativen sind auf Werkstoffe angewiesen, die gezielt auf das Verfahren abgestimmt sind. Ganz im Gegensatz zur PIT: „Die ersten Versuche haben wir mit Standardpolyamiden gemacht. Das war bereits sehr ermutigend“, erinnert sich Oswald Romen, verantwortlicher Verfahrenstechniker für PIT bei Röchling Automotive. „PA 66 GF30 beispielsweise lässt sich mit der PIT direkt verarbeiten.“

Die Hohlraumausformung per Projektil bedarf insbesondere keiner zweiten Komponente wie im Falle der 2K-WIT. Daher lassen sich Verzweigungen mit der PIT wirtschaftlicher und sicherer verwirklichen als

mit 2K-Fluidinjektionstechniken. Abzweiger, Schnellkupplungen, Laschen und Halter werden bei der PIT zusammen mit dem Rohr im selben Schuss gespritzt (Bild 3). Diesbezüglich verbucht Röchling einen Gleichstand gegenüber der GIT und Ein-Komponenten-WIT.

Es gibt bei den 1K-Verfahren nur einen Befüllungsvorgang. Die Sortenreinheit erleichtert das spätere Recycling. Hier zeichnet sich ein erhebliches Einsparpotenzial gegenüber 2K-Sandwichkonzepten ab. Die Unterscheidung zwischen injektionskompatibler Innenkomponente und anwendungsgerechter Außenkomponente entfällt komplett.

„Die Bedeutung der PIT liegt nicht nur in der rein applikationsspezifischen

Materialauswahl, sondern vor allem in den vorteilhaften Eigenschaften der PIT-Bauteile“, resümiert Dr. Rinner. „Hervorzuheben sind vor allem die geringe Wanddicke und, damit einhergehend, ein niedriges Gewicht. Daraus ergeben sich wiederum nennenswerte Materialeinsparungen.“



Bild 3. Komplexe Geometrie des Kühlwasserrohrs für die BMW 3er Allradmodelle (Foto: Claudia Kiefer, Quelle: Röchling)

unser oberstes Ziel“, betont Dr.-Ing. Marlene Rinner, PIT-Entwicklungsleiterin. „Dies gelang ohne eng eingegrenzte Materialspezifikationen. Der Kunde hat nun die Wahl zwischen GIT und PIT, wenn es um serienreife Verfahren geht. Bei PIT richtet sich die Werkstoffwahl allein nach der Anwendung. Der Prozess selbst verlangt kein speziell aufbereitetes Material.“

Die Ausformung des Hohlraums per Projektil stellt wesentlich geringere Ansprüche an den Werkstoff als die mit Gas oder Wasser. Die für die GIT und WIT optimierten Kunststoffe liefern zwar auch mit dem Projektil-Verfahren hochwertige Resultate. Für die meisten Anwendungen eignen sich aber ebenso Standard-

! Im Profil

Die weltweit operierende Röchling-Gruppe zählt mit rund 6000 Mitarbeitern an 51 Standorten in 16 Ländern zu den führenden Unternehmen auf dem Gebiet der Kunststofftechnik. Sie erzielte im Jahr 2005 einen Umsatz von 1,15 Mrd. EUR. Im Unternehmensbereich Automobil-Kunststoffe sind die Unternehmen, die sich als Zulieferer in der Automobilindustrie betätigen, zusammengefasst. Die **Röchling Automotive AG & Co. KG** fertigt anspruchsvolle Produkte aus Polymerwerkstoffen und Naturfa-



Volkswagen Konzernvorstand Pischetsrieder, Motorenchef Krebs, Einkaufsvorstand Garcia Sanz und Markenvorstand Bernhard begutachten ein mit der PIT-Technologie hergestelltes Rohr (Foto: Claudia Kiefer)

serformstoffen für den Motorraum, den Unterboden und den Innenraum. Im Jahr 2005 erwirtschaftete Röchling Automotive einen Umsatz von 536 Mio. EUR.
www.roechling-automotive.de

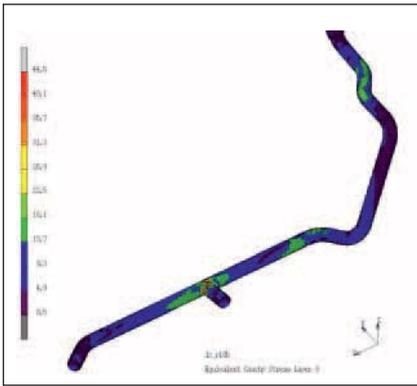


Bild 4. Festigkeitsanalyse durch Computersimulation führt in mehreren Testschleifen im Wechsel mit den Prüfstandsergebnissen zum optimalen Ergebnis (Bild: Röchling)

Geringere Wanddicke, reduziertes Bauteilgewicht

Der Hauptvorteil von PIT-Produkten liegt in dem Verhältnis von Innendurchmesser zu Wanddicke und Außendurchmesser. Hier setzt das Verfahren den Benchmark. Ein auf der gesamten Bauteillänge gleich bleibender Innendurchmesser wird mit einer minimalen Wanddicke realisiert, bei Erfüllung aller Vorgaben hinsichtlich der Stabilität (Bilder 4 und 5). Daraus resultiert eine Gewichtseinsparung im Vergleich zu GIT-Bauteilen in der Größenordnung von bis zu 50 %.



Bild 6. Das Projektill-Verfahren erzeugt eine homogen strukturierte Innenoberfläche

(Foto: Claudia Kiefer, Quelle: Röchling)

Auch der Bauraumbedarf fällt gemäß dem kleineren Außendurchmesser geringer aus. Dies kann bei räumlich begrenzten Verhältnissen im Frontend die entscheidenden Millimeter bringen. Masseanhäufungen können bei der PIT prozessbedingt ausgeschlossen werden. Daraus ergibt sich ein weiterer signifikanter Verfahrensvorteil: geringer Verzug und folglich hohe Maßhaltigkeit.

Aufgrund der geringeren Wanddicke sind die Taktzeiten der PIT kürzer als die der GIT. Beim Einsatz von Wasser als Druckfluid für das Projektill verringern sich die Zykluszeiten gegenüber der GIT weiter. Lunker und Poren treten weniger

häufig auf als bei der WIT. Unter dem Rasterelektronenmikroskop zeigt sich die Innenoberfläche von ihrer besten Seite: Die Matrix ist völlig homogen, die Glasfasern sind sehr gut abgedeckt. Auswaschungen sind somit nicht zu befürchten (Bild 6).

