

Potenziale für semistrukturale Serienbauteile aus Epoxid-SMC

Der Einsatz der Sheet-Molding-Compound-Technik in Hochleistungsanwendungen im Automobil ist mittels kosteneffizienten epoxidharzbasierten Systemen möglich. Evonik hat mit der Produktgruppe Vestalite S einen elementaren Baustein dafür entwickelt. Im Rahmen des EU-Projekts Alliance wurde nun mit Partnern das Potenzial in einer Bauteilanwendung aufgezeigt.

Hochleistungs-SMC für Strukturbau­teile

Als robuster, schneller und kosteneffizienter Fertigungsprozess kommt die Sheet-Molding-Compound(SMC)-Technik seit Jahrzehnten für nichttragende oder semistrukturale Bau-

der Matrix eine übergeordnete Rolle für die Leistungsfähigkeit der SMC-Formulierungen. Dafür eignen sich insbesondere epoxidbasierte Lösungen, die im Vergleich zu herkömmlichen Polyester- oder Vinylestersystemen weitaus bessere mecha-

Nächste Generation Epoxid-SMC

Das aminbasierte Härter­system Vestalite S, eine eingetragene Marke von Evonik, [Bild 1](#), wurde gezielt auf diese prozesstechnischen Herausforderungen hin entwickelt und mit Unterstützung von Vestaro zur Anwendung gebracht, um die Herstellung kosteneffizienter Epoxid-SMC-Bauteile für die Automobilindustrie zu ermöglichen. Die im Folgenden genannten Kennwerte und Eigenschaften der Vestalite-S-SMC wurden innerhalb einer Werkstoff- und Prozessstudie gemeinsam mit dem Fraunhofer ICT in Pfinztal ermittelt.

Vestalite-S-basierte Sheet Molding Compounds zeichnen sich insbesondere durch

Eine neue Generation von Epoxidhärt­ern kann die bisherigen Nachteile hinsichtlich Prozessführung und Kosten auflösen.

teile in Serienanwendungen für Pkw und Nutzfahrzeuge zum Einsatz. Vorteile dieser Technik sind neben der großen geometrischen Designfreiheit und der Möglichkeit zur Funktionsintegration auch die etablierten großserientauglichen Prozesse, die bereits heute große Fertigungsstückzahlen erlauben. Derzeit werden SMC-Bauteile daher mehr und mehr für semistrukturale und strukturelle Anwendungsbereiche entwickelt. Voraussetzung dafür sind innovative Werkstoffe mit hohen mechanischen Eigenschaften, die den erhöhten Anforderungen gerecht werden und Leichtbaupotenziale erschließen können.

Neben dem Einsatz der mechanisch hochbelastbaren Fasern spielt die Auswahl

nische Eigenschaften im Verbund erlauben. Zusätzlich können durch den Einsatz von Epoxidformulierungen Emissionswerte bei der Herstellung und Verarbeitung sowie in der späteren Anwendung, zum Beispiel im Interieur, deutlich reduziert werden. Angesichts der aufkommenden Regularien bezüglich der Luftqualität im Fahrzeuginnenraum ist dies ein herausragender Vorteil für künftige Anwendungen im Innenraum. Bislang wies die Epoxidhärtung allerdings Nachteile gegenüber der Polyester- und Vinylester-Formulierungen hinsichtlich Prozessführung und Kosten auf, die die neue Generation von Epoxidhärt­ern nun lösen kann.

Das Joint Venture Vestaro

Vestaro wurde 2016 als Joint Venture von Evonik und Forward Engineering gegründet, um das Wissen der Fachbereiche Chemie und Ingenieurwesen zu vereinen. Dabei unterstützt Vestaro die Entwicklung und Vermarktung von automobilen Faser-verbundwerkstoff-Produkten von Evonik. Ziel des Joint Ventures ist die erfolgreiche Interaktion zwischen Werkstoff, Design und Prozess entlang des gesamten Entwicklungsprozesses.

