

# AUTOMOBIL INDUSTRIE

→ **SPECIAL REPORT**  
**Der neue Audi A4**



## **SERIE**

**Preh: Innovativ aus Tradition**  
**Brose: Ein zuverlässiger**  
**Partner weltweit**


## **VW-ABGASAFFÄRE**

**Was Zulieferer wissen**  
**sollten**



## **CARBON-BAUTEILE**

# Leicht geht auch günstig



„Die Intelligenz des Verfahrens liegt darin, dass wir den Werkstoff exakt dorthin bringen, wo wir ihn brauchen.“

Rainer Kurek, AMC

# LEICHT GEHT AUCH GÜNSTIG

Je leichter das Bauteil, desto teurer – die Prozesstechnik „xFK in 3D“ könnte das ändern. Basierend auf Berechnung und Simulation entstehen Strukturbauteile aus faserverstärkten Kunststoffen mittels dreidimensionalen Wickelns. Erste Tests für Anwendungen im Motorsport sind vielversprechend

- VON THOMAS GÜNNEL UND CLAUS-PETER KÖTH -

**E**ine niedrige Energiebilanz künftiger Automobile – ob Verbrenner oder Elektrofahrzeuge – wird vor allem von einem wirksamen, systemischen Leichtbau mit neuen Struktur- und eigenständigen Rahmenkonzepten abhängen. Vorreiter dieses Trends finden wir bereits heute in unterschiedlichen Nischen und Varianten.

Den bislang bekanntesten Vorstoß hat BMW unternommen, mit der Serienfertigung der Fahrgastzellen seiner Modelle i3 und i8 aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK). Der Ansatz gilt als Revolution in der Autoindustrie, steht aber auch für ein extrem teures Projekt. Insgesamt investierte BMW in den Aufbau der CFK-Prozesskette einen hohen dreistelligen Millionen-Euro-Betrag. Fortsetzung unwahrscheinlich: Denn der Nutzen einer reinen Carbon-Karosserie steht in keinem Verhältnis zu den Kosten der Herstellung.

Gerade bei großen Flächen ist das Leichtbaupotenzial durch die Substitution von Stahl oder Aluminium mit Carbon eher gering. Obendrein belastet der Verschnitt des teuren Materials die Kosten-Nutzen-Bilanz. Wohl auch deswegen ist BMW im neuen 7er wieder zu einem Materialmix zurückgekehrt: Stahl überwiegt, kombiniert mit Aluminium und Magnesium; nur an wenigen Stellen setzt der Hersteller auf carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK).

Einen völlig anderen Weg geht jetzt der Ingenieur Peter Fassbaender gemeinsam mit Rainer Kurek, dem Chef der Technologieberatung AMC. Die von den Partnern zum



FOTO: AMC

**Peter Fassbaender, Erfinder des Wickelverfahrens.**

Patent angemeldete Prozesstechnik „xFK in 3D“ beschreibt ein Verfahren, bei dem faserverstärkte Kunststoffe – etwa Glas-, Kohle-, oder Basaltfasern – dreidimensional gewickelt werden. Die Fasern lassen sich dabei geometrisch frei in der x-, y- und z-Ebene auslegen, je nach den definierten Lastpfaden und Lastkollektiven des Bauteils. Der Vorteil dabei: eine auf die Kraft- und Spannungsaufnahme ausgelegte Faserablage und minimaler Werkstoffverschnitt.

## MINIMALER VERSCHNITT

Das Verfahren, und das ist eine weitere Besonderheit, eignet sich auch für nicht-rotationssymmetrische Bauteile. Deren Herstellung aus Composites ist mittels Wickelverfahren mit deutlich geringerem Werkzeugumfang möglich – und so auch für



FOTO: AMC/RAINER HOFMANN

**Rainer Kurek, Chef der Technologieberatung AMC.**

kleinere Stückzahlen oder Projekte reizvoll, die häufig geändert werden.

„Die Intelligenz dieses Verfahrens liegt darin, dass wir den Werkstoff exakt dorthin bringen, wo wir ihn brauchen – und zwar nur dorthin“, erläutert Kurek. Folglich sind pro Bauteil zum Beispiel deutlich weniger Carbonfasern notwendig: Fassbaender beziffert die Materialeinsparung auf 40 Prozent im Vergleich zu Carbonteilen, die mittels klassischem RTM (Resin Transfer Moulding)-Verfahren hergestellt sind.