Kaum Druckverlust

Da sich der Innendurchmesser nirgends verändert, bleibt der Druckverlust in der Medienleitung minimal. Er wird im Wesentlichen nur noch von der Rohrlänge und den seitlichen Abgängen bestimmt (Bild 7). Hingegen wirken sich die PIT-konform ausgelegten Biegungen kaum auf den Durchflusswiderstand aus.

Das bevorzugte Anwendungsgebiet für die PIT sieht Röchling Automotive daher in Anwendungen mit konstantem Innendurchmesser und einem Außendurchmesser bis zu 35 mm. Der Markt hinter diesen beiden Produktparametern ist für den weltweit produzierenden Kunststoff-

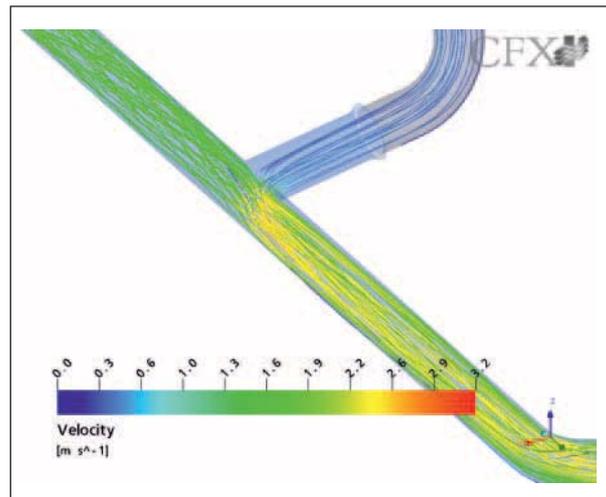


Bild 7. Die numerische Strömungssimulation (CFD) visualisiert die gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung der Flüssigkeit im Rohr

(Bild: Röchling)



Bild 5. Rütteltest im Shaker-Ofen für alle fahrerbetriebstypischen Frequenzen und Temperaturen

(Foto: Röchling)

kurzem mit dem Grand Innovation Award der Society of Plastics Engineers ausgezeichnet. ■

DER AUTOR

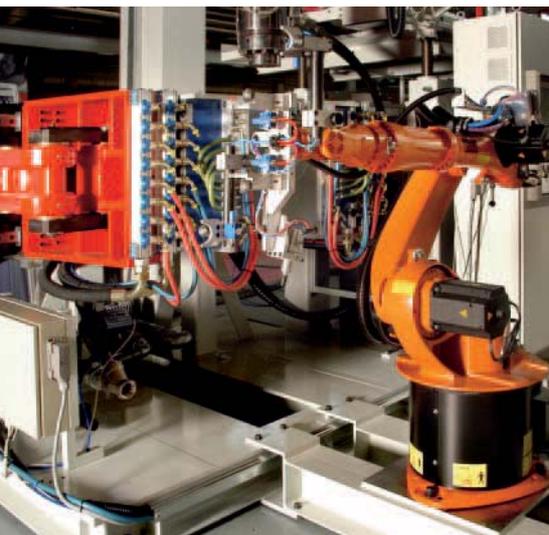
DR.-ING. MATTEO PIAZZI, geb. 1967, arbeitet im Produktmanagement bei Röchling Automotive.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Projectile Injection Technology in Series

INJECTION MOULDING. Röchling Automotive has implemented the first series use of projectile injection technology (PIT) for plastic coolant pipes in the automotive industry. The advantages of PIT over gas (GIT) or water injection technology (WIT) are a constant inside diameter and less pressure loss along with thinner walls that weigh less and take up less space. Standard materials usually suffice.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103760** on our website at www.kunststoffe-international.com



Blasformanlage UMA 20 SHA für die Verarbeitung von Materialien im hohen Temperaturbereich

Zuverlässig auch bei hohen Temperaturen

Blasformen. Rohrleitungen für Lüftungssysteme oder zum Transport von Flüssigkeiten im Motorinnenraum, Flüssigkeits-

behälter oder auch Kraftstofftanks sind wesentliche Bestandteile von Automobilbaugruppen. Neuentwicklungen für diesen Bereich müssen sich in der Form bestehenden Platzverhältnissen anpassen und hohen Belastungen standhalten.

Die Automobilindustrie verlangt zunehmend nach einer Blasformtechnologie, die den heutigen Produktionsanforderungen gerecht wird und mit der sich Formteile herstellen lassen, die erheblichen Belastungen standhalten, wie hohen Betriebstemperaturen und hohen Innendrücken. Uniloy Milacron S.r.l., Mailand, stellte im Februar 2006 auf der Plast die Blasformanlage UMA 20 SHA vor, die auf diese Bedürfnisse ausgelegt war. Jetzt hat Uniloy am Standort Magenta verschiedene Tests mit unterschiedlichen Materialien durchgeführt, um die Eignung dieser Maschine auch für hohe Verarbeitungstemperaturen unter Beweis zu stellen. Die Tests wurden unter Aufsicht von Anwendungstechnikern der jeweiligen Rohstofffirmen durchgeführt und die Resultate im Hinblick auf Zykluszeit und Prozessstabilität positiv beurteilt. Polyphenylensulfid beispielsweise verlangt eine Verarbeitungstemperatur zwischen 310 und 320°C – die Maschine produzierte selbst unter diesen Bedingungen ohne Schwierigkeiten. Sie arbeitet mit einem Speicherkopf, aus dem das Extrudat in die Form gesaugt wird. Diese Technologie erlaubt das schnelle und einfache Blasformen von dreidimensionalen Bauteilen,

ausgenommen sind sehr kleine Winkel und Kurven. Nach Aussage des Maschinenherstellers wird durch diese Technologie das Bruchrisiko in der Schweißnaht reduziert, die Wanddickenverteilung verbessert und der Butzen verkleinert. Die Anlage verfügt über eine Schließeinheit mit 200 kN (bis zu 300 kN) Schließkraft, einem Extruder mit 60 mm/24D (70 mm/24D) -Schnecke, Speicherkopf und Ansaug-Vorrichtung. Ein Touchscreen-Bildschirm erlaubt dem Bediener, mit „Quality Control“ und „SPC“ den Prozess zu überwachen und zu steuern. ■

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Reliable also at High Temperatures

BLOW MOULDING. Air ducts for ventilation systems, piping to transport liquids in the engine compartment, liquid reservoirs and fuel tanks are essential parts of automobile assemblies. New developments in this field must fit into the space available and withstand high loads.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103756** on our website at www.kunststoffe-international.com

Getestete Materialien

Polyamid 6 (PA 6). Grilon EB 50 H (Hersteller: EMS-Grivory): hochviskoses, unverstärktes, hitzestabilisiertes PA 6 mit hoher Schmelzfestigkeit. Es verfügt über eine hohe Schlagzähigkeit auch bei niedrigen Temperaturen und eignet sich für konventionelles und 3D-Blasformen. Hergestellt werden Rohrleitungen für Turbolader, Lüftungssysteme, Öl führende Leitungen, Behälter für Kraftstoff und Öl.

