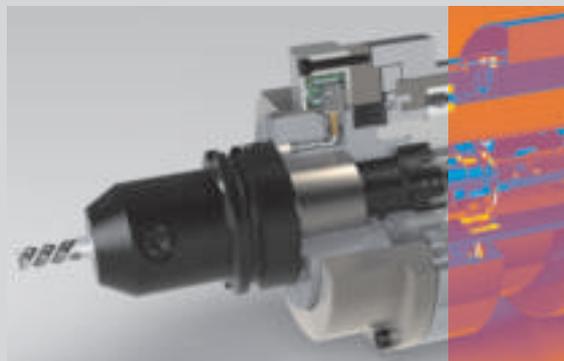


# Automobil- technologie in Bayern + e-Car

PARTNER DER WELT



**NEU**

# Mediathek –

Tiefer Einblick in aktuelles Wissen ...

... für Innovationen von morgen



Technologieorientierte Print-, Online-, Audio- und Video-Publikationen

**[www.bayern-innovativ.de/mediathek](http://www.bayern-innovativ.de/mediathek)**



## Editorial

# Mobilität der Zukunft

Wie ist einerseits den Anforderungen von heute und morgen mit effizienten Antriebstechnologien und nachhaltigen Energieträgern zu begegnen und andererseits die Verbindung zwischen hohem Umweltmanagement und niedrigen Unterhaltskosten herzustellen?

Das sind Fragen aber auch Herausforderungen für OEMs und Zulieferer zugleich:

- Womit fasziniert die dritte Generation des kompakten Sportwagens?
- Wie sieht ein innovatives Energiemanagement für das Bordnetz der Zukunft aus?
- Sind neue Materialien in Türsystemen der „Türöffner“ für Leichtbau und Effizienz?
- Welche Möglichkeiten der Qualitätssicherung bei der rasant zunehmenden Vernetzung im Fahrzeug gibt es?
- Industrie 4.0 – welche Herausforderungen an die Werkzeugmaschinentechnik werden gestellt?
- Wie werden Serienanläufe erfolgreich umgesetzt?
- Inwieweit weist der Audi Sport quattro laserlight concept neue Wege in Bezug auf die Kraft und emotionale Eleganz?
- Welches Potenzial bieten faserverstärkte Kunststoffe für den Leichtbau und andere Funktionalitäten?

- Wie sieht das massentaugliche Elektro-Auto für das urbane Umfeld aus?
- Welche neuen Werkstoffe für die Elektromobilität erfordern angepasste Füge- und Trennverfahren?

Interessante Themen rund um das Automobil werden den Blick auf das Wesentliche schärfen!

Walter Fürst  
Geschäftsführer

Diese Publikation finden Sie auch im Internet unter [www.media-mind.info](http://www.media-mind.info)

### Impressum:

<b>Herausgeber:</b>	media mind GmbH & Co. KG Hans-Bunte-Str. 5 80992 München Telefon: +49 (0) 89 23 55 57-3 Telefax: +49 (0) 89 23 55 57-47 ISDN (MAC): +49 (0) 89 23 55 57-59 E-mail: mail@media-mind.info www.media-mind.info
<b>Verantwortlich:</b>	Walter Fürst, Jürgen Bauernschmitt
<b>Gestaltung + DTP:</b>	Jürgen Bauernschmitt
<b>Druckvorstufe:</b>	media mind GmbH & Co. KG
<b>Verantwortl. Redaktion:</b>	Ilse Schallwegg
<b>Druck:</b>	Druckerei Frischmann, Amberg
<b>Erscheinungsweise:</b>	1 mal jährlich

© 20014/2015 by media mind GmbH & Co. KG, München  
Kein Teil dieses Heftes darf ohne schriftliche Genehmigung der Redaktion gespeichert, vervielfältigt oder nachgedruckt werden.

Anzeige	Bayern Innovativ	2. US
Editorial		3
Vorwort	Dr. Bernd Martens, AUDI AG	7
BAYERN	INNOVATIV	8
Automobiltechnikum	Bayern GmbH	12
Audi TT		14
<b>Emotion, Dynamik und Hightech – Der neue Audi TT</b>		
<i>Ansprechpartner: Christoph Lungwitz AUDI AG, Ingolstadt</i>		
ENGINEERING.ing		19
<b>MEGIST: Serienanläufe erfolgreich umsetzen</b>		
<i>Ansprechpartner: Selina von Waldenburg MEGIST GmbH</i>		
Energiemanagement		20
<b>Innovatives Energiemanagement für das Bordnetz der Zukunft</b>		
<i>Autor: Dipl.-Ing. Sobejl Rafati Auto-Kabel Management GmbH</i>		
Anzeige	MEDIA MIND MOTION	23
Türsysteme		24
<b>Die Zukunft wird leichter: Neue Materialien in Türsystemen</b>		
<i>Brose Fahrzeugteile GmbH &amp; Co. Kommanditgesellschaft, Coburg</i>		
Fahrerassistenzsysteme		26
<b>Test und Absicherung von kooperativen und hochautomatisierten Fahrerassistenzsystemen</b>		
<i>ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH</i>		

## Whiteblue Consulting GmbH

28

### Qualitätssicherung durch Continuous Integration – Was wir von anderen Branchen lernen können.

Autoren: Dirk Kypers, Thorsten Wacker  
Whiteblue Consulting GmbH



## Werkzeugspannsysteme

30

### Industrie 4.0, Eine Herausforderung der Komponenten für die Werkzeugmaschinentechnik

Autoren: Hubert Sykora, Robert Herrmann  
OTT-JAKOB Spanntechnik GmbH



## Computertomographie

34

### Computertomographie für Gesamtfahrzeuge oder Fahrzeugkomponenten

Autor: Dipl.-Ing. (FH) Michael Salamon  
Fraunhofer Entwicklungszentrum Röntgentechnik (EZRT)



## Anzeige

BAYERN INTERNATIONAL

37

## Reibkorrosion

38

### Reibkorrosion – der heimliche Killer lösbarer Kontakte

Kontakt: Dr. Frank Ansoerge, Fraunhofer-Institut für  
Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM



## Anzeige

MATERIALICA

39

## Network of

Automotive Excellence

40

### Network of Automotive Excellence

Kontakt: Dipl.-Kfm. H. Köpplinger, ewf institute NoAE



## Expressspritzguss

42

### Expressspritzguss – Design aus einem Guss

Autor: Dipl.-Ing. Alexander Kalusche  
acad group



## Anzeige

MEDIA MIND München

3 US

# Sonderteil e-Car

<b>Mainfranken</b>	44
<p><b>Mainfranken – eine (e)mobile Region</b>  <i>Autor: Sebastian Kühn</i>  <i>Region Mainfranken GmbH</i></p>	
<b>Massentaugliche Elektromobilität</b>	46
<p><b>Massentaugliche Elektromobilität für das urbane Umfeld</b>  <i>Autor: Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp</i>  <i>Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM), TUM</i></p>	
<b>Audi Sport quattro laserlight concept</b>	48
<p><b>Der Audi Sport quattro laserlight concept</b>  <i>Ansprechpartner: Josef Schloßmacher</i>  <i>AUDI AG, Ingolstadt</i></p>	
<b>Anzeige eCarTec</b>	51
<b>Hochleistungsmagnete</b>	52
<p><b>Ressourcenschonende Wertschöpfungsketten für Hochleistungsmagnete</b>  <i>Autoren: Dipl.-Ing. T. Klier, Dipl.-Wirtsch.-Ing. F. Risch</i>  <i>Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg</i></p>	
<b>Neue Werkstoffe</b>	56
<p><b>Neue Werkstoffe für die Elektromobilität erfordern angepasste Füge- und Trennverfahren</b>  <i>Autoren: Dipl.-Ing. Alexander Fuchs,</i>  <i>Prof. Dr.-Ing. Michael F. Züh, iwv, TUM</i></p>	
<b>Massentaugliche Elektromobilität</b>	60
<p><b>Carbon Composites – Leichtbau für die Elektromobilität</b>  <i>Autor: Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler</i>  <i>Lehrstuhl für Carbon Composites</i></p>	
<b>Anzeige AUDI AG</b>	4. US



Dr. Bernd Martens

AUDI AG  
Mitglied des Vorstands,  
Beschaffung

## *Türöffner für Innovationen*

Innovationskraft ist der Motor unserer Wirtschaft. Wir bei Audi wissen, dass es unerlässlich ist, sich dafür einzusetzen – mit Leidenschaft, tagtäglich und an jedem Arbeitsplatz. Im Geschäftsbereich Beschaffung verstehen wir uns als Türöffner für Innovationen aus dem Mittelstand. Denn viele Herausforderungen lösen wir zusammen mit unseren Zulieferern.