Der Prozess ist dabei längst keine Vision mehr. Derzeit geht es darum, „xFK in 3D“ vom Prototypenbau in den (Kleinst-)Serienautomobilbau zu transferieren. „Unsere Markteintrittsstrategie erfolgt zunächst über Bauteile und Komponenten, also Welten, Konsolen und Halter etc., für Fahrzeuge

→ TECHNISCHE MACHBARKEITSSTUDIE FÜR STRUKTURBAUTEILE

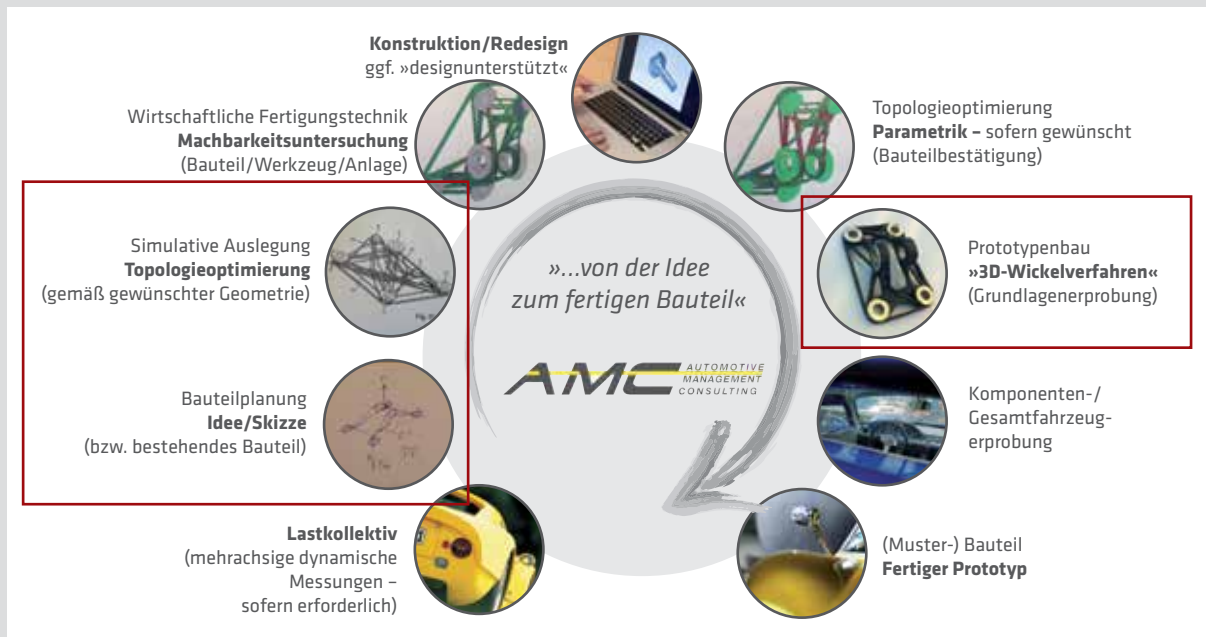


BILD: AMC

Das Verfahren „xFK in 3D“ ist berechnungs- und simulationsgetrieben und steht somit für eine Umkehr der Entwicklung.

kleiner und mittlerer Stückzahlen mit Anwendungen im Motorsport und anderen High-End-Segmenten. All unsere Gesprächspartner, die auch nur annähernd etwas von der Materie verstehen, erkennen sofort, welches Potenzial hinter dem neuen Verfahren steht. Das Interesse ist extrem hoch. Die mit „xFK in 3D“ möglichen Strukturen wecken hohe Begehrlichkeiten“, sagt Kurek.

**EINFACH UND GÜNSTIG**

Die Herstellung eines Bauteils mittels „xFK in 3D“ ist vergleichsweise einfach und günstig. Ein Faserroving wird in der benötigten Stärke und Länge zum Beispiel mit Epoxidharz getränkt und über eine Ablegevorrichtung per Hand oder Roboter zu einem Bauteil gelegt. Die Fasern liegen dabei reproduzierbar ideal in Spannungsrichtung. Zudem sind nur die Fasern notwendig, die im Bauteil Kräfte übertragen (kein Verschnitt). Die Folge sind extrem leichte Bauteile, weil die Hohlräume zwischen den Fasersträngen offen bleiben.