Polyamid 6 (PA 6). Grilon EBV-15H (Hersteller: EMS-Grivory): hochviskoses, hitzestabilisiertes, mit 15 % glasfaserverstärktes PA 6 mit hoher Schmelzfestigkeit. Das Material ist schlagzäh auch bei niedrigen Temperaturen und durch konventionelles und 3D-Blasformen leicht zu verarbeiten, auch geeignet für sequenzielles Blasformen.

Polyamid 66 (PA66). Zytel BM70G20 (Hersteller: DuPont): glasfaserverstärkt, leicht zu verarbeiten, lässt sich leicht modifizieren, hat eine hohe Umweltverträglichkeit beim Verarbeiten und ist recycelbar. Teile aus dem Material sind robust, dabei leicht und beständig in heißer, chemisch aggressiver und feuchter Umgebung.

Polyester-Elastomer (TPC). Hytrel HTR4275 (Hersteller: DuPont): Elastizität von Gummi, Festigkeit wie bei Kunststoffen und Verarbeitungseigenschaften von Thermoplasten. Das Material ist geeignet für Teile, die Flexibilität und die Einsatzmöglichkeit in einem großen Temperaturbereich verlangen. Es neigt nicht zur Rissbildung oder Kriechen und ist abriebbeständig. Die mechanischen Eigenschaften liefern die gewünschte Festigkeit und Steifheit bei herausragender Zähigkeit. TPC ist gegen eine Reihe von Flüssigkeiten wie Treib- und Schmierstoffe beständig und hydrolysefest.

Polyphenylensulfid (PPS). Fortron 1115 LO (Hersteller: Ticona): sehr gute thermische, mechanische und chemische Eigenschaften sowie flammwidrig. Hervorzuheben ist die hohe Chemikalienbeständigkeit über einen langen Zeitraum auch bei erhöhten Temperaturen. PPS ist unlöslich in allen bekannten Lösungsmitteln unter 200°C und zeigt hohe Beständigkeit gegenüber konventionellen und alternativen Kraftstoffen.

Filigrane Bauteile wirtschaftlich herstellen



Lenkwinkelsensor
aus fließverbessertem PBT

Automobilelektronik. Durch Zugabe eines speziell entwickelten Nanopartikel-Systems lässt sich das Fließverhalten von Polybutylenterephthalat (PBT) signifikant verbessern. Das Produkt reduziert in der Spritzgießverarbeitung Einspritzdrücke und Zykluszeiten erheblich und erreicht so deutliche Kostenvorteile. Diese kommen besonders bei der Herstellung von Bauteilen für die Automobilelektronik zum Tragen.

**ANDREAS EIPPER
MARK VÖLKE**

Polybutylenterephthalat (PBT) ist bereits in seiner konventionellen Form ein breit einsetzbarer technischer Thermoplast: Der Werkstoff ist teilkristallin, hat eine hohe Formbeständigkeit in der Wärme, geringe Wasseraufnahme, hohe Dimensionsstabilität sowie eine gute Widerstandsfähigkeit gegen zahlreiche Chemikalien. Entscheidender Faktor bei seiner Verarbeitung ist – wie bei den meisten Thermoplasten – seine Schmelzeviskosität. Eine Optimierung dieser Eigenschaft sollte also Zykluszeiten verkürzen, Verarbeitungsaufwand verringern und damit für Hersteller wie für Verarbeiter zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit beitragen.

Mit Hilfe eines speziell entwickelten Nanopartikel-Systems gelang es der BASF, die Schmelzeviskosität des PBT signifikant abzusinken (Bild 1). Je nach Glasfasergehalt fließt das neue PBT-Compound Ultradur High Speed mindestens doppelt so weit wie vergleichbare Standard Ultradur-Typen. Die mechanischen Eigenschaften Steifigkeit und Festigkeit, das Schwindungsverhalten und die Wärmeformbeständigkeit werden durch die Modifizierung nicht beeinflusst, so dass das neu entwickelte Produkt in der Lage ist, die stetig steigenden Anforderungen im Bereich technischer Thermoplaste zu erfüllen. Das breitere Verarbeitungsfenster ermöglicht Verarbeitern und Konstrukteuren hohe Designfreiheit bei der Arbeit mit PBT.

Nanotechnologie als Schlüssel

Der Forschungszweig Nanotechnologie beschäftigt sich mit Strukturen und Anwendungen in der Größenordnung von Milliardstel Metern (Nanometern), was dem Durchmesser von bis zu zehn Atomen entspricht. Bei Anwendungen in Polymeren spricht man auch von Nanocomposites: Im Polymer dispergierte, kleinste Teilchen, die die Eigenschaften eines Werkstoffs stark beeinflussen können. Der Schlüssel für die Innovation beim fließverbesserten PBT liegt in der Zugabe eines Additivs in Form von feinverteilten Nanopartikeln. Dabei war es nicht nur entscheidend, die optimale Partikelgröße zu ermitteln, sondern die Nanoteilchen im Polymer auch gleichmäßig zu verteilen. Die Teilchengröße der Additiv- ▶

partikel beträgt im Fall des neuen Ultradur 50 bis 300 nm. Dieses Additiv sowie die spezielle Art seiner Zumischung verändern die Rheologie des Basispolymeren grundlegend: Bei gleich bleibender Strukturviskosität nimmt die Schmelzeviskosität stark ab: Bei einem PBT mit 30 % Glasfasern um etwa 50 % (Schmelztemperatur: ca. 260°C).

Vorteile für Verarbeiter und Konstrukteure

Für den Verarbeiter bringt das verbesserte Fließverhalten eine Reihe von Vorteilen: So reichen aufgrund der niedrigeren Schmelzeviskosität geringere Einspritz- und Nachdrücke aus. Beim Spritzgießprozess lässt sich durch Absenkung der Massetemperatur die Kühlzeit reduzieren und damit die Gesamtzykluszeit erniedrigen.

