

Hybrid-Frontend Ford Focus

In Anlehnung an die Erstveröffentlichung in Kunststoffe 3/99, München

1	Einleitung.....	1
2	Wirtschaftlich und vielseitig anwendbar	2
3	Präzision im Leichtbau	5
4	Berechnungsmodelle optimieren Hybridkonstruktionen.....	6
5	Polyamid erfüllt extreme Anforderungen	6
6	Automatisierte Herstellung	7
7	Einfaches Recyclingverfahren	7
8	Resümee	8

1 Einleitung

Als erstes Großserienfahrzeug besaß der Ford Focus (C170) ein Frontend, das als Strukturbauteil konsequent in Hybridtechnologie entwickelt wurde. Auch alle Folge Modelle dieser Fahrzeugklasse wurden mit Hybrid-Frontends ausgestattet.

Der Einsatz der Hybridtechnologie verringert das Bauteilgewicht, steigert die Qualität und reduziert die Herstellkosten. Zuverlässige Berechnungsmethoden mit Hilfe Finiter Elemente unterstützen die Auslegung dieser komplexen Bauteile bereits während der Konstruktion.



Bild 1 Ford Focus Frontend

Das Frontend des Ford Focus (Bild 2) ist Bestandteil der Karosseriestruktur und trägt in allen Betriebs- sowie Crash-Situationen zur Stabilisierung des Fahrzeugvorderwagens bei. Ebenso werden die Positionen der Einbauteile, z. B. der Scheinwerfer,

die Lage der Motorhaube und ihr Abstand zu den Kotflügelbänken über das Frontend definiert. D. h. um zeitaufwendige Einstellarbeiten in der Endmontage des Fahrzeuges zu vermeiden, muss das Frontend sehr engen Toleranzen entsprechen. Die Vielschichtigkeit dieser Anforderungen in Verbindung mit dem enorm gestiegenen Qualitätsstandard im heutigen Automobilbau sowie der permanenten Zielsetzung einer Gewichtsreduzierung lässt herkömmliche Bauweisen inzwischen an die Grenzen der Entwicklungsmöglichkeiten stoßen.

Die wegweisende, von LANXESS entwickelte und patentierte Hybridtechnologie dagegen verbindet die Vorteile zweier vollkommen unterschiedlicher Werkstoffe sowie entsprechender Produktionsmethoden miteinander und stellt der konstruktiven Entwicklung völlig neue Möglichkeiten zur Verfügung.

In intensiver Zusammenarbeit des Rohstoffherstellers LANXESS, dem Automobilkonzern Ford, der [Plastal GmbH, Weißenburg](#) und dem Blechteilehersteller Kirchhoff Kutsch GmbH sowie dem Formenbauer Misslbeck entstand ein Karosseriebauteil (Bild 1) in bis dahin höchster funktionaler Integrationsdichte.

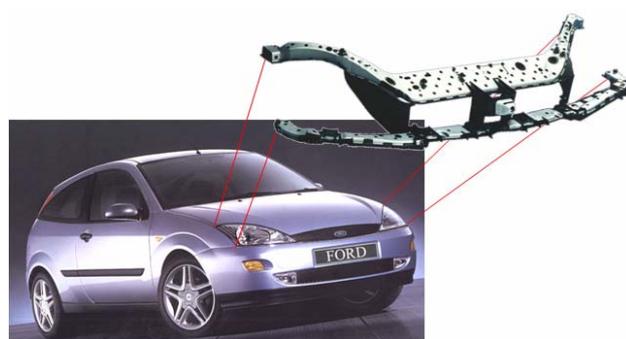


Bild 2 Als Bestandteil der Karosseriestruktur trägt das Frontend des Ford Focus in allen Betriebs- sowie Crash-Situationen zur Stabilisierung des Fahrzeugvorderwagens bei.



2 Wirtschaftlich und vielseitig anwendbar

Hybridkonstruktionen ermöglichen die Herstellung komplexer und montagefertiger Bauteile in wenigen Arbeitsschritten und kombinieren dabei das wirtschaftliche Verarbeitungsverfahren Metall-Tiefziehen mit dem Spritzgießen: An ein tiefgezogenes und gelochtes Blech wird im Spritzgießverfahren eine Kunststoffstruktur angespritzt. Die Kunststoffschmelze dringt dabei durch die eingestanzten Öffnungen des Blechs und um dessen Umfangskanten und bildet zwischen der Formnestwand des Werkzeugs und dem eingelegten Metallteil einen Schließknopf bzw. eine Klammer und einen Keder (Bild 3).