Autoren



DR.-ING. LEIF ICKERT ist Geschäftsführer der Vestaro GmbH in München und Marketing Manager für Automotive Composites bei der Evonik Resource Efficiency GmbH in Marl.



JAN BOCHSINGER, M. SC., ist Projektingenieur Leichtbau Composites und Projektleiter für die Produktgruppe Vestalite S bei der Vestaro GmbH in München.



SEBASTIAN DE NARDO, M. SC., ist Laborleiter in der Anwendungstechnik des Geschäftsbereichs Crosslinkers bei der Evonik Resource Efficiency GmbH in Marl.



DINESH THIRUNAVUKKARASU, M. SC., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Karosserie des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen in Aachen.

eine hohe Lagerstabilität im nicht ausgehärteten Zustand (B-Stage) und kurze Härtingszeiten aus. Dies wird durch eine zweistufige Reaktion ermöglicht. Die erste Reak-

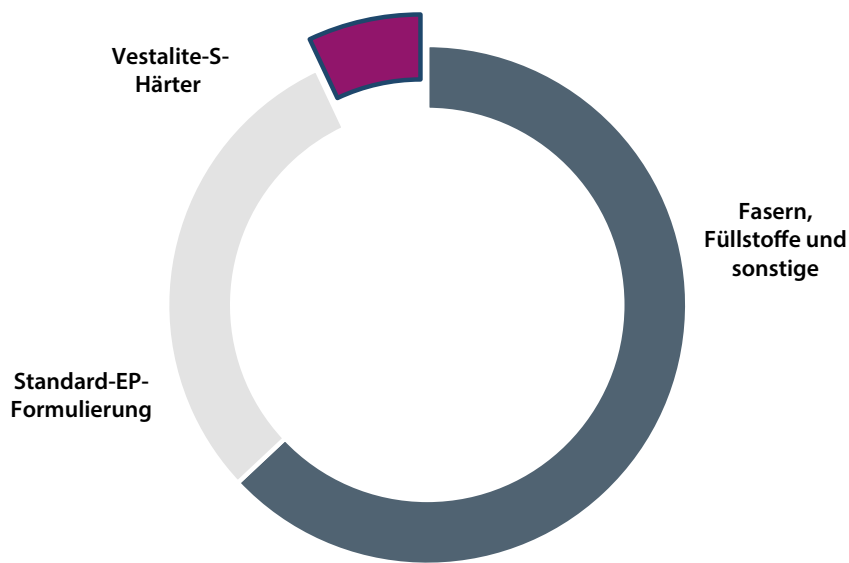


BILD 1 Schematische Darstellung einer beispielhaften Vestalite-S-basierten SMC-Formulierung (© Vestaro)

tion erfolgt im Anschluss an die SMC-Compoundierung bei Raumtemperatur und stoppt bei einem chemischen Umsatz von etwa 60 %. Die zweite Reaktion wird erst oberhalb von 120 °C ausgelöst. Dadurch entsteht ein SMC-Werkstoff, der im B-Stage einen festen Zustand bei Raumtemperatur aufweist und daher eine Lagerstabilität von mehreren Wochen besitzt. Der Härter ist so auf den Prozess abgestimmt, dass der SMC-

spielhafte Darstellung einer möglichen Prozesskette für Vestalite-S-basierte Sheet Molding Compounds.

Das Vestalite-S-Härtersystem besitzt eine besonders niedrige Viskosität, wodurch beim Compoundieren eine Imprägnierviskosität von 500 bis 800 mPa s der Gesamtformulierung erreicht werden kann. Diese ermöglicht die Durchtränkung der Fasern, wodurch typische Fasermassenanteile von

Eine zweistufige Reaktion führt zu einer hohen Lagerstabilität im nicht ausgehärteten Zustand.