Neue Perspektiven ergeben sich auch bei dünnwandigen Bauteilen: Das niederviskosere Ultradur High Speed kann in noch feinere Formen fließen und so für die Herstellung ganz neuer Bauteile verwendet werden. Aus diesem Grund lassen sich aus PBT nun filigrane Komponenten fertigen, die bisher nur mit teuren Hochleistungskunststoffen zugänglich waren. Bild 2 zeigt eine Füllstudie, in der erkennbar ist, dass die sehr dünnen Stege des kleinen, 1,5 g leichten Steckers mit Standard-PBT nicht gefüllt werden (linke Seite), mit dem leichter fließenden Ultradur High Speed jedoch sehr gut (rechts). In diesem Fall überzeugte den Kunden die besonders gute Fließfähigkeit, mit deren Hilfe er die Fertigungsprobleme an seinem komplexen Werkzeug mit acht Kavitäten lösen konnte: Die Menge an Ausschuss nahm ab und die Zy-

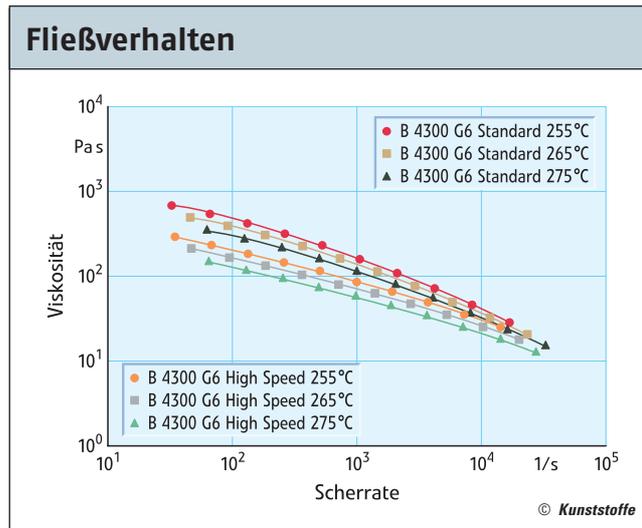


Bild 1. Bei gleicher Scherung hat das fließverbesserte PBT Ultradur High Speed eine deutlich niedrigere Viskosität als konventionelles PBT

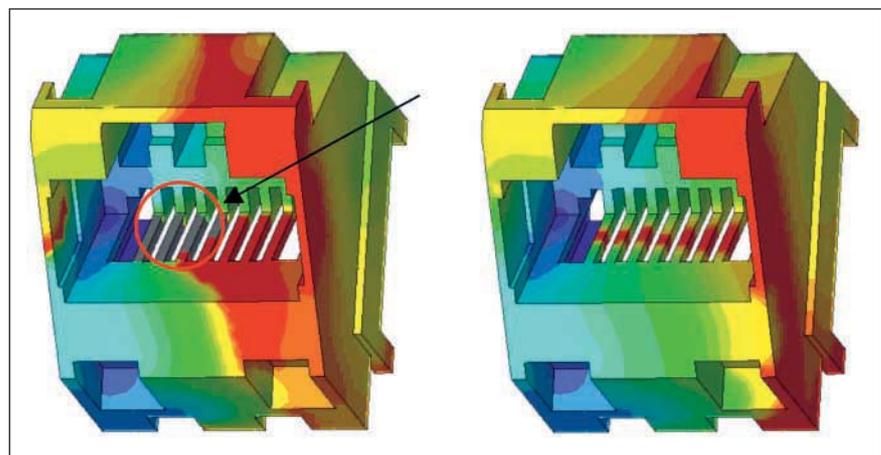


Bild 2. Während Standard-PBT (links) das Bauteil nicht komplett ausfüllt, konnten mit fließverbessertem PBT die filigranen Stege vollständig gefüllt werden (rechts)

kluszeit konnte um 20 bis 25 % reduziert werden.

Auch dünnwandige Artikel mit einem größeren Anteil an Verstärkungstoffen, wie Glasfasern oder mineralischen Füllstoffen, sind beim leicht fließenden neu-

en PBT möglich. Gleichzeitig lassen sich bessere mechanische Eigenschaften bei verringerter Wanddicke erzielen. Die gesamte Maschinenkonfiguration kann schlanker werden: Kleinere Spritzgießeinheiten sowie Werkzeuge mit weniger Anspritzpunkten – also weniger teure Heißkanaldüsen – sind möglich und die Anzahl an kritischen Bindnähten nimmt ab.

Bevorzugte Anwendungen: Automobilelektronik

Nachdem das erste Serienbauteil (Bild 2) aus dem Bereich Telekommunikation kam, hat das neue PBT inzwischen zahlreiche interessante Anwendungen in der Automobilelektronik gefunden. Dazu gehören beispielsweise der neunpolige Stecker, den die Firma Tyco, Bensheim, für den Motorraum entwickelt hat (Bild 3), aber auch der Lenkwinkelsensor, bei dem Bosch, Abstadt, gerade Ultradur High Speed einsetzt (Titelbild). Der Sensor, der an der Lenksäule sitzt,



Bild 3. Neunpoliger Automobilstecker der Firma Tyco aus fließverbessertem PBT



Bild 4. 16-poliger Hybrid-Stecker der Firma Molex für Sicherungs- und Relaisboxen im Fahrzeuginnenraum aus fließverbessertem PBT

leitet die aktuelle Position des Lenkrads direkt an die elektronische Stabilitätskontrolle (ESP) weiter. In dieser Anwendung hat sich die kontrastreiche Laserbeschriftung als weiterer Vorteil des Materials ausgezeichnet. Auch der von der Firma Molex, Ettlingen, entwickelte neue 16-polige Stecker für Sicherungs- und Relaiskästen kommt im Automobilinnenraum zum Einsatz. Der so genannte Sicma-Hybrid-Stecker konnte durch die gute Fließfähigkeit des Materials so materialschonend gefüllt werden, dass die ausgewogenen mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes erhalten bleiben. So ist die Elastizität des Bauteils hoch genug, um selbst große Kabelquerschnitte aufzunehmen (Bild 4).

Einige Elektronikbauteile im Auto, z. B. ABS-Gehäuse, werden hergestellt, indem metallische Leiterbahnen mit Kunststoff umspritzt werden. Je höher der Druck ist, der dabei auf die Leiterbahnen wirkt, desto größer ist die Gefahr, dass sie verbogen oder zusammengedrückt werden und ihre Funktion verlieren. Ultradur High Speed vermindert durch seine verbesserte Fließfähigkeit den Druck, der beim Einspritzen auf die Leiterbahnen wirkt und reduziert ihre Deformation (Bild 5).