Diesen Prozess moderieren und gestalten wir; dazu binden wir unsere Partner mit Weitblick über Innovationsforen und Konzeptwettbewerbe ein: zum beiderseitigen Vorteil, mit Respekt gegenüber der Leistung des anderen und mit dem Ziel, unseren Kunden den sprichwörtlichen Audi-Vorsprung zu bieten.

Gemeinsam stehen wir im Wettbewerb – weltweit. Audi wird 2014 erstmals mehr

Autos im Ausland fertigen als hierzulande. 2016 werden wir in 14 Fabriken rund um den Globus produzieren. Das generiert auch hierzulande Wachstum: Im vergangenen Jahr haben wir alleine in Deutschland 3.000 neue Stellen geschaffen – die meisten davon im Freistaat.

Viele Zulieferer aus Bayern sind auch an unserer Seite, wenn wir Kunden in anderen Ländern begeistern. Die Beschaffung hat dabei eine Schlüsselstellung. Rund um unser neues Werk in Mexiko etwa unterstützen uns bekannte Partner aus der Heimat: beim Aufbau der Fabrik, beim Fahrzeugprojekt Audi Q5, beim Schöpfen neuer Quellen für Local content. Wir befinden uns in einem Aufbruch, der uns fit für die Zukunft hält – auch zu Hause am Innovationsstandort Bayern.

## Das Fahrzeug der Zukunft

Die Automobilindustrie hat eine einmalige Erfolgsgeschichte geschrieben. Doch welche Faktoren prägen das Automobil der Zukunft? Maßgeblichen Anteil daran werden weitere innovative Entwicklungen der Automobilhersteller und Zulieferer haben. Die Bayern Innovativ GmbH unterstützt sie beim Innovationsmanagement mit maßgeschneiderten Dienstleistungen. Trends und Entwicklungen für das Fahrzeug der Zukunft zeigt Bayern Innovativ beim gleichnamigen Kongress in der BMW Welt München.

Die individuelle Mobilität befindet sich im Umbruch. Megatrends wie Globalisierung, Urbanisierung, Individualisierung, Konnektivität, Neo-Ökologie und die demographische Entwicklung haben massiven Einfluss auf das Mobilitätsverhalten der Menschen und auf die Produkte der Automobilindustrie. Treiber des Wandels sind vor allem kundenspezifische, technologische, politisch-rechtliche, ökologische und ökonomische Fragestellungen – Herausforderungen, denen sich die Automobilindustrie auch in der Vergangenheit immer wieder stellen musste. Neu ist die Dynamik der Veränderungen. ■

### Individuell – der Kunde

Maßgeblicher Innovationstreiber sind die Bedürfnisse und Erwartungen der Kunden. Sie entscheiden letztendlich, ob ein Produkt am Markt abgesetzt wird oder nicht. Der Wunsch nach Mobilität ist nur eines von vielen Entscheidungskriterien für einen Fahrzeugkauf. Denn Fahrzeuge dienen seit jeher auch dazu, unterschiedliche Lebensweisen zu repräsentieren. „Ein Auto ist ein Statement und mit jedem Auto-kauf treffen wir eine Entscheidung, wie wir von außen wahrgenommen werden wollen – ein bisschen agiler, ein bisschen



Der Fahrer der Zukunft ist weit mehr als der Maschinist der Vergangenheit. Infotainment, Assistenzsysteme und ein angenehmer Innenraum ermöglichen ihm, unterwegs viele Aufgaben wahrzunehmen ■

wohlhabender, ein bisschen vernünftiger“, resümiert der renommierte Designer Prof. Lutz Fügener von der Universität Pforzheim. Seiner Meinung nach können Autodesign und neue Mobilitätskonzepte dafür sorgen, dass Autos auch für junge Zielgruppen weiterhin attraktiv bleiben, obwohl diesen eigentlich eine nachlassende Autoaffinität bescheinigt wird.

Einen Schritt weiter geht Dr. Karlheinz Steinmüller, Wissenschaftlicher Direktor der Z\_punkt GmbH. Er ist überzeugt, dass der multimobile Mensch der Zukunft Reisezeit nicht als Verlust, sondern als vielfältig zu nutzende Qualitätszeit betrachten wird. Erweiterte Funktionalitäten, Infotainment und ein angenehmer Fahrzeug-

innenraum sorgen dafür, dass die Fahrzeit sinnvoll genutzt werden kann, auch wenn der Verkehrsfluss ins Stocken gerät. Der Fahrzeuginnenraum wird dank leichtem Ambiente, stimmungsvoller Beleuchtung, fugenlosem Design, transparenten, eingefärbten oder dekorierten Oberflächen und natürlichen Materialien zur Wohlfühlzone. Bedeutung haben Eigenschaften wie Wertigkeit, Echtheit, Qualität und Nachhaltigkeit, mit Blick auf Nutzerkonzepte wie Car Sharing aber auch Robustheit. ■

### Mobil und flexibel

Individualisierte Lebensstile und die Flexibilisierung der Arbeitswelt sind zwei Faktoren, die großen Anteil an der Verände-

rung der Verkehrsnachfrage haben. Menschen wollen mobil und flexibel sein und suchen dafür nach intelligenten Lösungen. Vor allem bei jungen Erwachsenen findet eine Verschiebung des Mobilitätsverhaltens statt: Die „Metromobilen“ nutzen und kombinieren anlassbezogen unterschiedliche Verkehrsmittel und greifen dabei auf immer umfassendere Mobilitäts-Dienstleistungen zurück. „Die Zukunft ist multimodal“, so Dr. Steinmüller. Er ist überzeugt, dass sich die Grenze zwischen öffentlichem und Individualverkehr verwischt.

Oberste Priorität bei der vernetzten intelligenten Mobilität der Zukunft hat die Nutzerfreundlichkeit. Den Schlüssel liefert die Informationstechnologie. Sie ermöglicht die Nutzung gemeinschaftlicher Verkehrsmittel – von Bus und U-Bahn bis hin zu elektrischen Fahrzeugen. Mobile Smart Devices stellen dafür die richtigen Informationen am richtigen Ort zur richtigen Zeit zur Verfügung.

Prof. Markus Lienkamp, Inhaber des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik an der TU München, ist überzeugt, dass zwischen 2020 und 2025 ein massiver Umbruch zur Elektromobilität erfolgen wird. Wesentliche Treiber werden nach Meinung des Automobil-Experten nicht schärfere Auflagen des Gesetzgebers sein, sondern die steigenden Mobilitätskosten für den Verbraucher. „CO<sub>2</sub>-Gesetze werden keine große Rolle mehr spielen, Mobilitätsangebote mit Elektrofahrzeugen hingegen schon“, so Lienkamp.

### Treiber Technologie

Der Fortschritt bei Technologien, Design und Mobilitätskon-



Autofahrer legen zunehmend Wert auf eine individuelle Gestaltung des Innenraums. Bayer MaterialScience hat hierfür ein integriertes Konzept erstellt ■

zepten liefert regelmäßig Antworten auf die Megatrends und sorgt dafür, dass das Automobil weiterhin an Attraktivität für die unterschiedlichen Kunden auf den Weltmärkten gewinnt.

Bei der Entwicklung innovativer Komponenten gehen OEMs und Zulieferer zum Teil sehr ungewöhnliche Wege. So untersucht die Leoni Bordnetz-Systeme GmbH mit Hilfe der Bionik neue Ansätze für die Architektur von Bordnetzen. „Ein Fahrzeug mit vielen Assistenzsystemen kann man grundsätzlich mit einem Lebewesen vergleichen“, so Dr. Wolfgang Langhoff, Vice President R&D Global der Leoni Bordnetz-Systeme GmbH. „Beide müssen eine Vielzahl an Informations- und Leistungsübertragungspfaden möglichst effizient koordinieren. Die Datenübermittlung muss möglichst robust und fehlertolerant sein, damit bei Störungen oder „Verletzungen“ nicht schlagartig das Gesamtsystem funktionsunfähig wird. Es muss eine sinnvolle Anzahl an Redundanzen eingebaut sein, sodass die wichtigen Vital-

funktionen erhalten bleiben.“ Die wichtigsten Enabler für Innovationen im Automobil sind heute Elektrik und Elektronik. Das jährliche Wachstum in diesem Bereich beträgt sechs Prozent, wobei Software, Halbleiter, Displays und Antriebsregelung mit Wachstumsraten von rund acht Prozent an der Spitze liegen. ■

### Wischen und Zoomen

Leistungsfähige Elektrik und Elektronik sind Grundvoraussetzungen für eines der derzeit bedeutendsten Trendthemen der Automobilindustrie – das automatisierte Fahren. Wichtige Impulse liefert hier die Konsumgüter- und Unterhaltungsindustrie: So stehen „Wischen“ und „Zoomen“ für weit mehr als zwei Handbewegungen. „Im Auto der Zukunft ist der Fahrer nicht mehr der Maschinist der Vergangenheit“, so Guido Meier-Arendt, Ergonomie-Experte der Continental AG. Das Auto passt sich seinen geänderten Erwartungen und Bedürfnissen an. Die Elektronik gibt ihm die Freiheit, während der Fahrt



Die additive Fertigung steht vor dem Durchbruch zur Serienfertigung. KOR will mit dem URBEE2 ein Fahrzeug fast vollständig in 3D-Druck produzieren ■

vielfältige Aufgaben zu erledigen.