Die Kraftein- und -ausleitung in das Bauteil sowie aus dem Bauteil sind durch die freie geometrische Auslegung und Anordnung der Fasern mit sogenannten Krafteinleitungspunkten anforderungsgerecht möglich. Vereinfacht gesagt sind das Bolzen am Werkzeug, die während des Wickelns die

Wege der Fasern in andere Richtungen umlenken. Die so entstehenden Knotenpunkte können dann mit integrierter Verstärkung als Fixierpunkt für das Teil dienen.

Das Umwickeln der Umkehrpunkte hat zudem den Vorteil, dass keine Löcher in das Gewebe geschnitten werden müssen, wie bei Vollmaterial-Bauteilen üblich. „Ein Loch im Gewebe zerstört die Struktur“, erklärt Fassbaender. „Die einzige Schwachstelle beim Wickelverfahren sind die übereinanderliegenden Fasern an den Umkehrpunkten, die dort auftretenden Scherkräfte. Selbst diese Schwachstellen sind aber um ein Zigfaches besser als zerstörtes Gewebe. Wichtig ist dabei, die Kräfteeinwirkung an den Knotenpunkten zu kennen.“

In Hybridbauteilen wird die Verbindungstechnik durch optimalen fasergerechten Formschluss reproduzierbar erzielt. Ein Fügevorgang durch Kleben entfällt. Änderungen und Varianten sind aufgrund der nicht vorhandenen geschlossenen Formen zeitnah und günstig möglich. Teure Werkzeugformen entfallen in vielen Fällen.

„Mit diesem Verfahren werden die Werkstoffkennwerte der Fasern optimal in Bauteile eingebracht. Die physikalischen Eigenschaften der Fasern spiegeln sich in den Bauteilen direkt wider. Im Leichtbau wird es meiner Meinung nach völlig neue Potenzia-

le geben – technisch, wirtschaftlich und umweltbezogen“, kommentiert Werkstoffexperte Prof. Dr.-Ing. Peter Eyerer, langjähriger Leiter des Instituts für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde an der Uni Stuttgart sowie des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie (ICT).

**UMKEHR DER ENTWICKLUNG**

Die Erarbeitung eines Anforderungsprofils für Bauteile in „xFK in 3D“ unterscheidet sich grundlegend von anderen Prozesstechniken, denn das Verfahren ist berechnungs- und simulationsgetrieben und steht somit auch für eine Umkehr der Entwicklung.

Udo Jankowski, Vorstand bei Tecosim, ein auf Computer Aided Engineering (CAE) spezialisiertes Unternehmen, erklärt: „Heute geht es darum, Produkte belastungsgerecht zu entwickeln. Neue Faserverbundwerkstoffe sind in bestimmte Richtungen hoch belastbar und haben großes Leichtbaupotenzial – wenn man sie richtig einsetzt. Um dieses Potenzial voll zu nutzen und das Bauteil entsprechend auszulegen, muss man natürlich vorher wissen, wie die späteren Belastungen aussehen. Und das geht nur, indem man es virtuell testet.“

Bislang bildeten die CAD (Computer Aided Design)-Daten die Basis für nachfolgende CAE-Berechnungen. Jetzt sind die verfügba-

ren CAE-Daten die Grundlage für die erste Konstruktion. „In den Anfängen der Berechnung hat man eine Bauteilidee verwirklicht und anschließend überprüft: ‚Ich habe mir etwas ausgedacht, schau doch mal, ob das funktioniert.‘ Heute will man anhand der bekannten Belastung für das Bauteil dessen Aussehen bestimmen. Dabei sind die Anforderungen an Bauteile inzwischen so komplex, dass es fast nicht mehr anders geht. Man muss viele Variablen parallel und sehr früh berücksichtigen, etwa hinsichtlich Steifigkeit, Schwingung oder Dauerhaltbarkeit. Es geht nicht nur darum, Material zu sparen“, betont Jankowski.