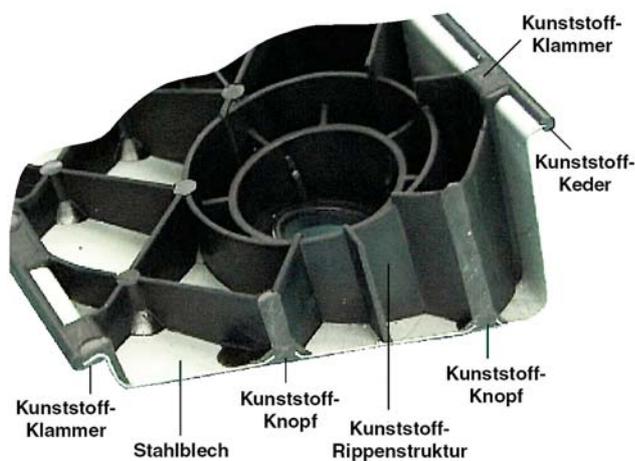


Bild 3 Profilquerschnitt einer Hybridstruktur mit Bezeichnung der speziellen Konstruktionselemente

Die entstehende form- bzw. kraftschlüssige Verbindung ist hochbelastbar, auch ohne Verwendung eines Haftvermittlers. Der übliche Korrosionsschutz einer kathodischen Tauchlackierung (KTL) ist auch nach dem Spritzgießprozess uneingeschränkt funktionsfähig und stört nicht die Verbindungsintensität der ungleichen Materialien. Die entstehende Materialverbundstruktur verfügt über physikalische Eigenschaften, die mit homogenen Materialien nicht zu erzielen sind.

Die tragenden Metallstrukturen des Materialverbunds lassen sich sehr dünnwandig auslegen, denn die filigran angespritzte Verrippung aus Kunststoff wirkt der Neigung derartig dünner Metallkonstruktionen, unter Belastung zu knicken oder zu beulen, zuverlässig entgegen. Dadurch können die Metall-

strukturen trotz geringster Wanddicken dichter an die Fließgrenze des Materials belastet werden, ohne vorher infolge geometrischer Instabilität zu versagen.

Bild 4 und Bild 5 zeigen eine Gegenüberstellung von Kraft-Verformungs-Charakteristiken verschiedener Prüfkörper, die auf Druck und Biegung entsprechend der im Bild unten rechts dargestellten Schemata belastet wurden. Die schwarze Kurve entspricht der Charakteristik eines einfachen schalenförmigen Blechprofils, wie es im Karosseriebau üblicher Weise verwendet wird. Das Leistungsvermögen des Blechbauteils lässt sich konstruktiv durch Verwendung eines Schließbleches steigern (gelbe Kurve). Die Erhöhung der Belastbarkeit des Blechprofils durch den Verbund mit der Kunststoffrippenstruktur ist deutlich erkennbar (rote Kurve). Alle Prüfkörper weisen hier eine Blechwanddicke von 0,7 mm auf. In weiteren Tests konnte bestätigt werden, je geringer die Blechwanddicke und je größer die Profilquerschnitte, desto stärker wirkt sich der Stabilisierungseffekt aus. Neben der deutlich höheren Belastbarkeit der Hybridvarianten ist gleichzeitig auch eine wesentlich verbesserte Energieaufnahme erreichbar. Des Weiteren lässt sich die angespritzte Rippenstruktur auch zur Erhöhung der extrem niedrigen Verdrehsteifigkeit der offenen Blechprofile nutzen (Bild 6).

Zusätzliche Schließbleche sind oft nicht mehr erforderlich, was die rationelle Herstellung von Blechstrukturen entscheidend verbessert. Auch wenn sich die Steifigkeit eines geschlossenen Blechprofils durch die Kunststoffverrippung nicht ganz erreichen lässt, die Ergebnisse sind konstruktiv verwertbar, und im Gegensatz zur reinen Stahllösung kann die Verdrehsteifigkeit über den E-Modul des Kunststoffs sehr einfach variiert werden. Grundsatzuntersuchungen bestätigen die Effizienz der Kunststoff/Metall-Verbundstrukturen in Bezug auf das Gewicht der einzelnen Testprofile (Bild 7).