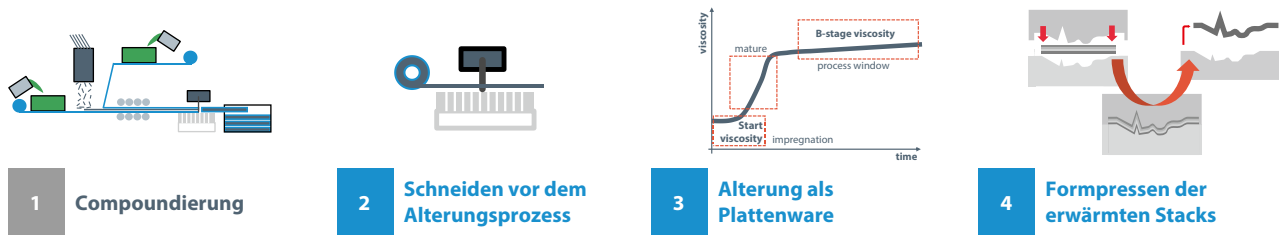
Werkstoff ein optimales Fließverhalten beim Verpressen zeigt und innerhalb von 3 min ausgehärtet werden kann.

Kosteneffiziente Prozesskette

Aufgrund des festen Zustands des SMC-Werkstoffs im B-Stage empfiehlt es sich, eine Anpassung der Prozesskette vorzunehmen, die eine Reduktion der Prozessschritte und damit eine kosteneffiziente Herstellung ermöglicht. Bild 2 zeigt die bei-

über 65 % realisiert werden können. Die gute Haftung zwischen Faser und Matrix sowie der hohe Faservolumengehalt sind ausschlaggebend für die mechanischen Eigenschaften der Vestalite-S-basierten SMC-Systeme.

Im Anschluss an den Compoundierungsprozess wird der SMC-Werkstoff zu bauteilspezifischen Platten beliebiger Größen zugeschnitten. Die Schneidfähigkeit des Werkstoffs kann durch einen zusätzlichen Schnelleindickungsprozess,



Vestalite S und der konventionelle SMC-Prozess

Unterschied: Vestalite-S-basiertes SMC-Material weist einen **festen Zustand im B-stage** auf

BILD 2 Beispielhafte Vestalite-S-Prozesskette (Unterschiede zu herkömmlichen SMC-Prozessen blau hervorgehoben) (© Vestaro)

bei dem der Alterungsvorgang beschleunigt wird und die exotherme Reaktivität reduziert wird, verbessert werden. Durch einen definierten Wärmeeintrag, beispielsweise durch Heizplatten oder einen Durchlaufofen, wird der SMC-Werkstoff in einen lederartigen Zustand überführt. Das Temperaturprofil und die Dauer des Schnelleindickungsprozesses sind dabei abhängig von der Abzugsgeschwindigkeit sowie weiterer Prozessparameter des Compoundierungsprozesses.

Nach einer dreitägigen Lagerung der SMC-Platten bei Raumtemperatur kann der Werkstoff verpresst werden. Der finale Zustand des B-Stages, bei dem der SMC-Werkstoff eine Glasübergangstemperatur von etwa 55 °C besitzt, besteht nach einer

Alterungsdauer von etwa einer Woche. Um einen möglichst schnellen Wärmeübergang in den SMC-Werkstoff gewährleisten zu können, wird er vor dem Pressprozess aufgewärmt. Dies kann entweder durch einen separaten Aufwärmprozess, wie etwa im Trockenschrank, oder durch einen Zwischenschritt beim Pressprozess, bei dem die Presse zunächst nur auf Kontakt geschlossen wird, realisiert werden.

Die hohen Abzugsgeschwindigkeiten, die aufgrund der niedrigen Imprägnierviskosität möglich sind, das direkte Zuschneiden nach der Compoundierung (In-Line-Cutting) sowie die kurzen Zykluszeiten beim Pressen des Werkstoffs ermöglichen die schnelle und kosteneffiziente Herstellung Vestalite-S-basierter SMC-Bauteile.