Als einer der weltweit größten Zulieferer verfolgt die Continental AG einen klaren Fahrplan zur Realisierung teil-, hoch- und vollautomatisierter Fahrfunktionen. Continental entwickelt und produziert sowohl Systeme für die automatisierten Fahrfunktionen wie für eine adäquate Steuerung. Dabei spielen Systeme zur Fahrermodellierung, berührungsempfindliche Oberflächen, neue Strategien zur Aufmerksamkeits- und Gestensteuerung und zur Fahrerzustandserkennung wichtige Rollen.

Ein visionäres Experiment zum Thema Mensch-Maschine Schnittstelle (HMI) ist das Projekt BrainDriver der Berliner AutoNOMOS GmbH. Hierbei lenkt ein mit EEG-Sensoren ausgestatteter Fahrer das Auto, indem er an Befehle wie „bremsen“ oder „nach links fahren“ denkt. Diese Befehle erzeugen typische Gehirnwellenmuster, deren Interpretation ein Computer zuvor gelernt hat. „Bis Roboter-Autos das Straßenbild prägen, wird es allerdings noch eine Zeit dauern. Robotik-Experten gehen aber davon aus, dass spätestens 2030 der Verkehr komplett auf autonome Fahrzeuge umgestellt sein wird“, blickt AutoNOMOS-Geschäftsführer Patrick Vogel in die Zukunft. ■

### Autos aus dem Drucker

Nicht nur Innovationen in der Fahrzeugtechnik, sondern auch Innovationen in der Produktion werden das Fahrzeug der Zukunft massiv beeinflussen. So steht die additive Fertigung am Übergang von einer Prototypen-Technologie zur Serienreife. „Die größten Vorteile der additiven Fertigung liegen in den Möglichkeiten, Produkte und Bauteile zu individualisieren, Teile mit geringer Losgröße zu fertigen, viele einfache in wenige hochkomplexe Teile zu integrieren und im Wegfall von Werkzeugen,“ so Jim Kor, Präsident von Kor Ecologic aus Kanada. Sein Unternehmen will mit dem URBEE2 ein fast vollständig im 3D-Druck gefertigtes Fahrzeug produzieren. Die Konsolidierung von Teilen in eine einzige Komponente reduziert die Montageanforderungen enorm. Produktionsschritte können entfallen und komplexe Objekte in nur einem Produktionsschritt gefertigt werden. Dezentrale Fertigungsstrukturen schaffen mehr Flexibilität, gesteigerte Effizienz und minimale Lagerbestände. Das gilt auch für Ersatzteile, weil sie je nach Bedarf in der Nähe des Verwendungsortes auf 3D-Druckern direkt aus der Software gefertigt werden können. Weitere Vorteile der additiven Fertigung sind, dass unterschiedliche Teile auf ein und derselben Maschine hergestellt werden können. „Schlussendlich ermöglicht die additive Fertigung eine bislang unerreichte Designfreiheit. Gutes Design erlaubt, leichtere und robustere Teile mit komplexen Geometrien herzustellen“, so Jim Kor. Vorbild ist auch hier die Bionik. ■

### Engagement für Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit, ursprünglich entstanden aus den Umweltbewegungen der 80er Jahre, wird heute als gesellschaftliche Verantwortung akzeptiert und ist auch Teil der automobilen Zukunftsfähigkeit. Der stark angestiegene Ölpreis und die CO<sub>2</sub>-Diskussion haben diesen Megatrend enorm beschleunigt. Für nahezu alle Industrien gilt heute, dass Produkte kaum noch vermarktbar sind die an diesem Trend vorbeientwickelt worden sind. BMWi richtet nur den Antrieb sondern auch die Materialauswahl nach ökologischen Gesichtspunkten aus. „Emissionsfreies Fahren ist nicht genug“, betont Benoit Jacob, Leiter BMWi Design der BMW AG. Bei den i-Modellen kommen daher besonders viele Nawaros und Recycling-Werkstoffe zum Einsatz. Einige Textilien werden aus den Fasern von PET-Flaschen hergestellt. ■

### Vision für das vernetzte Leben

Jens Redmer, Business Development Manager bei Google, ist sich sicher: „Zukunft ist schon jetzt.“ Tatsächlich existieren bereits heute mannigfaltige Möglichkeiten, um unser Leben in verschiedenen Bereichen mittels intelligenter Technologien sowie moderner IT- und Kommunikationstechnologien zu vernetzen und die Lebensqualität der Menschen und die Standortqualität für die Wirtschaft zu verbessern. „Smart Cities“ verschaffen den Bürgern mit digitalen Lösungen eine angenehme urbane Umgebung. Der Informations- und Kommunikationstechnologie kommt

eine Schlüsselrolle zu, um Fahrzeuge, Haushalte, Unternehmen und andere Einrichtungen an entsprechende Hochleistungsnetzwerke anzubinden.

Ein Beispiel liefern „Smart Grids“ – intelligente Stromnetze, die Stromnutzung, -erzeugung und -verbrauch bedarfs- und verbrauchsorientiert effizient miteinander verknüpfen. Lösungen für den Straßenverkehr liefert die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur. Die Verwendung von Echtzeit-Verkehrsdaten hilft zum Beispiel, um vor Unfällen zu warnen, Staus zu verhindern, Emissionen zu reduzieren oder eine freie Stromladesäule zu finden.

Alles in allem verspricht das vernetzte Leben in der Zukunft Erleichterung und Flexibilisierung in der Alltagsgestaltung und somit eine Steigerung der Lebensqualität. ■

### Lösungen für die Zukunft

Einer Studie des Beratungshauses Oliver Wyman zufolge basiert ein Großteil heutiger Autoinnovationen nach wie vor auf den Ideen und Träumen von Ingenieuren. Oft seien Innovationen deshalb erfolglos, weil Hersteller und Zulieferer zu wenig über künftige Marktentwicklungen und die Wünsche ihrer Kunden wissen und zudem das Marketing ihrer Innovationen vernachlässigen. So würde auch heute nur eine von sechs angebotenen Innovationen auch verkauft. Etwa 40 Prozent aller Investitionen fließen in Innovationen, die es nie ins Serienauto schaffen oder wegen ungenügender Akzeptanz bei Autokäufern nie in aus-



Das Symposium „Das Automobil der Zukunft“ am 7.-8. Juli 2014 in der BMW Welt bringt Entscheider aus allen Bereichen der Automobilindustrie zusammen ■

reichender Stückzahl produziert werden können. Von den verbleibenden 60 Prozent werden 20 Prozent für die notwendige Serienentwicklung ausgegeben. Weitere 20 Prozent fließen in Innovationen, die lediglich gesetzliche Vorgaben erfüllen, die aber nicht das Produkt differenzieren. Es sind also nur 20 Prozent der Investitionen in Innovationen tatsächlich profitabel.

„Keine andere Branche bedingt derart vernetztes Denken zwischen den Megathemen ‚Mobilität – Energie – Stadt der Zukunft‘ wie die Automobilindustrie“, beschreibt Bayern Innovativ-Geschäftsführer Prof. Werner Klaffke, die Anforderungen an Entwicklungen für die künftige Mobilität.

Ziel der Bayern Innovativ ist, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) dabei zu unterstützen, ihre Innovationsdynamik zu erhöhen. Dazu bildet Bayern Innovativ zielgerichtet immer neue Schnittmengen zwischen potenziellen Kooperationspartnern aus unterschiedlichsten Branchen und Technologien und verknüpft Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft auf allen Stufen der Wertschöpfungskette. Bayern Innovativ unterstützt seine Kunden mit

maßgeschneiderten Dienstleistungen dabei, vorhandene Lücken in Technologien, Supply Chains und Absatzkanälen zu schließen. Die Netzwerke der Bayern Innovativ GmbH umfassen aktuell rund 80.000 Akteure aus 40.000 Unternehmen und Forschungsinstituten und 80 partnerschaftlich verbundene Netzwerk-Organisationen.