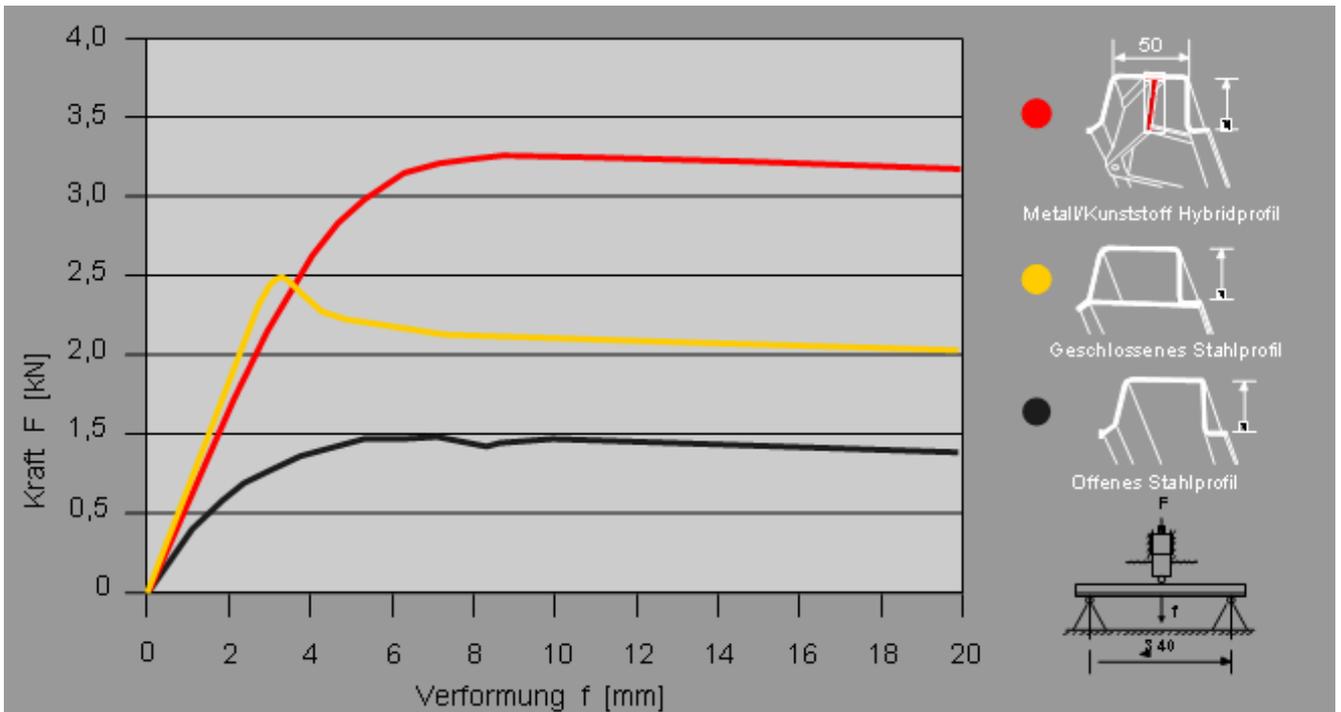


Bild 4 Kraft-Verformungscharakteristik bei Biegebelastung verschiedener Profilabschnittsmuster