Prozesstechnische Vorteile

Neben den prozesstechnischen Vorteilen gegenüber herkömmlichen epoxidharzbasierten SMC-Werkstoffen können durch den Vestalite-S-Härter SMC-Bauteile mit guten mechanischen Eigenschaften hergestellt werden. Bild 3 zeigt Festigkeits- und Steifigkeitswerte von Vestalite-S-basierten SMC im Vergleich mit herkömmlichen Systemen auf Polyester-, Vinylester- und Epoxidbasis. Insbesondere der hohe E-Modul des kohlenstofffaserverstärkten Vestalite-S-SMC sowie die Festigkeitswerte des glasfaserverstärkten Vestalite-S-SMC ermöglichen ein hohes Leichtbaupotenzial.

Wie alle Epoxide weisen Vestalite-S-basierte SMC keine Styrol- und nur sehr geringe Emissionen von flüchtigen organi-

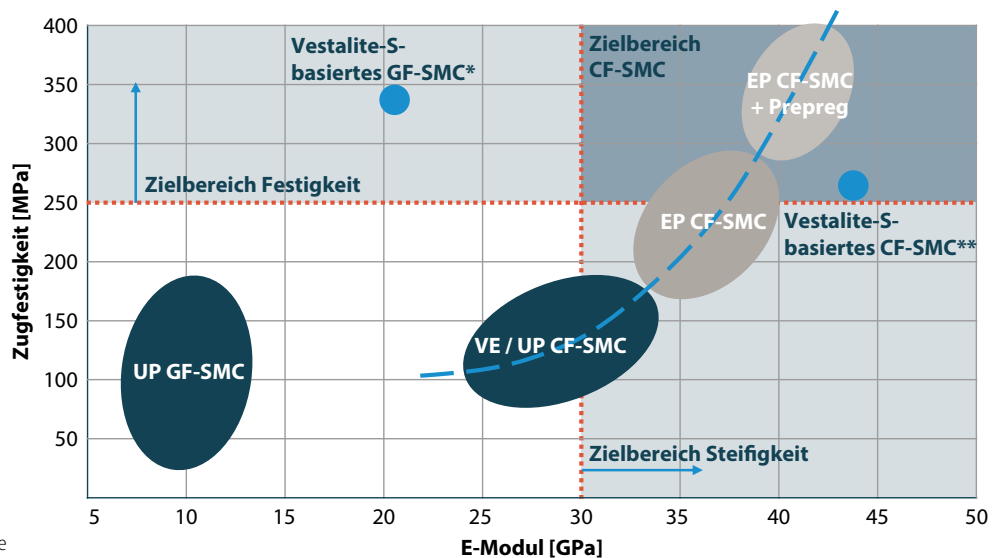


BILD 3 Vergleich der mechanischen Eigenschaften verschiedener SMC-Systeme mit den Vestalite-S-Kennwerten, basierend auf der Werkstoffcharakterisierung am Fraunhofer ICT (© Vestaro)

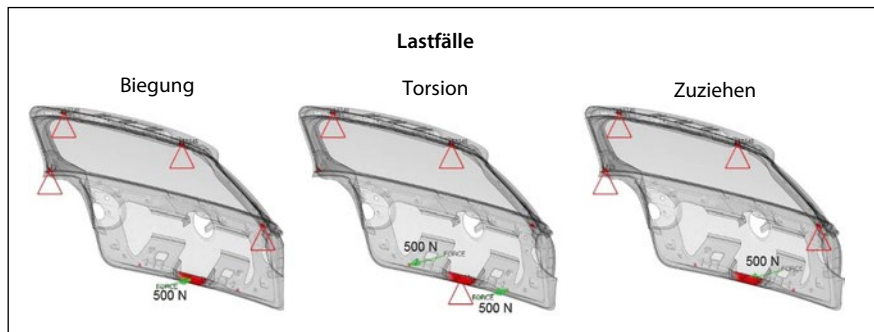
*Fasertyp: OC ME 1510 | Faser-Massenanteil: 67 Gew.-%

**Fasertyp: T700 SC-12000-50C | Faser-Massenanteil: 68 Gew.-%

schen Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOC) im Bauteil auf. Bei den nach VDA 278 durchgeführten Untersuchungen wurden VOC- und Fogging-Werte im Bereich <10 µg/g ermittelt.