Diese Umkehr der Entwicklung scheint ideal für alle Bauteile, gleich aus welchem Werkstoff sie gefertigt sind. Dass die Prozessschritt-Reihenfolge von CAE zu CAD bei „xFK in 3D“ bereits als gegeben anzusehen ist, liegt vor allem an der geringen Erfahrung mit den neuen Werkstoffen. „Wenn ein Konstrukteur seit 25 Jahren Stahlguss konstruiert, dann hat er ein Gefühl dafür. Er hat schon Bauteile brechen sehen und weiß ungefähr, was auf ihn zukommt“, so Jankowski: „Für die neuen Materialien gilt das aber nicht, und sie sind komplexer, weil sie sich in unterschiedlichen Richtungen anders verhalten. Außerdem kann man die bekannten Verbindungstechniken nicht verwenden. Es gibt also einige neue Randbedingungen, und es ist sehr teuer, wenn nur mit Faserverbundwerkstoffen konstruiert wird – folglich ist die Anzahl der finanzierbaren Prototypen



FOTO: THOMAS GÜNNEL

#### Das Wickelverfahren beispielhaft.

begrenzt. Somit muss bereits der Entwurf sehr gut sein und die geforderten Randbedingungen erfüllen. Das setzt wiederum voraus, dass man schon zu Beginn sehr viel über das Bauteil weiß.“

Insgesamt spart dieses Frontloading – also das Umsetzen bestimmter Bauteileigenschaften anhand digitaler Modelle – viel Zeit und Geld, weil bereits der erste Prototyp schon nah am gewünschten Bauteil ist.

#### GELD GEGEN GEWICHT

Der typische Anwendungsfall für „xFK in 3D“ ist demnach, ein Bauteil im nicht sichtbaren Bereich leichter zu konstruieren. Das kann ein vollständig neues Bauteil sein oder ein bestehendes, das mittels neuer Werkstoffe leichter werden soll. Eine Bauteilintegration ist mit beiden Verfahren ebenfalls

denkbar. „Die Werkstoffauswahl obliegt dem Hersteller, wir können aber helfen“, sagt Rainer Kurek: „Nach den Berechnungen können wir Alternativen nennen. Oder wir erkennen, dass nur ein bestimmter Werkstoff die Anforderungen erfüllt. Kommen mehrere Werkstoffe in Frage, ist der günstigere vielleicht nicht so belastbar oder spart weniger Gewicht. Das ist dann aber wieder die Entscheidung: Geld gegen Gewicht.“

Auch das Investment für die Automatisierung der Prozesstechnik „xFK in 3D“ verspricht im Vergleich etwa zum RTM-Verfahren sehr viel günstiger zu sein. Schon deshalb, weil der Prozess an sich reif ist und man beim Fertigungsprozess auf sehr viele Standards zurückgreifen kann, etwa bei Robotern. Man muss wenig neu erfinden. „Für die Faserwicklung gibt es erste Konzepte, die wir gerade durchdenken. Generell wird die Automatisierung nicht so schwierig sein. Einen Teil können wir aus der Wickeltechnik ableiten, andere Teile aus der Robotik“, bekräftigt Dr. Lars Herbeck, Geschäftsführer von Voith Composites (siehe Interview ab S. 28).

Die nächsten Schritte der Industrialisierung sind eine Demonstrationsanlage auf Laborebene und danach eine erste Prototypenanlage für kleine und mittlere Stückzahlen. Über den Zeitpunkt der Inbetriebnahmen bewahren die Projektpartner noch Stillschweigen. „Wir reden wohl eher von Monaten als von Jahren“, lässt sich Rainer Kurek zumindest entlocken. ◀



Mehr Informationen unter:  
[www.boge.de/hst](http://www.boge.de/hst)



„Vielleicht die effizienteste Art, ölfreie Druckluft zu erzeugen. Mit Sicherheit die intelligenteste.“

Thorsten Meier, Geschäftsführer BOGE Kompressoren

**BOGE** zündet mit der **High Speed Turbo**-Technologie die nächste Stufe der ölfreien Druckluft! Schon dass die Aggregate auf halbe Größe und ein Drittel des Gewichts geschrumpft sind, kommt einem Quantensprung gleich. Einzigartig macht die **BOGE HST**-Technologie jedoch das geniale Konstruktionsprinzip, das auf eine luftgelagerte Motorwelle setzt. Drehzahlen jenseits von 120.000 U/Min. schrauben die Effizienzwerte nachhaltig in die Höhe und lassen die Gesamtkosten um ca. 30% sinken. **BOGE High Speed Turbo** – der neue Antrieb für die Industrie.