Leichte Einfärbbarkeit und verbesserte Haftung

Gleichmäßig verteilte Nanopartikel sind auch der Grund dafür, dass sich das fließverbesserte PBT mit weniger Farbbatch homogen einfärben lässt. Wie Bild 6 verdeutlicht, erreicht man eine homogene Einfärbung bereits mit 0,1 % eines blauen PE-basierten Masterbatch. Um die gleiche Farbtiefe zu erreichen, lässt sich beim Übergang von konventionellem PBT zu Ultradur High Speed bis zu 50 % Masterbatch einsparen. Farbpigmente werden besser dispergiert und die Farbverteilung ist gleichmäßiger. Für den Verarbeiter ergeben sich dadurch deutlich niedrigere Gesamtkosten beim Selbsteinfärben.

Vorteile des Selbsteinfärbens, die besonders bei Ultradur High Speed zum Tragen kommen, sind auch hier verringerte Komplexität in der Logistik und flexiblere Farbumstellung. Investitionen für Dosiergerät, Prüfvorrichtung und Mischelemente amortisieren sich selbst bei einem Jahresverbrauch von nur 5 t PBT nach etwa drei Jahren.

Um die Haftung zwischen dem neuen PBT und Metallschichten zu untersuchen, wurden Standard-Zugstäbe aus einem konventionellen Produkt (Ultradur B4300 G6) und aus dem analogen fließverbesserten PBT chemisch-galvanisch mit Kupfer beschichtet und anschließend die Haftung des Metalls zum Kunststoff getestet. Die Schälhaftfestigkeit (Angaben in N/mm) wurde am In-

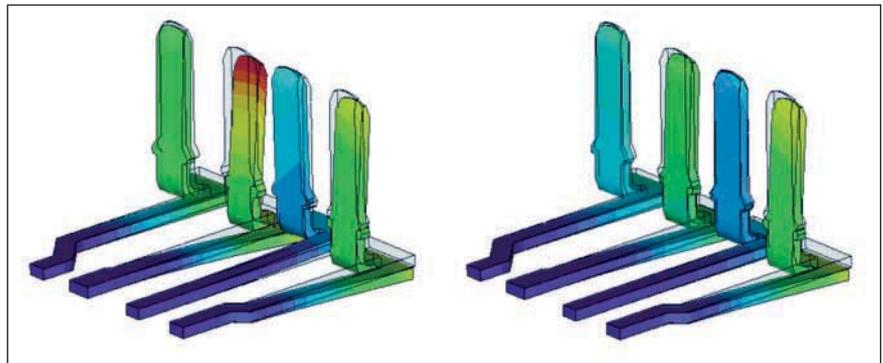


Bild 5. Auch bei umspritzten Leiterbahnen hat ein leicht fließendes Material Vorteile: Durch den verringerten Spritzdruck wird der unerwünschte Versatz der Leiterbahnen weitgehend unterdrückt (links: konventionelles PBT mit 30 % Glasfasern, rechts: die High-Speed-Variante)



Bild 6. Einfärben von PBT: Die Pigmente werden bei Verwendung von Ultradur High Speed deutlich gleichmäßiger dispergiert und führen zu einer besseren Farbverteilung (links: 0,1 % blaues Farbbatch (Eupolen) in Standard-PBT, rechts: in Ultradur High Speed)



Bild 7. Metallisierter Zugstab nach dem Schälversuch nach DIN 53494

stitut für neue Materialien in Fürth gemäß DIN 53494 mit einem Abzugstest bestimmt (Bild 7). Im Fall des Ultradur High Speed ergab sich eine um fast 50 % verbesserte Haftung zwischen Metall und Kunststoff.

Die Adhäsion zu Weichkomponenten ermittelten die Anwendungsentwickler über das Zweikomponenten-Spritzgießen von Formteilen aus Standard-Ultradur B4300 G6 und Ultradur B4300 G6 High Speed mit Elastollan C65A und C85A. Hierbei handelt es sich um zwei thermo-

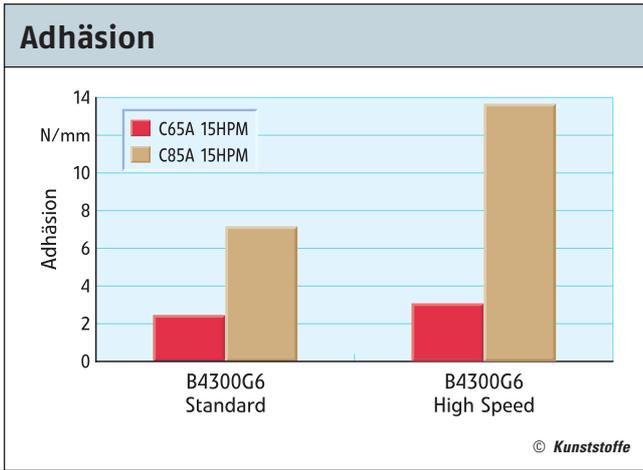


Bild 8. Haftung von Standard- (links) und High Speed-PBT (rechts) gegenüber TPU mit Härten von 65 bzw. 85 Shore A

plastische Polyurethan-Elastomere (TPU) der BASF-Tochter Elastogran mit einer Härte von 65 bzw. 85 Shore A. Die Adhäsion in N/mm ist im Fall der Materialkombination Ultradur High Speed/TPU fast doppelt so hoch wie mit konventionellem PBT (Bild 8).

Ökologisch und ökonomisch vorteilhaft

Inzwischen hat die ETH Zürich nicht nur die ökonomischen, sondern auch die damit verbundenen ökologischen Vorteile des neuen Werkstoffs quantifiziert. Aufgrund der guten Fließfähigkeit ist die Herstellung von spritzgegossenen Bauteilen nicht nur kostengünstiger, sondern hilft auch dabei, Energie einzusparen und damit die Umwelt zu schonen. Mit Hilfe der Ökoeffizienzanalyse können verschiedene alternative Produkte oder Verfahren, die zum selben Ziel führen, einer Lebenszyklusbetrachtung unterzogen, also von der Wiege bis zur Bahre durchgerechnet werden. So lassen sich individu-

ell für jeden Kunden oder Anwendungsfall die Energie-, Material- und Kosteneinsparung durch den Einsatz von Ultradur High Speed ermitteln (Bild 9). Heute sind die meisten Produkte im PBT-