Potenziale auf Bauteilebene

Im Rahmen des Leichtbauwettbewerbs Open Innovation Challenge innerhalb des Alliance-Projekts wurde das Potenzial des Vestalite-S-basierten CF-SMC auf Bauteil-ebene dargestellt. Dabei wurden die erzielten Erkenntnisse der neuen Technik in einem virtuellen Demonstrator prototypisch umgesetzt. Als Referenzbauteil diente eine Stahlheckklappe, innerhalb derer gemäß der spezifischen Ziele des Alliance-Projekts das Innenblech durch ein SMC-Bauteil ersetzt wurde. Für die Auslegung der SMC-Variante wurden Anforderungen an die Steifigkeitswerte für bestimmte Lastfälle durch das Institut für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen definiert. Innerhalb der Simulation am ika wurden Rippenverlauf und Wandstärke des SMC-Bauteils entsprechend der Steifigkeitsanforderungen angepasst. Die Simulationsergebnisse, Bild 4, zeigen, dass die Steifigkeitswerte der verschiedenen Lastfälle die Werte der Stahlreferenz erreichen, während das Bauteilgewicht um nahezu 50 % reduziert werden konnte. Durch den Einsatz des Vestalite-S-



		Stahlreferenz	Vestalite-S-basiertes CF-SMC
Steifigkeit [kN/mm] (bei Torsion [kNm/°])	Biegung	0,11	0,11 (± 0 %)
	Torsion	0,81	1,02 (+ 25 %)
	Zuziehen	0,17	0,20 (+ 17 %)
Gewicht Innenblech [kg]		3,96	2,01 (- 49 %)

BILD 4 Ergebnisse der Heckklappen-Steifigkeitsuntersuchungen im Rahmen der Simulation am ika (© Vestaro)

basierten SMC-Werkstoffs konnte bereits bei dieser vorläufigen Auslegung das Gewicht der Heckklappeninnenstruktur von ursprünglich 3,96 kg (Stahlvariante) auf 2,01 kg reduziert werden. Als Ausblick kann darauf hingewiesen werden, dass bei einer SMC-gerechten Auslegung der gesamten Heckklappe weitere Gewichtseinsparpotenziale durch Funktions- und Bauteilintegration möglich sind,

die sich in gleicher Weise positiv auf die fertigungsspezifischen und damit die ökonomischen Betrachtungen auswirken.

Kostenreduktion durch Funktionsintegration

Der gewählte Konzeptvergleich zwischen einer Stahlreferenz und einer kohlenstofffaserbasierenden Verbund-Lösung zielt auf das Aufzeigen des höchstmöglichen Leichtbaupotenzials und stellt noch nicht das ökonomisch optimierte Konzept dar. Dies wird bei der Betrachtung der Kosten deutlich, die durch die hohen Werkstoffkosten der Fasern dominiert sind und so trotz prozesstechnischer Vorteile in einer deutlichen Steigerung der Bauteilkosten resultieren. Ziel in den folgenden Konzepten wird es daher sein, das wirtschaftliche Potenzial anhand eines Gesamtkonzepts zu verifizieren. In einer ersten Abschätzung für das vorliegende Konzept der Heckklappe wurde unter Annahme einer Bauteilreduktion um 50 % und einer Gesamtgewichtseinsparung von 3 kg ein Leichtbaukostenziel für die Heckklappe von unter 10 Euro/kg ermittelt. Bei Betrachtung des gesamten Bauteillebenszyklus werden durch die Gewichtsreduzierung weitere Kostenvorteile erzielt.