**BOGE**  
DRUCKLUFTSYSTEME  
BOGE LUFT. DIE LUFT ZUM ARBEITEN.

# „DIE RESONANZ IST ENORM“



FOTO: AMC

Dr. Lars Herbeck, Geschäftsführer von Voith Composites, über die technischen und wirtschaftlichen Vorteile der patentierten Prozesstechnik „xFK in 3D“, konkrete Anwendungen im Automobil sowie die nächsten Schritte hinsichtlich der Industrialisierung des Verfahrens.

- DAS INTERVIEW FÜHRTE CLAUS-PETER KÖTH -

**Für den Leichtbau mit faserverstärkten Kunststoffen gibt es mittlerweile zahlreiche Serienanwendungen. Audi etwa fertigt für den neuen R8 CFK-Teile für Rückwand, Mittelunnel und B-Säule im sogenannten RTM-Verfahren (Resin Transfer Moulding = Harzinjektionsverfahren). Worin unterscheidet sich nun die patentierte Prozesstechnik „xFK in 3D“ von den heute bekannten Techniken – auch alternativen Flecht- und Wickelverfahren?**

Mit der Prozesstechnik „xFK in 3D“ können, respektive müssen Sie faserverbundgerecht arbeiten. Die Wertschöpfungskette ist extrem kurz und sehr schlank, denn die Fasern liegen reproduzierbar ideal in Spannungsrichtung, und es werden nur diejenigen Fasern eingesetzt, die im Bauteil Kräfte zu übertragen haben. Der Verschnitt ist gleich Null im Gegensatz zur Herstellung von Bauteilen mittels klassischem RTM-Verfahren. Dort entstehen beim Zuschnitt der Teile 30 bis 50 Prozent Abfälle, die Sie letztendlich nicht mehr in der gleichen Performance-Klasse einsetzen können wie das teure Rohprodukt.

„xFK in 3D“ bedingt eine lastpfadgerechte Konstruktion. Das heißt, die Kräfte, die ein Bauteil aufnehmen muss, werden auf direktem Wege übertragen – indem Sie die beiden Punkte miteinander verbinden – und nicht erst über ein Krafteinleitungselement in eine Fläche gebracht, um sie danach mit einem Kraftausleitungselement teilweise wieder aus dieser Fläche zu nehmen. Diesen Umweg über die Fläche (zum Teil quasiiso-

trope Aufbauten) können Sie gar nicht erst gehen. Das ist ein großer Vorteil des Verfahrens.

**Welche bauteilspezifischen Vorteile bietet das neue Verfahren – technisch und wirtschaftlich?**

Der Leichtbaugrad ist deutlich höher als beim konventionellen Einsatz von CFK oder Aluminium, weil Sie alles überflüssige Material weglassen können. Weiterhin sinken die Produktionskosten in einer Größenordnung, die für die Automobilindustrie erst den Großserieneinsatz von CFK ermöglicht. Drittens ist die Entwicklungskette kürzer und schneller, und die Änderungskosten verringern sich deutlich – im Vergleich zur konventionellen CFK-Fertigung. Gerade bei änderungsintensiven Projekten ist das der Vorteil: Dort schlägt der Faserverbundkunststoff jede Stahl- oder Aluminiumentwicklung. Denn bei der herkömmlichen Fertigung kleinerer Stückzahlen sind es ja vor allem die Werkzeugkosten, die das Bauteil teuer machen.

**Kurzum: leichter und günstiger. Erledigt sich damit die Frage, wie viel mehr das Kilogramm Leichtbau kosten darf?**

Aktuell sind Bauteile aus CFK im Vergleich zu Stahl etwa um den Faktor 10 teurer und im Vergleich zu Aluminium um den Faktor 5. Mit „xFK in 3D“ lässt sich dieses Delta drastisch senken.

**„xFK in 3D“ heißt, der Prozess ist auch für andere Faserwerkstoffe geeignet.**

Ja, die Faser ist austauschbar. Das „x“ könnte auch für Glas, Basalt, Naturfasern

## → Zur Person

Dr.-Ing. Lars Herbeck, 50, studierte Luft- und Raumfahrt an der Technischen Universität in Berlin. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Luft- und Raumfahrt, Lehrstuhl Leichtbau, promovierte er zum Thema „Optimierung von CFK-Stringer-Schalen“. Von 1997 bis 2008 war Herbeck Projektleiter und ab 2001 Abteilungsleiter am Institut für Faserverbundleichtbau des deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Seit April 2008 ist er Geschäftsführer der Voith Composites GmbH & Co. KG, einer hundertprozentigen Tochter des Maschinenbauers Voith.

etc. stehen. Entscheidend sind der gewünschte Leichtbaugrad und die Kosten.