Im Fokus der Aktivitäten stehen die fünf zukunftsorientierten Kompetenzfelder Digitalisierung, Energie, Gesundheit, Material und Mobilität. Plattformen wie das Symposium „Das Automobil der Zukunft“ am 7.-8. Juli 2014 in der BMW Welt ermöglichen, mit Entscheidern aus diesen Bereichen Innovationen voranzutreiben. ■

Autorin:



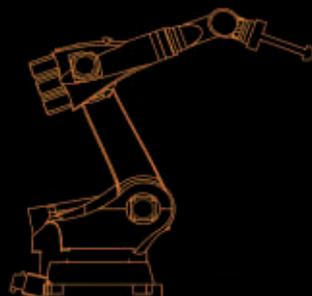
Jennifer Reinz-Zettler

Projektmanagerin  
Automotive  
Bayern Innovativ  
GmbH

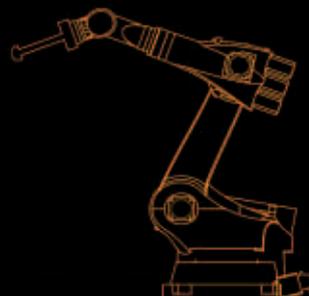
Bayern Innovativ Gesellschaft für  
Innovation und Wissenstransfer  
GmbH

Gewerbemuseumsplatz 2  
90403 Nürnberg  
Telefon: +49 911 20671- 216  
Fax: +49 911 20671- 5216  
E-Mail: reinz-zettler@bayern-innovativ.de  
www.bayern-innovativ.de

# Automobiltechnikum Bayern GmbH in Hof



**10 Jahre**



Das nach EN 17025 akkreditierte Prüflabor, gegründet vom Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie inmitten des Automobil zulieferparks Pole-Position in Hof-Gattendorf, führt Tests und Erprobungen nach kundenspezifischen Prüfvorschriften und Anforderungen durch. Konzeptionell werden die Tests durch einen kompetenten Personalstamm betreut, inhaltliche Ingenieurdienstleistungen und Problemlösungen können ebenso angeboten wie auch in Teilbereichen Konstruktionsanpassungen vorgenommen werden.

Im Bereich Betriebsfestigkeit stehen dem ATB zwei Occubot Einsitzroboter von KUKA zur Verfügung. Durch sechs Messdimensionen können mit Hilfe dieses Systems Kräfte und Momente bei höchster Flexibilität und Präzision ermittelt werden. Der Kunde erhält Daten über alle Kräfte und Momente, die an der Oberfläche auftreten, an denen der Dummy den Sitz berührt.

Die Positionen der auswechselbaren Dummies werden anhand eines Zeitstempels frei definiert und unter Verwendung von Kurvenlinien wird jede Position

durch einen genauen zeitlichen Ablauf vom Roboter angefahren. Bei jedem Testzyklus erfolgt eine kontinuierliche Anpassung der Kräfte und Momente entsprechend dem Verschleiß der Form. Ein integriertes automatisiertes Fotosystem dokumentiert den Verschleiß über die gesamte Laufzeit.

Im Bereich Umweltsimulationen stehen zehn Klimakammern in den Größen von 1,5 m<sup>3</sup> bis zu einer befahrbaren 30 m<sup>3</sup> Kammer mit Temperaturbereichen von maximal



# Automobil Technikum Bayern

ATB

- 70° C bis 180° C und Feuchtebereichen von 10% bis 98 % zur Verfügung, um Wärme- und Kältelagerungen sowie Feuchtigkeitserhebungen an Bauteilen nach einschlägigen DIN-Nomen und Firmenspezifischen Prüfvorschriften durchführen zu können. Die Wärmeöfen bis zu einem Volumen von 720 Liter ermöglichen Tests bis 300° C. Eine 2m<sup>3</sup> große Salzsprühnebelkammer erfüllt alle gängigen Prüfnormen, auch für Kondenswassertests.



Vier Federprüfmaschinen für den Bereich Dauer- und Betriebsfestigkeitsprüfungen technischer Federn mit einer Prüfkraft von 2000 N pro Feder befinden sich ebenfalls in Betrieb, wie unser servohydraulisches Prüfsystem mit insgesamt 8 Achsen und Kräften bis 40 kN. Die Maximalhöhe liegen bei 400mm. Zwei elektrische Hubzylinder mit Kräften bis 20 kN und maximalen Hüben bis zu 350mm zum Messen und Protokollieren der Federkraft an bestimmten Positionen mit überwachter Linearität steht einsatzbereit für Tests und Erprobungen zur Verfügung.



Unser Messlabor ist ausgestattet mit einer Materialprüfmaschine für Zug- und Druckprüfungen, mehreren Digitaltracern von HBM mit bis zu 32 Kanälen, sowie einer Wärmebildkamera und einem digitalen Lichtmikroskop mit bis zu 200facher Vergrößerung.

Weiterhin werden photogrammetrische Vermessungen mit einem System von AICON, bzw. mit einem Streifenlichtscanner von Steinbichler angeboten. So können zum Beispiel Maßänderungen an Instrumententafeln, nach Durchlaufen eines Klimatests, dargestellt werden.



**Autor:**

Peter Ruppel  
Automobiltechnikum  
Bayern GmbH

Weitere Informationen zu unserem aktuellen Dienstleistungsspektrum und Prüfstandsangebot finden Sie im Internet:

[www.atbayern.de](http://www.atbayern.de)

Ferdinand-Porsche-Straße 10  
95028 Hof / Haidt  
Tel.: + 49 9281 85019 0  
Fax: + 49 9281 85019 500  
[pru@atbayern.de](mailto:pru@atbayern.de)



# Emotion, Dynamik und Hightech – Der neue Audi TT

- *Kompakter Sportwagen überzeugt durch Design und Fahrdynamik*
- *Entwicklungsvorstand Prof. Dr. Ulrich Hackenberg:  
„Technik für den Fahrer noch besser erlebbar“*

*Die dritte Generation des kompakten Sportwagens fasziniert erneut mit emotionalem Design und dynamischen Qualitäten. Innovative Technologien beim Antrieb sowie im Bedien- und Anzeigekonzept – darunter das Audi virtual cockpit – zeichnen das neue Coupé aus.*

„Der Audi TT steht als Sinnbild für eine authentische Designikone und eine Fahrmaschine mit Top-Performance“, erklärt Prof. Dr. Ulrich Hackenberg, Vorstand für Technische Entwicklung der AUDI AG. „Mit der neuen Generation machen wir die Technik für den Fahrer noch besser erlebbar – so wie er es von einem echten Sportwagen erwartet.“ ■

## Die Karosserie

Zu den großen Kompetenzen von Audi gehört der Leichtbau. Schon der Audi TT der zweiten Generation nutzte eine Audi Space Frame-Karosserie (ASF) aus Aluminium und Stahl. Beim neuen TT hat Audi dieses Material-Mischbau-Prinzip konsequent weiterentwickelt – nach dem Motto: das richtige Material an der richtigen Stelle in der richtigen Menge für die optimale Funktion. Die Bodengruppe des Coupés ist achslastoptimiert aus modernen, hochfesten und höchstfesten Stahllegierungen gefertigt. In strukturell hochbeanspruchten Bereichen der Passagierzelle sind formgehärtete Stahlplatten im Einsatz, die ultrahochfest und zugleich leicht sind – sie machen 17 Prozent des Karosseriegewichts aus. Als Seitenschweller und Dachrahmen dienen Strangpressprofile aus Aluminium, die



*Audi TT Coupé* ■

durch Aluminiumgussknoten in die Struktur integriert sind. Durch dieses Konstruktionsprinzip entsteht eine sehr steife und sichere Rohkarosserie. Die Seitenteile und das Dach aus Aluminium vervollständigen den Aufbau. Ebenso sind die Frontklappe, die Türen und die Heckklappe aus dem leichten Metall gefertigt. Insgesamt ist es den Audi-Ingenieuren beim TT zum zweiten Mal in Folge gelungen, das Leergewicht des Autos signifikant zu senken. Waren es beim ersten Modellwechsel 2006 bis zu 90 Kilogramm Gewichtsersparnis, so wiegt der neue TT mit 2.0 TFSI Motor

gerade einmal 1.230 Kilogramm. Das sind rund 50 Kilogramm weniger als beim Vorgänger. Das niedrige Gesamtgewicht ist ein Beweis für die Leichtbaukompetenz von Audi. Es wirkt sich vor allem auch positiv auf die Beschleunigung, das Handling und den Verbrauch aus. ■

## Der Innenraum

Klar gegliederte Volumen mit gespannten Oberflächen und eine leichte, nahezu schwebende Linienführung – das Interieur verleiht dem puristischen Sportwagen-Charakter des neuen Audi TT Gestalt. Horizontale Linien und Flächen betonen