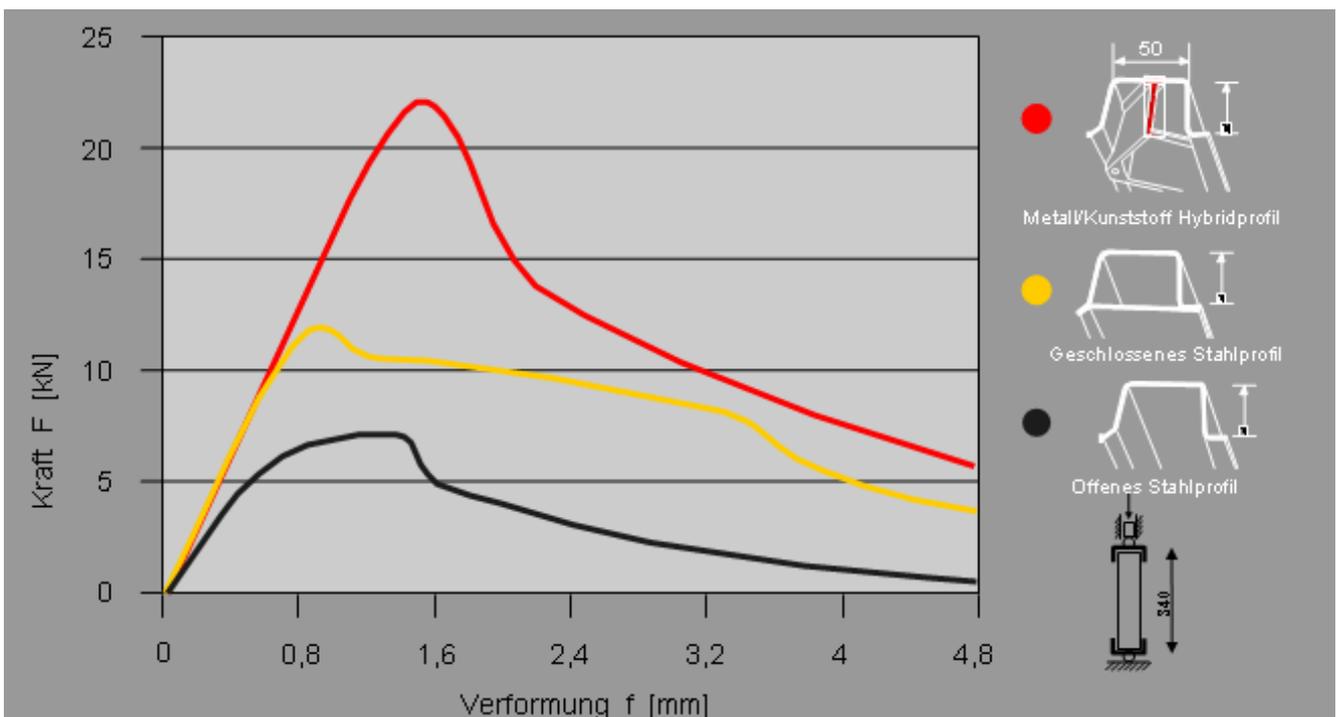


Bild 5 Kraft-Verformungscharakteristik bei Druckbelastung verschiedener Profilabschnittsmuster

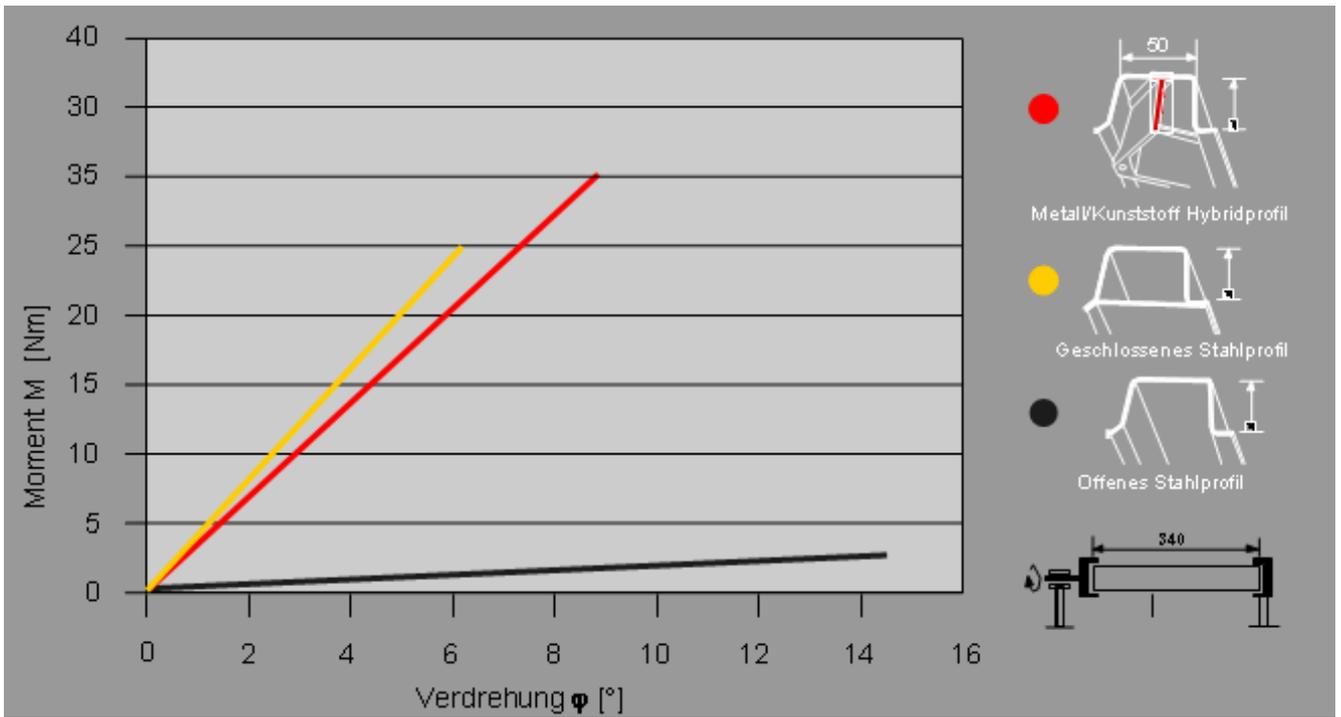


Bild 6 Kraft-Verformungscharakteristik bei Torsionsbelastung verschiedener Profilabschnittsmuster