Das Alliance-Projekt

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts namens Alliance haben sich insgesamt 18 Partner, bestehend aus Automobilherstellern, Werkstoffzulieferern und Forschungseinrichtungen, zusammengeschlossen, um das Thema des kosteneffizienten und nachhaltigen Leichtbaus zu adressieren. Alliance hat die Zielsetzung, eine ganzheitliche Methodik zu entwickeln, die es in einer frühen Konzeptphase ermöglicht, Aussagen hinsichtlich Gewichtseinsparung, Fahrzeugemissionen und Leichtbaukosten zu treffen. Die Methodik wird anhand von Anwendungsbeispielen validiert, die innerhalb des Projekts entwickelt werden.

Innerhalb des Projekts wurde ein Leichtbauwettbewerb (Open Innovation Challenge) initiiert, an dem weltweit 22 Unternehmen teilgenommen haben. Alle Gewinner des Leichtbauwettbewerbs erhielten im Rahmen des sogenannten Future Lightweighting Days 2018 die Möglichkeit, ihre innovativen Werkstoff- und Fertigungstechniken vorzustellen. Die Fahrzeughersteller haben dazu Bauteile aus aktuell in der Serienfertigung befindlichen Fahrzeugen identifiziert, um die entsprechenden Leichtbautechniken innerhalb prototypischer Demonstratorbauteilen umzusetzen.

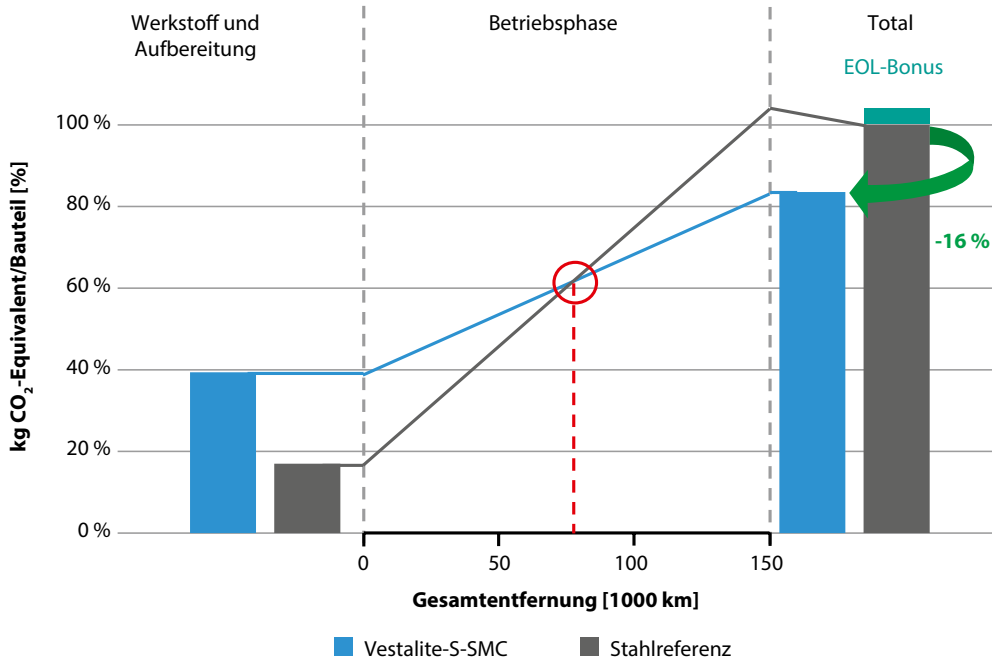


BILD 5 Ergebnisse Lebenszyklusanalyse zur Stahl- und der Vestalite-S-basierten SMC-Heckklappe im Rahmen des Projekts (© Vestaro)

Diese können durch sekundäre Gewichteinsparungen aber auch durch die Reduktion der Total Costs of Ownership (TCO) dargestellt werden.