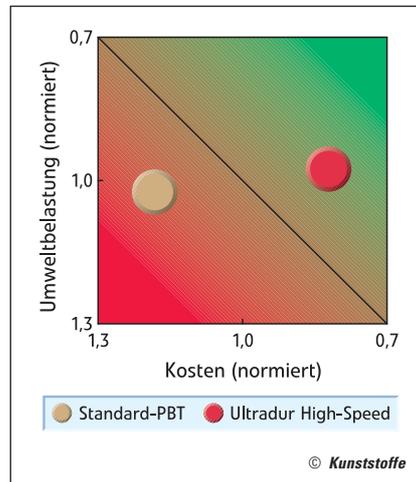


Bild 9. Die Ökoeffizienzanalyse von Ultradur High Speed und Standard-PBT vergleicht ökologische und ökonomische Vorteile zweier Alternativen mit gleichem Kundennutzen

Sortiment der BASF auch in einer High-Speed-Variante verfügbar, darunter die klassischen Spritzgusstypen, die besonders verzugsarmen (PBT+ASA)-Blends und die Varianten B4040 mit optimierten Oberflächeneigenschaften. Bald kommt auch ein halogenfrei flammgeschütztes Ultradur High Speed hinzu. Alle schwarz eingefärbten High-Speed-Typen sind darüber hinaus laserbeschriftbar. Zurzeit wächst das Interesse an Ultradur High Speed besonders bei Anwendern in Asien und Amerika, denn es trägt dazu bei, den enormen Kostendruck abzufangen. ■

DIE AUTOREN

DR. ANDREAS EIPPER, geb. 1974, ist im Technischen Marketing Ultradur der BASF AG, Ludwigshafen, tätig.

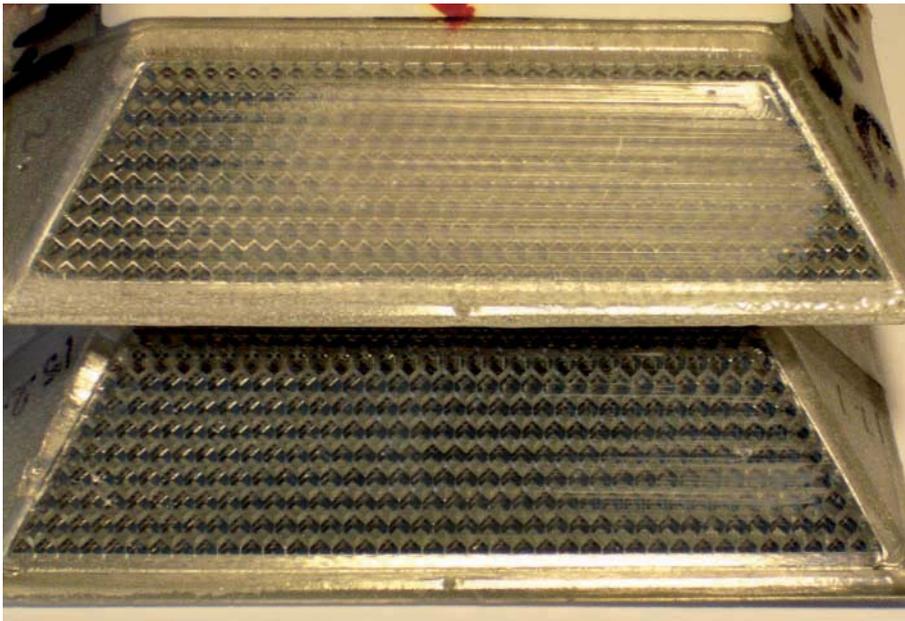
DIPL-ING. MARK VÖLKEL, geb. 1961, arbeitet im gleichen Bereich der BASF AG, Ludwigshafen. Kontakt: ultraplaste.infopoint@basf.com

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Producing Intricate Parts Economically

CAR ELECTRONICS. By adding a specially developed nanoparticle system the flow properties of polybutylene terephthalate (PBT) can be distinctly improved. In processing by injection moulding the product considerably reduces injection pressures and cycle times and in this way affords marked cost advantages. These come to the fore especially in the production of components for motor car electronics.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103753** on our website at www.kunststoffe-international.com



Straßenmarkierungsnoppen werden durch Zusatz von nanoskaligen Füllstoffen abriebfester (oben: Kontrollprobe, unten: nanoverstärkte Oberfläche)

Lacke. Durch Einsatz nanoskaliger Materialien in der Lackierung von Kunststoffen kann eine deutliche Verbesserung von Lackeigenschaften wie Kratzfestigkeit erreicht werden. Besonders bei hochglänzenden Beschichtungen ist dabei von Vorteil, das Glanz und Schleier unbeeinflusst bleiben.

Kratzfeste Kunststoffoberflächen

THOMAS SAWITOWSKI

Lacke auf Kunststoffoberflächen dienen überwiegend dazu, den Kunststoff gegen Umwelteinflüsse zu schützen. Sie können aber auch ästhetisches Element im Design moderner Kunststoffbauteile sein. Daraus resultiert der Wunsch nach einem auf lange Zeit unveränderte Erscheinungsbild der Lackoberfläche. Das Erscheinungsbild verändert sich jedoch im Laufe der Zeit durch Einwirkung von Licht, Chemikalien und mechanischem Angriff auf die Lackoberfläche. Ziel moderner Bindemittel- und Additiventwicklungen ist es daher, die Haltbarkeit von Kunststofflackierungen zu verbessern, ohne dass das notwendige Gesamteigenschaftsbild negativ verändert wird.

Hinsichtlich Kratzfestigkeit gibt es mehrere Wege diese zu erhöhen, sie sind jedoch mit unterschiedlichen Nachteilen verbunden. So kann eine Erhöhung der Quervernetzungsdichte eine verbesserte Kratzfestigkeit bewirken, dies passiert jedoch auf Kosten der Flexibilität des Lackfilms. Der Einsatz härterer Segmente in der Bindemittelmatrix kann die UV-Empfindlichkeit negativ beeinflussen.

Der Einsatz mikroskaliger Füllstoffe führt zu einem Schleier, der in hochglänzenden Beschichtungen nicht akzeptiert wird. Aus diesem Grund konzentriert sich die aktuelle Forschung auf die Nutzung der Nanotechnologie in Klarlacken zur Steigerung der Kratzfestigkeit. Durch Einsatz nanoskaliger Füllstoffe ist es prinzipiell möglich, mechanische Eigenschaften von Lacken zu verbessern, ohne dass dadurch Flexibilität, UV- und Chemikalienbeständigkeit oder Optik nachteilig beeinflusst werden.