Audi TT – Interieur ■

– analog zum Exterieur – die Breite des Innenraums. Die Mittelunnelkonsole, die bei schneller Kurvenfahrt die Unterschenkel abstützt, und die Türverkleidungen sind in fließenden, einander ähnlichen Formen gehalten. Auch hier gilt: Weniger ist mehr. Klare, puristische Linien unterstreichen sowohl die Leichtigkeit als auch die kompromisslose Sportlichkeit des Audi TT-Interieurs. Zwei weitere gestalterisch wie technisch innovative Kunstgriffe ermöglichten den Designern, die Instrumententafel in einer bestehend schlanken Architektur zu realisieren: die Zusammenfassung von Kombiinstrument und MMI-Screen zur zentralen, digitalen Einheit – dem sogenannten Audi virtual cockpit. Darüber hinaus befindet sich die Klimaanlagebedienung direkt in den Luftausströmern. Von oben gesehen, ähnelt die Instrumententafel einer Flugzeugtragfläche eines Flugzeugs; die runden Luftdüsen – ein klassisches TT-Feature – erinnern mit ihrem Turbinen-Design an Triebwerke. Die Ausströmer beinhalten sämtliche Bedienfunktionen der serienmäßigen Klimaanlage beziehungsweise der optionalen Klimaautomatik (Serie beim TTS). Die Regler für Sitzheizung, Temperatur, Ausrichtung, Luftverteilung und Stärke des Luftstroms liegen in ihren Achsenzentren, bei der Klimaautomatik zeigen kleine Displays die gewählte Einstellung an. Unter den mittleren Luftdüsen ist die

horizontale Schalterleiste positioniert. Die dreidimensional ausgestalteten Kipptasten ermöglichen die Bedienung des Warnblinklichts, von Audi drive select und den Assistenzfunktionen.

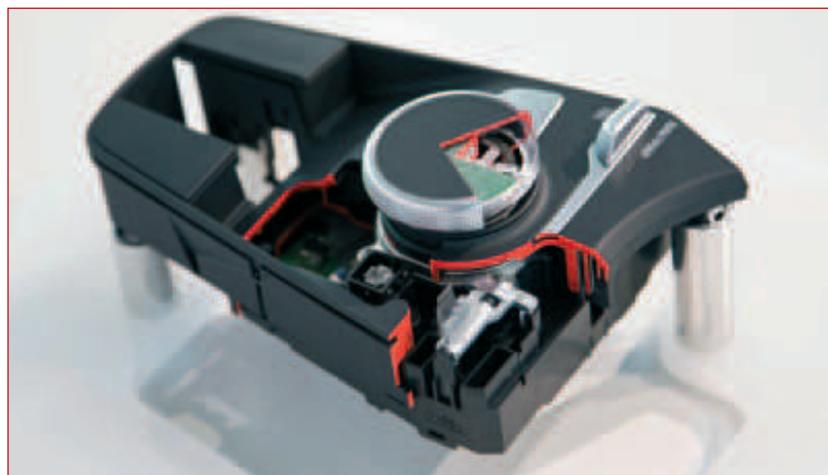
Die serienmäßigen Sportsitze im neuen Audi TT haben integrierte Kopfstützen und sind tiefer montiert als im Vorgängermodell. Im Vergleich zu den Sitzen des Vorgängermodells sind mehr als fünf Kilogramm leichter. Auf Wunsch – und Serie beim TTS – gibt es die neu entwickelten SSportsitze mit stark konturierten und pneumatisch einstellbaren Wangen. Sie bieten dem Körper hervorragenden Komfort bei exzellentem Halt. Das neue Multifunktionslenkrad hat einen abgeflachten Kranz, Spangen in Aluminiumoptik umfassen seine Speichen. Hinzu kommt ein Fahrerairbag, der mit 40 Prozent weniger Bauraum

auskommt, ohne Abstriche bei der Sicherheit und so die optische Leichtigkeit unterstreicht. Zahlreiche Details demonstrieren den hohen Anspruch, den Audi an das Design und die Verarbeitungsqualität im Innenraum stellt. Zu ihnen zählen der neu gestaltete, durchbrochene Schaltknopf, der hochpräzise rastende MMI-Dreh-/Drück-Steller sowie die fein ausgearbeiteten Lautsprecher-Blenden mit Lichtleitern im optionalen Sound System von Bang & Olufsen. Als 2+2-Sitzer ist der neue Audi TT ein Sportwagen mit hohem Alltagsnutzen. Der Gepäckraum hat mit 305 Litern im Vergleich zum Vorgängermodell 13 Liter mehr Volumen und lässt sich durch Umklappen der hinteren Sitzlehnen vergrößern. ■

### **Bedienung und Anzeige**

Das Bedienkonzept des neuen TT präsentiert sich von Grund auf neu entwickelt – dem konsequenten Sportwagen-Charakter entsprechend fokussieren sich alle Elemente auf den Fahrer. Beim Multifunktionslenkrad stehen zwei Varianten zur Wahl. In der Top-Ausführung kann der Fahrer mit dem Lenkrad fast alle Funktionen steuern, ohne den Blick von der Straße abzuwenden.

Als zweite Bedieneinheit fungiert das ebenfalls neu konzipierte MMI-Terminal auf der Konsole des Mittelunnels. Zwei Kipptasten erschließen die Menüs Navigation/



Audi TT – Querschnitt MMI Bedienteil ■



Audi TT – Interieur: Audi virtual cockpit ■

Karte, Telefon sowie Radio und Media. Zu beiden Seiten des zentralen Dreh-/Drück-Stellers liegen zwei Tasten, ergänzt durch eine Hauptmenü- und eine Back-Taste. Mit dem berührungssensitiven Touchpad auf der Oberseite des Stellers (ab Connectivity-Paket) kann der Fahrer beispielsweise Navigationsziele komfortabel eingeben – das MMI touch erkennt seine persönliche Handschrift. Außerdem ist es möglich, in Listen zu scrollen und in Karten zu zoomen.

Die Menüstruktur des MMI orientiert sich an einem Smartphone, die Freitextsuche eingeschlossen. Alle wichtigen Funktionen lassen sich direkt erreichen. Ein besonderes Highlight ist dabei die MMI Direktsuche. Bei der Navigation ermöglicht die Direktsuche ein sofortiges Losschreiben, ohne ein starres Formular verwenden zu müssen. In den meisten Fällen genügen bereits vier Buchstaben um relevante Treffer europaweit angezeigt zu bekommen. Über die beiden seitlichen Tasten eröffnen sich kontextabhängige Funktionen (rechte Taste) und Optionen (linke Taste). Die Bedienlogik ist leicht verständlich – sie vermittelt einen völlig neuartigen „joy of use“. Neben der Steuerung über das Bedienteil bietet der Audi TT noch eine weitere Möglichkeit: das Sprach-Dialog-System. Auch hier geht Audi neue Wege. Im Audi TT kommt erstmals eine natürlich sprachliche Steuerung zum Einsatz,

die es ermöglicht, mit einfachen Befehlen – etwa wie „Fahre mich nach München“ oder „Ich möchte mit Sabine sprechen“ – die Fahrzeugsysteme zu bedienen, ohne die Hände vom Lenkrad nehmen zu müssen.

Anstelle der herkömmlichen Analoganzeigen hat der neue TT das Audi virtual cockpit an Bord – das volldigitale Kombiinstrument setzt mit seinen dynamischen Animationen und den präzisen Grafiken neue Maßstäbe. Der Fahrer kann zwischen zwei Anzeigemodi wählen: In der klassischen Ansicht stehen Tacho und Drehzahlmesser im Vordergrund, im „Infotainment“-Modus sind die virtuellen Instrumente kleiner. Auf der freien Fläche, die dadurch entsteht, erhalten andere Funktionen – wie die Navigationskarte – sehr viel Raum.

Beim Audi TTS steht noch ein dritter, sportlicher Modus zur Wahl. Hier dominiert der mittig positionierte Drehzahlmesser das Anzeigefeld. Mit einer Auflösung von 1.440 x 540 Pixel zeigt der 12,3 Zoll große TFT-Monitor gestochen scharfe, brillante Bilder. Im Hintergrund arbeitet ein Tegra 30-Grafikprozessor aus der Tegra-3-Serie des Marktführers Nvidia. Am unteren Rand des Audi virtual cockpit sind die Anzeigen für Außentemperatur, Uhrzeit und Kilometerstände permanent zu sehen. An dieser Position erscheinen auch eventuelle Warn- und Hinweissymbole.

## Der Antrieb

*(alle Verbrauchs- und Fahrleistungswerte sind vorläufig)*

Audi bietet den neuen TT und TTS mit drei Vierzylindermotoren mit Turboaufladung und Direkteinspritzung an, die Leistungsspanne reicht von 135 kW (184 PS) bis 228 kW (310 PS). Die beiden TFSI-Benziner und der TDI vereinen sportliche Kraft mit wegweisender Effizienz. Das Start-Stop-System ist Serie.