Beanspruchung / Profilart		Beanspruchung		
		Biegung	Druck	Torsion
		Belastbarkeit	Belastbarkeit	Steifigkeit
	PA-GF 30 % x-verrippt Stahl s = 0,7 mm	1,8	1,8	13
	Stahl s = 0,7 mm	1,1	1	28 geschlossen 5 offen
	Stahl s = 0,7 mm	1	1	1

Bild 7 Gewichtsbezogene Stabilisierungsfaktoren bei Biegung, Druck und Torsion an verschiedenen Profilabschnittsmustern

3 Präzision im Leichtbau

Neu bei der Produktion des Ford Focus war, dass erstmals ein Frontend als Hybridausführung bereits während der Karosseriefertigung an das Fahrzeug montiert wird. Diese Vorgehensweise lässt sich nur mit einem sehr präzise gefertigten Bauteil durchführen, welches entsprechend der angrenzenden Karosseriestrukturen ausgerichtet und fixiert wird und damit gleichmäßig schmale Fugenbilder und flächenbündige Übergänge („new edge design“) zwischen den einzelnen Karosseriekomponenten des Vorderwagens ohne zusätzliche Richt- bzw. Einstellarbeiten ermöglicht.

Die Verbundkonstruktion besteht aus zwei profilierten Stahlblechteilen und einem Schlossblech, die mit einer spritzgegossenen Kunststoffrippenstruktur ergänzt und verbunden sind, wobei das Blech nicht vollflächig bedeckt ist. Die Bleche sind dünner ausgelegt als es bei einer reinen Stahlblechkonstruktion möglich ist. Durch die Verwendung von höherfestem Stahlblech sowie der Stabilisierung durch die Kunststoffrippen ist diese Konstruktion sogar höher belastbar. Gegenüber einer reinen Stahlvariante entfallen viele mit großen Toleranzen und Zusatzkosten verbundene Füge- und Montageoperationen. Im

Vergleich zu einer reinen Kunststofflösung ist die Konstruktion in weit geringerem Maße von Einflüssen wie Materialschwindung, Klima und Temperaturschwankungen abhängig. Zusätzlich kommt ihr der hohe E-Modul des Stahlblechs zugute. Das Spritzgießen ermöglicht die Integration einer Vielzahl von Funktionen in einem Fertigungsschritt, z. B. Befestigung und Positionierung der Anbauaggregate wie Kühler, Haubenschloss, Kotflügel, Kondensator, Scheinwerfer, Kühlergrill, Ladeluftkühler, Scheinwerferwaschdüsen. Befestigungselemente zur Fixierung der Stoßfängerschalen, für Schläuche, Haubenschlossvorfixierung sowie ein Gehäuse zur Abschirmung des Schlossbereichs werden u. a. gleich mit angespritzt (Bild 8).

Zusätzlich ließ sich mit Hilfe des ökonomischen Herstellungsprozesses eine weitere innovative Funktion im Frontend realisieren: Um die Diebstahlsicherheit des Fahrzeugs zu erhöhen, wurde ein abgeschirmtes Schließsystem für die Motorhaube mit Schließzylinder in das Frontend integriert. Die Montage sämtlicher Anbauteile ist schnell und einfach durchzuführen, die Aufnahmen geben eine genaue Ausrichtung der Anbauaggregate bereits vor, was sich positiv auf die Montagekosten und auf die Qualität des Fahrzeugs auswirkt.