#### **Warum liegt der Fokus auf 3D-Anwendungen?**

Klassisch gesehen ist „xFK in 3D“ ein Wickelverfahren, bei dem die Faser direkt abgelegt wird – ein sogenanntes Direktablageverfahren. Bei rotationssymmetrischen oder zylindrischen Anwendungen funktioniert das schon seit vielen Jahren sehr gut. Aber die Welt besteht ja nicht nur aus zylindrischen Bauteilen. In der Automobilindustrie beispielsweise sind die wenigsten Teile rotationssymmetrisch, sondern haben eher räumliche Strukturen. Mit „xFK in 3D“ können die Faserstränge nun dreidimensional um relativ günstige Werkstückträger gewickelt werden. Beliebige Punkte im Raum werden dadurch kraftmäßig miteinander verbunden.

#### **Welche konkreten Bauteile sehen Sie?**

Etwa Halter und Wellen in Antriebsstrang und Fahrwerk oder Verstärkungen und Bauteileträger im Interieur. Die Träger könnte

man zum Beispiel in 3D ausbilden und dann die Flächenstruktur mit einem zweiten – auch transparenten – Werkstoff umspritzen beziehungsweise beplanken. Insgesamt sind die Anwendungsmöglichkeiten sehr vielfältig.

#### **Wie ist die Resonanz potenzieller Kunden?**

Die Resonanz ist sehr gut, die Vorteile selbsterklärend. Das Verfahren schließt eine Lücke in der Faserverbundwelt.

#### **Was sind die nächsten Schritte hinsichtlich der Industrialisierung des Prozesses?**

Grundsätzlich haben wir in der Faserverbundwelt ja das Problem, dass alle Prozesse stark einer Manufaktur ähneln und einer hohen Verbesserung hinsichtlich Zeit und Kosten bedürfen. Eine ähnliche Optimierung ist jetzt auch für „xFK in 3D“ notwendig. Für die Faserwicklung gibt es erste Konzepte, die wir gerade durchdenken. Generell wird die Automatisierung nicht so schwierig sein. Einen Teil können wir aus der Wickeltechnik ableiten, andere Teile aus der Robotik. Das

Ganze muss jetzt „nur noch“ kombiniert werden.

#### **Welche Rolle könnte Voith Composites bei der Industrialisierung des Prozesses einnehmen?**

Wir wollen der führende Partner bei der Industrialisierung von CFK-Herstellungsprozessen werden und die entsprechenden Anlagen entwickeln und vertreiben. Wir prüfen, ob wir zunächst mit „xFK in 3D“ einzelne Teile selbst herstellen. Denn wir wissen aus langjähriger Erfahrung: Die Industrialisierung von Produktionstechnik kann man nicht auf dem Papier durchführen.

#### **Wie stark müssen Sie in Vorleistung gehen? Wann rechnen Sie mit dem Return-on-Investment?**

CFK ist heute noch ein Nischenwerkstoff, dem wir zum Durchbruch verhelfen wollen. Generell sehen wir die Automobilindustrie als Einstiegsmarkt für die neue Prozesstechnik. Mittel- bis langfristig könnte jedoch der Maschinenbau ein noch größeres Potenzial bieten. ◊

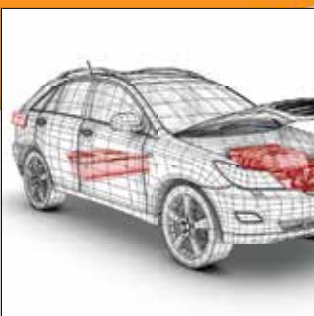
[www.leoni-automotive-cables.com](http://www.leoni-automotive-cables.com)

# LEONI Hivocar®

LEONI Leitungen – mehr als nur Standard

#### **eCarTec 2015**

München · 20.–22. Oktober  
Halle A5 · Stand 108



Hochvoltleitungen für alternative Antriebe  
und Ladekabel für Elektrofahrzeuge.

# LEONI