Zum Start des TT steht der 2.0 TDI mit Handschaltung und Frontantrieb bereit. Er leistet 135 kW (184PS) und hat ein Drehmoment von 380 Nm. Damit beschleunigt der neue Sportwagen in 7,2 Sekunden von 0 auf 100 km/h und erreicht eine Höchstgeschwindigkeit von 235 km/h. Der Normverbrauch stellt mit nur 4,2 Liter pro 100 km – das entspricht einem CO<sub>2</sub>-Ausstoß von 110 g/km – einen neuen Bestwert in der Sportwagen-Welt dar. Zu den Merkmalen des 2.0 TDI gehören die beiden Ausgleichswellen im Kurbelgehäuse, die verstellbaren Nockenwellen und das Common-Rail-Einspritzsystem mit einem Spitzendruck von 2.000 bar. Der Audi TT 2.0 TDI erfüllt die Euro 6-Norm und trägt dank seiner hohen Effizienz das „ultra“-Label. Der 2.0 TFSI ist in zwei Varianten verfügbar – mit 169 kW (230 PS) im TT und mit 228 kW (310 PS) im TTS. In beiden Ausführungen vereint er modernste Technologien – die zusätzliche indirekte Einspritzung als Ergänzung der Direkteinspritzung FSI, das Audi valvelift system (AVS) zur Verstellung des Ventilhubes auf der Auslassseite sowie ein Thermomanagement, das ein Drehschieber-Modul und einen in den Zylinderkopf integrierten Abgaskrümmern nutzt. Im Audi TT entwickelt der 2.0 TFSI von 1.600 bis 4.300 1/min 370 Nm Drehmoment. Er beschleunigt das Coupé mit Sechsgang-Handschaltung und Frontantrieb in 6,0 Sekunden von 0 auf 100 km/h und weiter auf elektronisch begrenzte 250 km/h Spitze.

Bei der Version mit der Sechsgang S tronic und dem Allradantrieb

quattro lauten die Eckdaten für den Spurt auf 100 km/h in 5,3 Sekunden, 250 km/h Höchstgeschwindigkeit und 6,8 Liter pro 100 Kilometer (159 Gramm CO<sub>2</sub> pro km). Das Doppelkupplungsgetriebe wechselt seine sechs Gänge ohne spürbare Zugkraftunterbrechung, im manuellen Modus lässt es sich mit Wippen am Lenkrad steuern. Im Modus „efficiency“ von Audi drive select legt die S tronic den Freilauf ein, sobald der Fahrer vom Gas geht.

Der Audi TTS stößt in den Hochleistungsbereich vor. Er hakt den Standardsprint in 4,7 Sekunden ab; die Höchstgeschwindigkeit wird bei 250 km/h elektronisch begrenzt. Sein 2.0 TFSI produziert 380 Nm Drehmoment, die von 1.800 bis 5.700 Touren bereitstehen: Schaltbare Klappen in der Abgasanlage modulieren den sportlichen Sound und machen diesen noch voller. Ein manuelles Getriebe ist Serie. Mit der S tronic-Option gibt es die Launch Control, die die maximale Beschleunigung aus dem Stand regelt. ■

### Der quattro-Antrieb

Im neuen Audi TT vermittelt der permanente Allradantrieb quattro ein großes Plus an Stabilität, Traktion und Fahrspaß. Speziell für den neuen TT wurde dieser konsequent weiterentwickelt und optimiert. Seine elektrohydraulisch geregelte Lamellenkupplung ist an der Hinterachse montiert. Die spezielle Pumpenkonstruktion ermöglicht eine Gewichtsreduktion von rund 1,5 Kilogramm gegenüber dem Vorgängermodell. Die Verteilung der Antriebsmomente zwischen den Achsen erfolgt elektronisch geregelt innerhalb von Sekundenbruchteilen. Die Intelligenz des quattro-Antriebs – also die Software, welche die mögliche Momentenverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse exakt ermittelt –

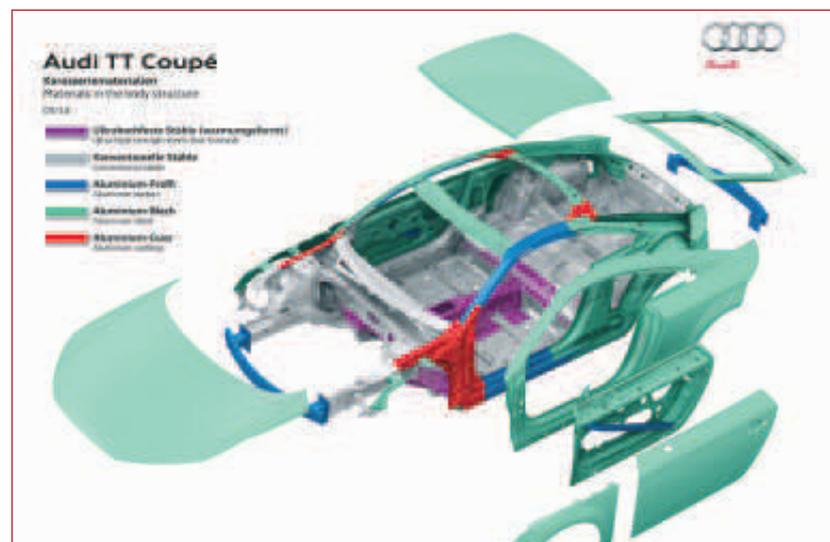
wurde eigens für den TT komplett neu entwickelt. Die innovative Regelphilosophie bestimmt kontinuierlich die Umgebungsbedingungen, den Fahrzustand sowie den Fahrerwunsch. So wird in jeder Situation die jeweils ideale Aufteilung der Momente berechnet und die fahrdynamische Auslegung des TT unterstützt.

Durch die Vernetzung des quattro-Antriebs mit Audi drive select hat der Fahrer des neuen Audi TT die Möglichkeit, die Allradeigenschaften individuell einzustellen. So erhält er im Modus „auto“ bestmögliche Traktion und ausgewogene Fahrdynamik. Im Modus „dynamic“ erfolgt die Momentenverteilung zur Hinterachse früher und in einem höheren Maße, so dass insbesondere auf niedrigen Reibwerten eine weitere Steigerung der Fahrdynamik erreicht wird. Neben der Optimierung der Fahrdynamik stand das Thema Effizienz bei der Weiterentwicklung des quattro-Antriebs im Fokus. Im drive select-Modus „efficiency“ wird die Momentenverteilung zugunsten eines optimalen Wirkungsgrades angepasst. Durch die exakte Bestimmung von Fahrzustand und Fahrertyp ist eine effizienzoptimierte Allradregelung möglich – dies kann sogar bis zu einer temporären Abschaltung des quattro-

Antriebs führen. Die intelligente Software überwacht in diesem Betriebszustand sensibel die Fahr-situation und aktiviert den Allradantrieb, bevor wieder ein Moment an allen vier Rädern benötigt wird. Damit lässt sich der quattro-Antrieb mit bestmöglicher Effizienz bei quattro-typischer Traktion und Fahrdynamik darstellen. ■

### Das Fahrwerk

Die technologische Kompetenz, die hinter dem neuen Audi TT steht, spiegelt sich auch im Fahrwerk wider. Die vordere Aufhängung folgt der McPherson-Bauweise; Aluminium-Komponenten reduzieren das Gewicht der ungefederten Fahrwerksmassen. Die Vierlenker-Hinterachse kann die Längs- und Querkräfte voneinander getrennt verarbeiten. Ein besonderes Highlight ist die neue dritte Generation der adaptiven Dämpferregelung Audi magnetic ride. Gegenüber dem Vorgänger wurde sie hinsichtlich Kennlinienspreizung, Regeldynamik und -güte sowie Bedienbarkeit weiter verbessert. Über Audi drive select ist Audi magnetic ride in drei Stufen (comfort – auto – dynamic) verstellbar und bindet den kompakten Sportwagen auf Tastendruck entweder noch enger an die Fahrbahn an oder lässt ihn sanft über die Fahrbahn gleiten – unab-



Audi TT Coupé – Karosseriematerialien ■



Audi TT Coupé 2.0 TDI ■

hängig davon, welchen Modus der Fahrer wählt: Die magnetic ride-Technik sorgt für eine extrem schnelle radselektive Regelung der Dämpferkräfte, so dass in jeder Fahrsituation ein optimaler Kontakt zwischen Rad und Fahrbahn gewährleistet wird. Die hohe Fahrdynamik des neuen Audi TT wird hierdurch weiter optimiert, die Aufbaukontrolle stellt gleichzeitig ein gutes Komfortverhalten sicher. Das System stellt ein Alleinstellungsmerkmal in diesem Marktsegment dar. Audi magnetic ride gehört beim Audi TTS zur Serienausstattung, für alle anderen TT-Varianten ist es optional erhältlich. Ein weiteres Highlight ist die serienmäßige Progressivlenkung – ihre Zahnstange ist so ausgelegt, dass die Übersetzung mit dem Lenkeinschlag direkter wird. Dadurch lässt sich der neue TT im Stadtverkehr und auf kurvigen Landstraßen mit wenig Lenkwinkel agil und präzise bewegen. Die elektromechanisch angetriebene und dadurch hocheffiziente Progressivlenkung passt ihre Unterstützung der Geschwindigkeit an und ermöglicht die optionalen Assistenzsysteme – Audi active lane assist und den Parkassistenten.