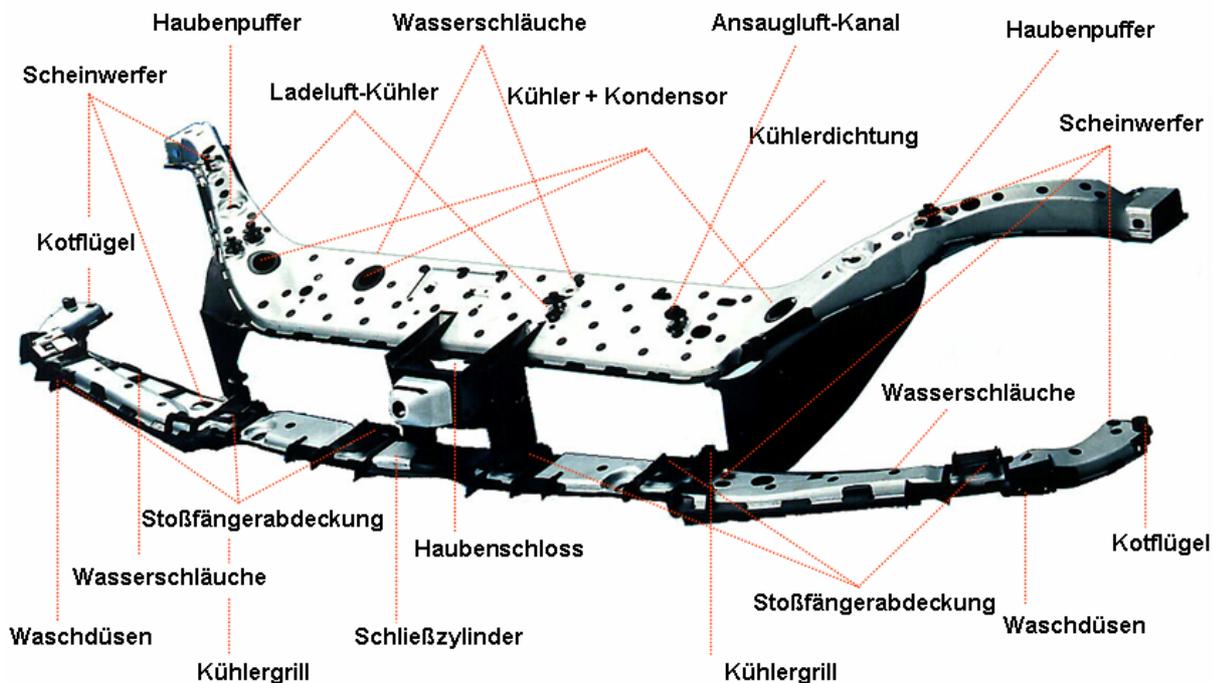


Bild 8 Funktionsintegration am Frontendträger des Ford Focus



4 Berechnungsmodelle optimieren Hybridkonstruktionen

Eine Herausforderung der Hybridkonstruktionen ist das Schwindungsverhalten der Polymerwerkstoffe. Insbesondere an den Verbindungsstellen von Metall und Kunststoff entstehen Spannungen, aus denen Verformungen resultieren können. Die Verzugsberechnung ist daher von großer Bedeutung, und das besonders für glasfaserverstärkte Produkte, weil sich durch die Orientierung der Fasern die Schwindung beeinflussen lässt. Ein von der LANXESS AG weiterentwickeltes komplexes Berechnungsmodell bietet die Möglichkeit, den durch Materialschwindung möglichen Verzug von Hybridstrukturen zu berechnen und auszugleichen. Die Methode basiert auf einer Verknüpfung von rheologischen und mechanischen Finite-Elemente (FE) Berechnungsmodellen.

In einem ersten Schritt wird ein getrenntes FE-Modell der Metall- sowie der Kunststoffstruktur erstellt. Zur Bestimmung der für die Schwindung maßgeblichen Faserorientierung im Bauteil wird eine Füllsimulation durchgeführt. Die Kenntnis der genauen Faserorientierung ist für eine Verzugsberechnung besonders wichtig, da die Schwindung des Kunststoffs je nach Faserlage unterschiedlich groß ist. Quer zur Fließrichtung der Kunststoffschmelze ist die Schwindung größer als längs zur Fließrichtung.

Über eine Software-Schnittstelle werden die Ergebnisse der rheologischen Berechnung sowie die beiden Finite-Elemente Modelle des Kunststoffs und des Metalls zusammengeführt. In einer anschließenden mechanischen Berechnung lassen sich die durch Schwindung des Kunststoffs hervorgerufenen inneren Kräfte ermitteln und der Verzug der gesamten Hybridstruktur berechnen (Bild 9). Die komplexe Auslegungsmethode ermöglicht Vorausberechnungen, anhand dessen die Maßhaltigkeit von Hybridbauteilen im Vorfeld optimiert werden kann, ohne dass zuvor langwierige Probeläufe erforderlich wären. Der Herstellungsprozess wird sicherer und kostengünstiger. Die Zuverlässigkeit des Berechnungsmodells wurde im Fall dieses Frontends an-

hand von Probestücken überprüft, und das Modell stellte sich als sehr praxisnah heraus.

5 Polyamid erfüllt extreme Anforderungen

An den Polymerwerkstoff werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Zum Einsatz kam bei dieser Anwendung das glasfaserverstärkte Polyamid 6 (Durethan® BKV 30). Besonders für technische Strukturbauteile haben sich glasfaserverstärkte Polyamidwerkstoffe in langjährigem Einsatz in einer Vielzahl von Anwendungen bewährt. Durethan bietet je nach Glasfasergehalt Festigkeiten bis zu 150 MPa und Steifigkeiten mit einem Zugmodul bis hin zu 13.000 MPa (konditioniert).