Lebenszyklusanalyse

Neben den Kosteneinsparungen hat die Gewichtsreduktion auch einen wesentlichen Einfluss auf die Ökobilanz des Gesamtfahrzeugs. Innerhalb einer Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment, LCA) wurden die Umweltwirkungen des Bauteils über dessen gesamte Lebensdauer dargestellt. Im Rahmen der Vestalite-S-Studie wurden die CO₂-äquivalenten Emissionen pro Bauteil als Umweltwirkungen betrachtet, die den Einfluss auf das Treibhauspotenzial des Bauteils darstellen sollen. Dabei werden alle Phasen des Lebenszyklus wie etwa die Werkstoffaufbereitung, die Bauteilherstellung, die Betriebsphase sowie die End-of-Life-Phase berücksichtigt. Die Ergebnisse der LCA zeigt Bild 5. Dargestellt sind die energetischen Umweltbelastungen basierend auf dem deutschen Energiemix. Insbesondere aufgrund der energieintensiven Herstellung der Koh-

lenstofffaser, aber auch durch den erhöhten Energiebedarf bei der Produktion der SMC-Heckklappe, ergibt sich ein CO₂-Defizit zu Beginn des Lebenszyklus. Über die gesamte Lebensdauer des Bauteils kann der Beitrag zum Treibhauseffekt aufgrund der Gewichtsreduzierung allerdings um über 15 % reduziert werden.

Innerhalb der zugrunde gelegten LCA wurden nur gewichtsspezifische und keine weiteren aerodynamischen Einflüsse der Bauteile berücksichtigt. Trotz dieser vereinfachten Betrachtung und dem zusätzlichen End-of-Life-Bonus der Stahlvariante (aufgrund des geringeren Energiebedarfs in der Sekundäraufbereitung des Werkstoffs) ergibt sich ein deutlicher Vorteil der SMC-Variante. Ein möglicher Bonus bei der Betrachtung des SMC-Bauteils kann durch Recyclingmaßnahmen realisiert werden. Insbesondere die hohen energetischen Aufwände bei der Kohlenstofffaserherstellung können dabei zu bestimmten Anteilen kompensiert werden. Allerdings wurde innerhalb der Studie kein quantitativer End-of-Life-Bonus für die SMC-Variante angerechnet, da die rezyklierten Kohlenstofffasern

wesentlich geringere mechanische Kennwerte aufweisen und somit nicht vergleichbar mit den Primärfasern sind.

Zusammenfassung

Am Beispiel einer Fallstudie im Rahmen der Open Innovation Challenge des Alliance-Projekts konnte das Potenzial von epoxidharzbasiertem SMC-Werkstoff in Heckklappenanwendungen aufgezeigt werden. Der aminische Härter Vestalite S ermöglicht den technischen, ökonomischen und ökologischen Einsatz von Epoxiden in Sheet Molding Compounds.

Im Vergleich zu herkömmlichen SMC-Formulierungen ermöglicht der Vestalite-S-Härter gute mechanische Eigenschaften und geringe Emissionswerte bei der Werkstoffverarbeitung und in der Fahrzeuganwendung. Durch eine angepasste und optimierte Prozessführung kann eine schnelle und kosteneffiziente Bauteilherstellung gegenüber wettbewerbsfähigen Epoxid-SMC-Formulierungen realisiert werden. Die Verifizierung der vorgestellten Potenziale in Kundenprojekten ist Gegenstand aktueller Arbeiten.

chassis.tech ¹⁰ plus

10. Internationales Münchner Fahrwerk-Symposium
25. und 26. Juni 2019 | München

FAHRDYNAMIK

Neue Innovationen und
Methoden

AUTONOMES FAHREN

Herausforderungen
an das Fahrwerk

DER KUNDE IM FOKUS

Fahrerlebnis und
Fahrkomfort

/// WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Prof. Dr. Peter E. Pfeffer,
Hochschule München

/// EINE FÜR ALLE

Vier Kongresse
in einer Veranstaltung

/// PARTNER