Nanopartikel gleichmäßig verteilen

Nanotechnologie basiert auf dem Prinzip, dass bei Verkleinerung bekannter Materialien in den Bereich weniger Nanometer hinein neue oder aber stark veränderte Materialeigenschaften auftreten. So hängt auch die Lichtstreuung vom Material und seiner Partikelgröße ab. Diesen Zusammenhang nutzt man bei Weißpigmenten, indem Materialien mit hohen Brechungsindizes (Titandioxid) und einer Teilchen-

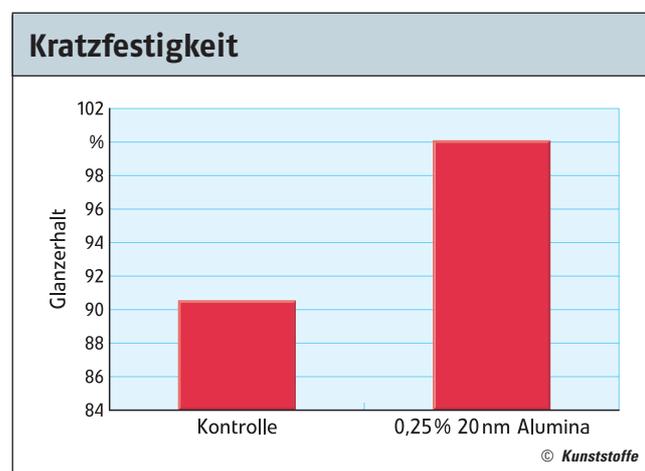


Bild 1. UV-härtender Klarlack auf Basis von Polyesteracrylat mit und ohne Zusatz von Nanopartikeln

KU103750

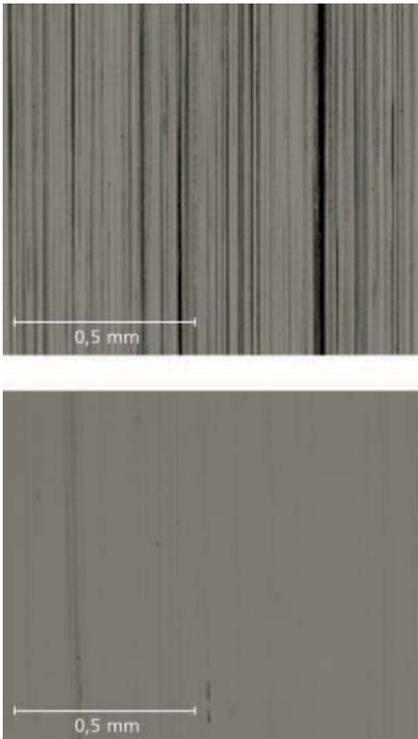


Bild 2. Oben: UV-Klarlack nach Verkratzung durch eine Nylonbürste (500 Hübe) – unten: Erhöhung der Kratzfestigkeit durch Zugabe von 2 % Nano-Aluminiumoxid

größe im Bereich einiger Hundert Nanometer aufgrund ihrer hohen Deckkraft eingesetzt werden. Das erhöht die gewünschte Lichtstreuung maximal. Soll diese minimiert werden, das heißt, ein Klarlack im Glanz und Schleier nicht beeinflusst werden, so müssen die Partikel in einer Größe von weniger als 50 nm vorliegen. Insbesondere niedrig brechende Materialien wie Silica (Kieselsäuren) oder Alumina (Aluminiumoxide) eignen sich dann hervorragend, um die Kratzfestigkeit von Klarlacken zu erhöhen.

Um jedoch den Effekt der Nanotechnologie besser in Lacken nutzen zu können, ist es erforderlich, Nanopartikel extrem gut zu dispergieren und als Primärpartikel auch in der Lackmatrix zu stabilisieren. Hier bieten sich bereits dispergierte und stabilisierte nanoskalige Dispersionen mit hoher Partikelbelastung (typischerweise 25 bis 50 %) als Nanoadditive an. Diese können in geringen Konzentrationen ohne weitere Scherung Lacken unter einfachem Einrühren zugesetzt werden. Die darin enthaltenen Partikel verteilen sich gleichmäßig in der Lackmatrix und verbessern damit nachhaltig die Kratzfestigkeit. Der Wirkmechanismus ist noch nicht vollständig aufgeklärt: Eine These geht davon aus, dass Spannungen, die bei mechanischer Belastung eines Lacks zum Fließen und damit zur Bildung von Kratzern führen, von den nanoskaligen Füllstoffen aufgenommen werden. Damit kommt es erst bei deutlich höheren Belastungen zu geringeren Beschädigungen der Lackoberfläche.

Kratzfestigkeit verbessern

UV-Lacke: In der Kunststofflackierung werden neben lösemittelbasierenden Lacken heute vielfach strahlenhärtende Lacke eingesetzt. Diese zeichnen sich durch eine in der Regel hohe Vernetzungsdichte und damit bereits hohe Kratzfestigkeit aus. Durch Zusatz speziell modifizierter Aluminiumoxid-Nanopartikel in Kombination mit oberflächenaktiven Silikonen kann diese jedoch noch weiter erhöht werden. Leider gibt es nur sehr wenige genormte Prüfmethode, um die Kratzfestigkeit zu erfassen. Die meisten Verfahren messen die Härte (z. B. Clement-Härte, Pendel-Härte bzw. Bleistift-

Härte) oder den Abrieb (z. B. Taber) von Lacken. Diese korrelieren jedoch nicht mit der Kratzfestigkeit, wie sie durch Nanoadditive erreicht wird.

Bild 1 zeigt den Vergleich der Kratzfestigkeit eines UV-härtenden Klarlacks auf Basis von Polyesteracrylat mit und ohne Zusatz von Nanopartikeln. Dabei wird die ausgehärtete Lackoberfläche mit einer Nylonbürste mit 1000 Hüben verkratzt. Gemessen wird der Glanz vor und nach Verkratzen sowie der Glanzerhalt in Prozent des Ausgangswerts. Der reine UV-Lack erreicht ca. 90 % des Ausgangswerts. Durch Zusatz von 0,25 % Aluminiumoxid mit einer Partikelgröße von 20 nm kann dieser Wert auf ca. 100 % gesteigert werden.

In der Praxis sind derartige Produkte nicht nur in hochpreisigen Segmenten der Kunststofflackierung zu finden, sondern auch in Bereichen, in denen Nanotechnologie nicht direkt erwartet wird. So verbessert beispielsweise der Zusatz von nanoskaligen Füllstoffen die Kratz- und Abriebfestigkeit von UV-lackierten Kunststoffen nachhaltig, wie der Vergleich zwischen der Kontrollprobe oben und der nanoverstärkten Oberfläche unten in Bild 2 zeigt.