Bedingt durch die Fähigkeit der Wasseraufnahme besitzt Polyamid im Vergleich zu anderen glasfaserverstärkten Polymerwerkstoffen ein deutlich höheres Zähigkeitsniveau. Weiter steigern lässt sich die Zähigkeit insbesondere die Schlagzähigkeit, besonders im Tieftemperaturbereich durch eine zusätzliche Elastomermodifikation. Die gute Zähigkeit des Polyamids ist verantwortlich für ein gutes Überlastverhalten der Hybridstrukturen.

Allen teilkristallinen Durethan-Typen gemeinsam ist die außerordentlich gute dynamische Festigkeit (Dauerfestigkeit). In der Anwendung des Hybrid-Frontends zeigt das Polyamid eine gute Dauerfestigkeit bei wechselnden Beanspruchungen.

Der teilkristalline Polymerwerkstoff eignet sich besonders für die Kombination mit Metall. Die Fähigkeit, Eigenspannungen während des Spritzprozesses aber auch im praktischen Gebrauch durch Relaxation abzubauen, ist hier von entscheidender Bedeutung.

Die Glasfaserverstärkung garantiert eine hohe Dimensionsstabilität bei einer ebenso außerordentlich hohen Wärmeformbeständigkeit. Die erforderlichen Festigkeiten sind auch bei Temperaturen von über 100 °C gewährleistet. Das Hybridteil wird bei Ford, wie bereits dargestellt, während des Rohbaus mit der Karosserie verschraubt. Deshalb muss der Kunststoff mindestens 20 min lang eine Temperaturbeständigkeit von über 190 °C aufweisen. Denn die Karosserie-Rohbauten durchlaufen die gesamte kathodische Tauchlackierung (KTL) und anschlie-



ßend die Trocknungsöfen, wo sie Temperaturen bis 200 °C ausgesetzt sind.

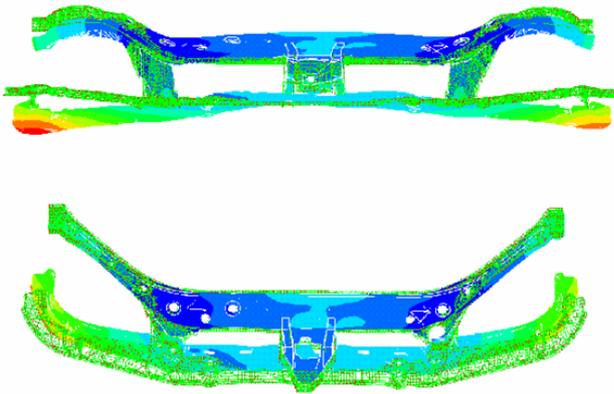


Bild 9 Das Verzugsverhalten lässt sich mittels FEM Simulation gut sichtbar machen und erkennen

6 Automatisierte Herstellung

Hergestellt wurden werden die einbaufertigen Frontend-Bauteile bei Plastal GmbH, Pappenheim und Plastal S.A., Valencia. Die Produktionsanlagen bestehen jeweils aus Spritzgießmaschinen mit einer auf das Bauteil ausgerichteten Peripherie. Der Produktionsprozess beginnt mit der manuellen Positionierung der vorgefertigten Blechteile auf einem Kettenfördersystem, das sich mit mehreren Einlegesätzen bestücken lässt und gleichzeitig die fertigen Bauteile dem Bedienpersonal zurückführt.

Das Handlingsystem des Linearroboters übernimmt die Blechteile und überprüft sie mit Hilfe von Sensoren auf Vollständigkeit und die definierte Maßhaltigkeit. Im Anschluss fährt der Linearroboter in das geöffnete Spritzgießwerkzeug. Hier entnimmt der Roboter das fertige Bauteil und legt im gleichen Arbeitsschritt unmittelbar nachfolgend die Blechteile in das Werkzeug ein (Bild 10), wo sie mit Hilfe der Kernzüge fixiert werden. Auf dem Weg zum Kettenfördersystem passiert das Frontend eine Angussabschneidevorrichtung, wo alle Angüsse gleichzeitig entfernt werden. Vor Ort gemahlen, gelangen sie unmittelbar zurück in den Rohstofffluss.

Die Frontends werden manuell dem Kettenfördersystem entnommen und im benachbarten Einschraubrundtisch positioniert. Hier schraubt ein Roboter nacheinander zuvor angesteckte Befestigungslaschen an. Die Schrauben werden automa-

tisch zugeführt und verfügen bereits über eine aufgerollte Unterlegscheibe. Nach dem Festziehen löst der Roboter die Schrauben wieder definiert, so dass die Befestigungslaschen beweglich bleiben und das Frontend-Bauteil sich bei der Endmontage der übrigen Karosserie anpassen kann.

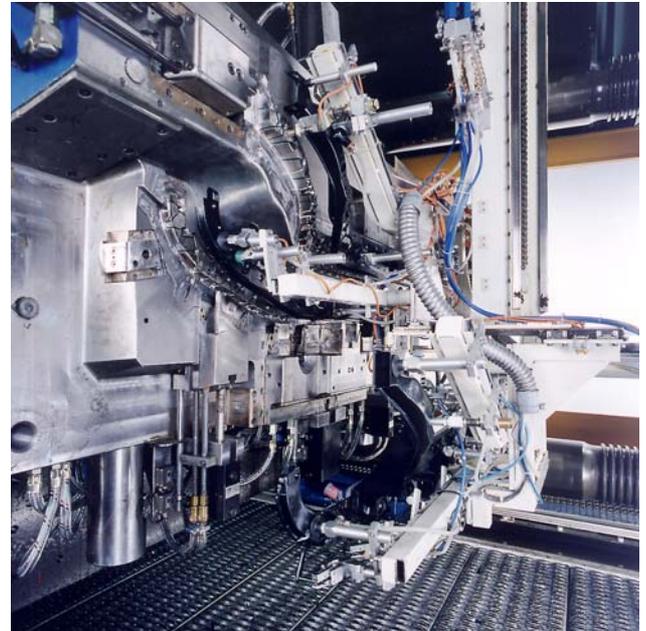


Bild 10 Die Herstellung des Hybridteils erfolgt automatisch vom Einlegen der Blechteile bis zum Abschneiden der Angüsse vom fertigen Bauteil

Trotz der Komplexität des Bauteils und der hohen Anforderung an die Maßhaltigkeit zeichnet sich die Produktion durch sehr geringe Ausschussraten aus.

7 Einfaches Recyclingverfahren

Trotz der verschiedenen eingesetzten Werkstoffe lässt sich die Hybridkonstruktion völlig unproblematisch rezyklieren: In einer Hammermühle wird das Verbundteil zerkleinert. Über Siebe und Magnetabscheider lassen sich die beiden Komponenten gut separieren. Die Sortenreinheit der so gewonnenen Materialien liegt bei über 98 %. Die wiedergewonnenen Werkstoffe können aufbereitet und direkt in den Produktionskreislauf zurückfließen oder für die Fertigung anderer Teile eingesetzt werden. Prüfkörper aus dem rezyklierten Kunststoff zeigen nahezu das gleiche Eigenschaftsprofil wie das Originalmaterial.

8 Resümee

Die Hybridtechnologie eröffnet der Automobilindustrie ein großes Innovationspotential insbesondere für die Herstellung von Montageträgerbauteilen für umfangreiche Systembaugruppen mit hoher Integration. Als Hauptmerkmale bietet sie exzellente Struktureigenschaften und gutes Überlastverhalten bei geringem Gewicht, hohe Integrationsmöglichkeit von Funktionselementen bei gleichzeitig hoher Präzision in der Herstellung als auch im praktischen Gebrauch. Hybridteile lassen sich in Großserien nach den wirtschaftlichsten Verfahren herstellen.

Neben dem Frontend sind weitere Strukturbauteile, wie beispielsweise der Schalttafelquerträger unterhalb der Instrumententafel, Strukturbauteile in aufwendig ausgestatteten Fahrzeugsitzen, Strukturen der Mittelkonsole oder der hinteren Hutablage im Fahrzeug und vieles mehr in der Hybridtechnologie umsetzbar.

Die Hybridbauweise ist in der Großserie des Automobilbaus erprobt – damit ist der Weg für weitere Anwendungen geebnet.

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in Bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen – und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Versuchsprodukte (Typbezeichnung beginnend mit DP, TP, KL oder KU)

Es handelt sich um ein Verkaufsprodukt im Versuchsstadium (Versuchsprodukt), dessen Entwicklung noch nicht abgeschlossen ist. Endgültige Aussagen über Typkonformität, Verarbeitungsfähigkeit, Langzeiterprobung unter verschiedenen Bedingungen oder sonstige produktions- und anwendungstechnische Parameter können daher nicht gemacht werden. Eine endgültige Aussage über das Produktverhalten bei Einsatz und Verarbeitung kann nicht getroffen werden. Jegliche Verwendung des Versuchsprodukts erfolgt außerhalb unserer Verantwortung. Die Vermarktung und dauerhafte Belieferung mit diesem Material ist nicht gewährleistet und kann jederzeit eingestellt werden.