Lösemittelklarlacke: Lösemittelbasierende Klarlacke weisen im Vergleich zu UV-härtenden Lacken aufgrund der geringeren Vernetzungsdichte allgemein eine geringere Kratzfestigkeit auf. Daher ist der Einsatz von nanoskaligen Füllstoffen hier von besonderem Interesse. Solche Materialien kommen verstärkt in der Automobillackierung zum Einsatz, so dass die dort verwendeten Kunststoffteile mit einem gleichfalls nanoverstärkten Klarlack auszurüsten sind. Anwendung finden Produkte, die auf speziell oberflächenoptimierten Nanosilica beruhen.

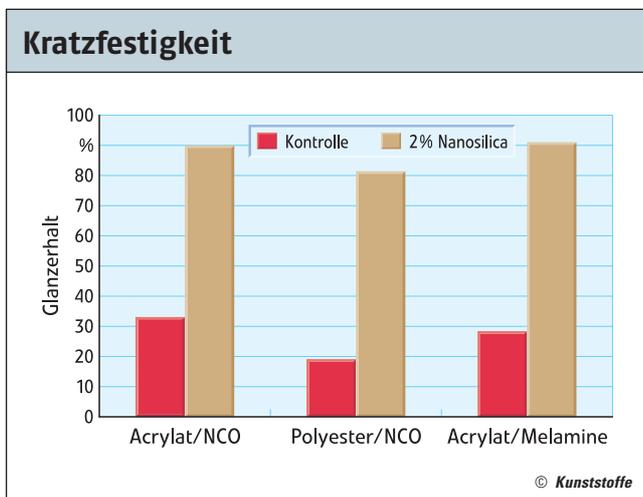


Bild 3. Der Zusatz von 2 % Nanofüllstoff erhöht bei drei unterschiedlichen Lacksystemen die Kratzfestigkeit

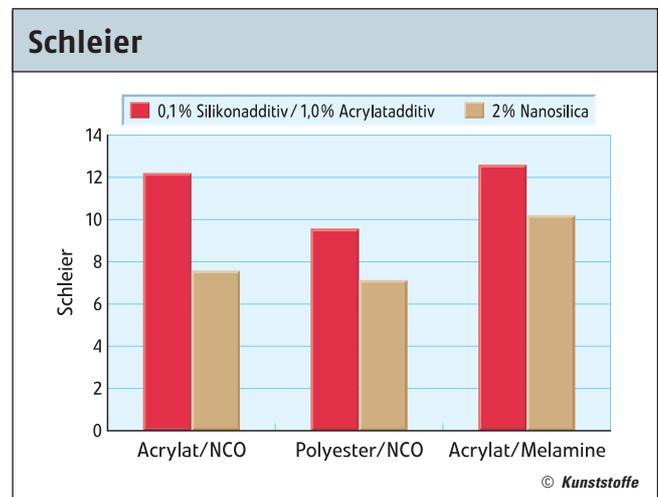


Bild 4. Nanoadditive verringern die Trübung hochglänzender Lackoberflächen

i	Hersteller
<p>BYK-Chemie GmbH Abelstrasse 45 D-46483 Wesel Tel. +49 (0) 2 81/6 70-740 Fax +49 (0) 2 81/6 57-35 www.byk-chemie.com</p>	

Dabei kann wiederum durch Einsatz nur geringer Mengen des Füllstoffs eine deutliche Steigerung der Kratzfestigkeit erreicht werden. Bild 3 verdeutlicht dies für drei Lacksysteme. Durch Zusatz von 2 % nanoskaligen Silica wird der Glanz erhalt von ursprünglich 25 bis 30 % auf über 90 % erhöht. Hier wurde mit einem Crockmeter geprüft (10 Hübe, 9 N Auflagekraft): Als Abbrasivmittel diente ein Textil, das 9 µm Korund enthält.

Durch Einsatz von Nanopartikeln wird zudem der Verlauf des Lackfilms erheblich verbessert, die Oberflächenwelligkeit nimmt ab. Dies lässt sich im Distinctness of Image (DOI) ebenso feststellen wie in einer Schleiermessung. Bild 4 zeigt, wie der Einsatz dieses Additivs nicht nur die Kratzfestigkeit erhöht, sondern zugleich auch den Schleier minimiert und einen besseren Verlauf erzeugt.

Nanomaterialien werden heute intensiv im Bereich der 2K-PUR-Lacke, aber auch bei thermisch härtenden Melamin-systemen untersucht. Aufgrund der geringen Teilchengröße und des kleinen Brechungsindex der Silica eignen sich die Nanofüllstoffe auch hervorragend im Bereich der Lackierung transparenter Kunststoffteile.

Fazit

Durch Einsatz von lediglich 0,25 bis 2 % nanoskaliger Füllstoffe kann die Kratzfestigkeit von Klarlacken signifikant erhöht werden. Dabei ist zu beachten, dass die Eigenschaft Kratzfestigkeit aus dem Zusammenspiel von Lackmatrix, Nanomaterial mit Oberflächenstabilisierung sowie Substrat und Testmethode besteht, die zusammen die Kratzfestigkeit beeinflussen. Durch Einsatz bereits vordispersierter und für die Anwendung hinsichtlich Oberflächenchemie optimierter Nanomaterialien eröffnet sich ein einfacher und sicherer Zugang zur Nanotechnologie auch in der Kunststofflackierung. Dieses „Ready-to-Use“-Konzept wird durch Nanoadditive verwirklicht. Es lässt sich auf andere Lacksysteme ebenso ausweiten wie auf die Beeinflussung weiterer

Lackeigenschaften, z. B. der UV-Stabilität. Die Nanotechnologie befindet sich somit als ein weiteres Element der Optimierung von Lack- und Kunststoffeigenschaften auf dem Weg von der Grundlagenforschung in die kommerzielle Umsetzung. ■

DER AUTOR

DR. THOMAS SAWITOWSKI, geb. 1965, leitet den Bereich Nanotechnologie bei der BYK Chemie GmbH, Wesel; thomas.sawitowski@altanachemie.com

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Scratch-resistant Plastic Surfaces

PAINT. *By using nanoscale materials when painting plastics, a considerable improvement of paint properties such as scratch resistance can be achieved. That gloss and covering ability remain unaffected are especially beneficial aspects for high-gloss finishes.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103750** on our website at www.kunststoffe-international.com