Mit seiner aufwendigen Fahrwerkskonstruktion und der straffen Abstimmung meistert der neue Audi TT alle Handling-

Aufgaben mit Bravour. Beim TTS, beim S line Sportpaket sowie bei der adaptiven Dämpferregelung Audi magnetic ride ist die Karosserie zehn Millimeter tiefer gelegt. Beim neuen Audi TT gibt es das Fahrdynamiksystem Audi drive select optional, beim TTS ist es serienmäßig dabei. Es kontrolliert die Motorcharakteristik und die Lenkunterstützung. Der Fahrer kann zwischen den Modi comfort, auto, dynamic, efficiency oder individual wechseln. Darüber hinaus beeinflusst Audi drive select mehrere optionale Bausteine – die S tronic, den quattro-Antrieb, das System Audi magnetic ride, das den kompakten Sportwagen auf Tastendruck noch enger an die Fahrbahn anbindet, sowie den Motorsound. Im Modus efficiency wirkt sich Audi drive select auch entsprechend auf Klimaanlage und Start-Stop-System aus. Im Räderprogramm finden sich elf Varianten. Der TT 2.0 TFSI und der 2.0 TDI fahren serienmäßig auf 17 Zoll-Schmiederädern im Fünf-Speichen-Design vom Band, die jeweils nur 8,7 kg wiegen, die Reifen haben die Dimension 225/50. Auf Wunsch liefert Audi weitere Räder-Designs mit 17, 18 und 19 Zoll Durchmesser und Reifen bis 245/35 R19. Die quattro GmbH bietet zusätzlich Räder mit bis zu 20 Zoll Durchmesser an.

Die vorderen Scheiben sind innenbelüftet und weisen je nach Motorisierung einen Durchmesser von bis zu 338 Millimeter auf. Die neue elektromechanische Parkbremse, die der Fahrer über einen Taster bedient, ist in die Hinterbremsanlage integriert. Der TTS verzögert an der Vorderachse mit neu entwickelten Aluminium-Festsattelbremsen, die fünf Kilogramm Gewicht im Vergleich zum Vorgänger sparen – ein weiteres Beispiel für die Leichtbaukompetenz von Audi. Die elektronische Stabilisierungskontrolle ESC, die sich teilweise oder vollständig abschalten lässt, rundet die sportlichen Handling-Eigenschaften perfekt ab. Beim Durchfahren von Kurven wirkt eine radselektive Momentensteuerung. Nach Bedarf findet eine Verteilung des Antriebsmoments vom kurveninneren auf das kurvenäußere Vorderrad (Frontantrieb) bzw. beim quattro auch auf das Hinterrad statt. Dank der Differenz der Vortriebskräfte dreht sich das Auto ganz leicht – hilfreich für den Fahrer – in die Kurve ein. Dadurch können Kurven präzise und neutral durchfahren werden. Der TT erzielt dadurch ein großes Plus an Dynamik und Stabilität. Im Sportmodus wird besonders sportliches Fahren unterstützt, das Einlenken und die Kontrolle im Drift erleichtert. Das Zusammenpiel und die Abstimmung aller Komponenten steigern das agile Handling und damit den Fahrspaß im Audi TT, so wie man es von einem Sportwagen erwartet. ■

#### Ansprechpartner:

Herr Christoph Lungwitz  
AUDI AG  
I/GP-P3

D-85045 Ingolstadt  
Tel.: +49-841-89-33827  
Mobil: +49-151-54331109  
Fax: +49-841-89-32817  
E-mail: christoph.lungwitz@audi.de  
www.audi.com



# MEGIST: Serienanläufe erfolgreich umsetzen

## Verkürzte und komplexere Modelllebenszyklen erfordern ein entsprechend ausgerichtetes Anlaufmanagement.

Die zunehmende Häufigkeit und steigende Komplexität von Serienanläufen kennzeichnet die derzeitige Situation der weltweiten Automobilindustrie. Der Wettbewerb um Marktanteile und attraktive Nischenmärkte zwingt Automobilhersteller und Zulieferer gleichermaßen, Modelllebenszyklen zu verkürzen und stärker als je zuvor die Modellpalette mit neuen Fahrzeugvarianten zu erweitern. Serienanläufe sind daher nicht nur häufiger, sondern auch in kürzeren Zeitabständen zu bewältigen.

Aus diesem Grund stellt das systematische Management von Serienanläufen eine kritische Erfolgsdeterminante für die Automobilindustrie dar. Das Anlaufmanagement ist primär auf die Erreichung der gesetzten Qualitäts-, Termin- und Kostenziele gerichtet und unterstützt Unternehmen dabei, den Serienanlauf sowohl technisch als auch ökonomisch erfolgreich zu gestalten.

*Hier wird Know-How erforderlich, das MEGIST zur Verfügung stellt.*

## Serienanlauf – wichtige Stellschraube für den Erfolg eines Produktes

Durch den Strukturwandel, - vor allem durch die steigende Frequenz von Markteinführungen-, ist ein adäquates Management des Serienanlaufs vor dem Hintergrund von Kosten, Qualität und Produktionskomplexität essentiell. Um der steigenden Komplexität zu begegnen und wesentliche Verbesserungs- und Einsparpotenziale zu er-

schließen bedarf es Professionalisierung und methodische Fundierung des Anlaufmanagements. In dieser Phase ist ausgesprochen qualifiziertes Personal erforderlich, in der dafür notwendigen Anzahl aber selten frühzeitig verfügbar. Zur Bewältigung dieser Hürde bietet es sich an, weitere personelle Ressourcen in die Serienanlaufaktivitäten zu involvieren. Um sowohl der steigenden Komplexität zu begegnen als auch wesentliche Verbesserungs- und Einsparpotenziale zu erschließen steht Ihnen MEGIST zur Seite

- Ganzheitliches und kontinuierliches Anlaufmanagement in der kritischen Phase des Anlaufs
- Bündelung der Aktivitäten zur richtigen Planung, Steuerung, Durchführung und Kontrolle des Serienanlaufs
- Einbeziehung der vor- und nachgelagerten Prozesse
- Vernetztes Ineinandergreifen von Automobilherstellern und Lieferanten
- Projektdatendokumentation und Kostentransparenz



## Qualität – ein Grundbaustein der Automobilindustrie

Die Zielsetzung des Serienanlaufs ist, eine möglichst frühe steile, gleichzeitig jedoch zuverlässige Anlaufkurve durch kosteneffizien-

te Minimierung bzw. Vermeidung von produkt- und supply-chain-seitigen Fehlerquellen und Störungen zu gewährleisten.

Über Erfolg oder Misserfolg eines Unternehmens entscheidet jedoch nicht nur die Qualität seiner unterschiedlichen Einzelleistungen. Ebenso spielt die Bereitschaft und Fähigkeit, flexibel, innovativ und schnell auf Veränderungen und Wünsche von Kunden und Märkten zu reagieren, eine große Rolle. Insgesamt sind es komplexe Anforderungen, die nur mit einem wirkungsvollen Qualitätsmanagementsystem zu erfüllen sind. Hier wird von MEGIST erfahrene Fachkompetenz zur Verfügung gestellt:

- Durchführung von FMEAs
- Erarbeiten von Produktionslenkungsplänen, Erarbeiten von Prüfplänen
- Verifizierung und Validierung von Entwicklungsergebnissen
- Erarbeiten von klaren Zielvorstellungen und Festlegung von Kriterien zur Gewährleistung der Funktion und Qualität des Produkts ■

Ihr Ansprechpartner:



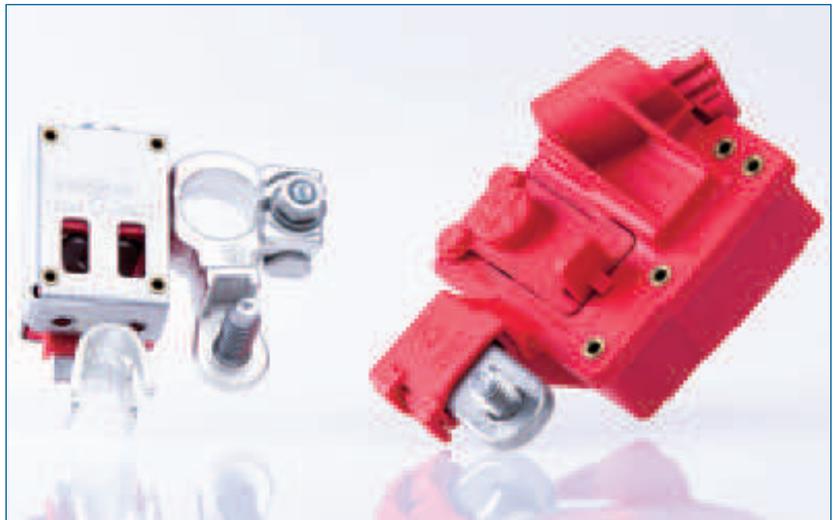
Selina  
von Waldenburg  
Key Account Manager

MEGIST GmbH  
Leopoldstraße 44, 80807 München  
T: +49 89 - 208039 - 294  
F: +49 89 - 208039 - 295  
selina.v.waldenburg@megist-company.com  
www.megist-company.com

# Innovatives Energiemanagement für das Bordnetz der Zukunft

Die Auto-Kabel Gruppe beschäftigt weltweit rund 2.300 Mitarbeiter. Wir entwickeln und fertigen Lösungen für das Energiemanagement und die Energieverteilung im Automobil, sowie im Bereich der Sicherungstechnik für Bordnetze und mechatronischer Funktionskomponenten.

Als verlässlicher Partner und Spezialist für ganzheitliche Systemlösungen im Automobil steht unsere erfolgreiche Geschichte. Die konstante Entwicklung der Gruppe auch über europäische Grenzen hinaus, zeugt von der hohen Innovationskraft unserer Mitarbeiter. Der Mut den Status quo immer wieder in Frage zu stellen und nach neuen Lösungsansätzen zu forschen ist der Motor für Innovation und Fortschritt. Mit dieser Philosophie schaffen wir als Auto-Kabel Gruppe heute in acht Ländern dieser Welt Innovationen und individuelle Lösungen für unsere Kunden.



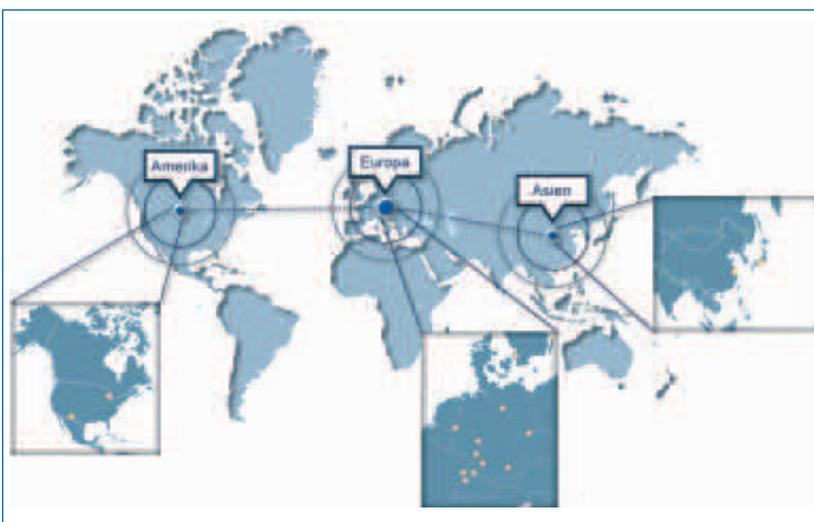
SBK3.0 (l.), SBK2.0 (r.) ■

Effizienz ist das Stichwort der Zeit. Hier gilt es neue Möglichkeiten zu erschaffen um weitere Steigerungs- und Optimierungsmöglichkeiten zu realisieren. Anspruchsvolle CO<sub>2</sub> Flottenziele stellen die OEMs und in direkter Folge deren Zulieferindustrie vor

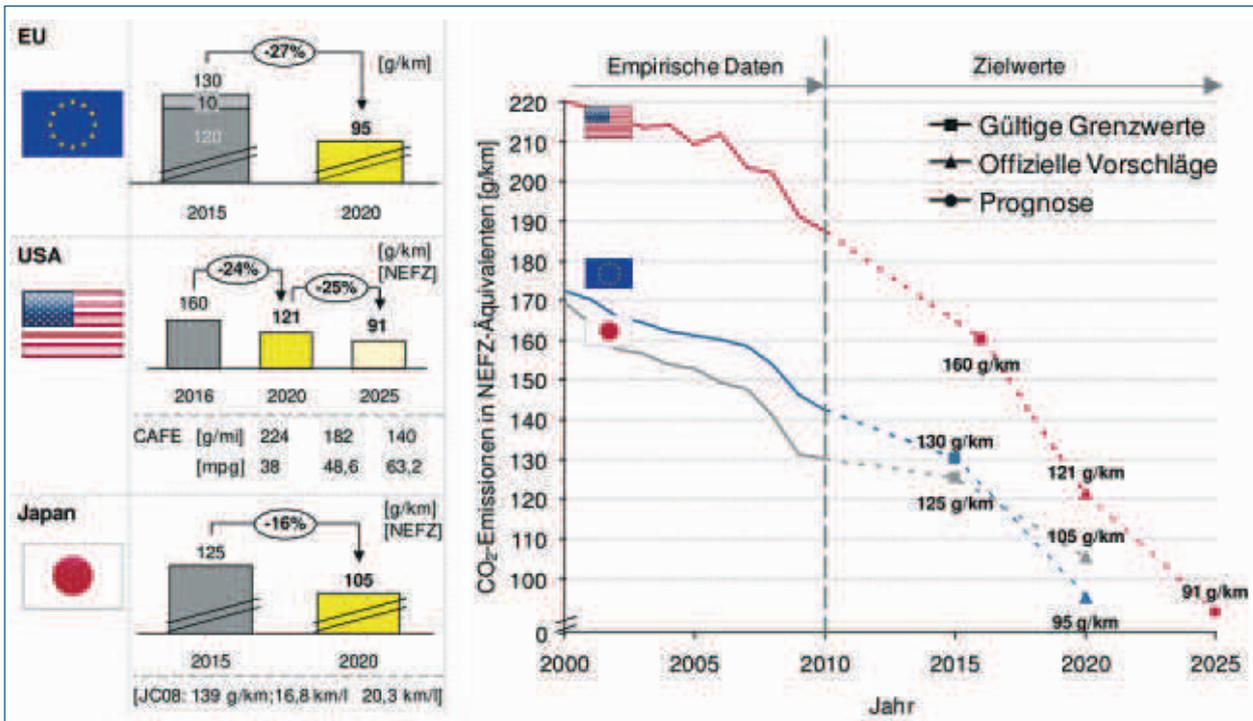
neue Herausforderung, die es zu bewältigen gilt.

Die voranschreitende Elektrifizierung zukünftiger Fahrzeuge geht Hand in Hand mit der steigenden Erwartungshaltung an Komfort und Verlässlichkeit. Vor diesem Hintergrund ist im Besonderen das Bordnetz von modernen Fahrzeugen, um dem Qualitätsanspruch der Gesellschaft gerecht zu werden und dem technischen Anspruch durch immer mehr elektrische Verbraucher sowie höheren Energiebedarf standhalten zu können, weiter zu optimieren. Flexibilität und aktives Energiemanagement sind mittlerweile Notwendigkeiten die mit fortschreitender Entwicklung im Bereich Bordnetz über die letzten Jahre stark an Gewicht gewonnen haben und immer weiter gewinnen werden.

Bewährte technische Standards wie das pyrotechnische Trennelement SBK (Gen. 3.0) sind der techni-



Standorte ■



Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Flottendurchschnitte und Roadmap (PKW bis ca. 3,5 t zul. GG, in Anlehnung an ICC11b) ■

schon Entwicklung im Bordnetz, wie beispielsweise der Umstellung auf 48 V DC anzupassen und darüber hinaus funktionell in neue Bereiche mit flexibleren Möglichkeiten zu übertragen.

Die Notwendigkeit für flexiblere Lösungen mit höherer Funktionsdichte, unter der Berücksichtigung gesteigerter Anforderungen an z.B. Funktionaler Sicherheit, wird offensichtlich. Mit Blick auf die Anforderungen im Bordnetz der Zukunft ist auch im Bereich der Absicherung die Elektrifizierung von Funktionen nicht Kür- sondern Pflichtprogramm.

Mit den heutigen sowie zukünftigen Fahrzeuggenerationen gehen u.a. die folgenden Herausforderungen einher:

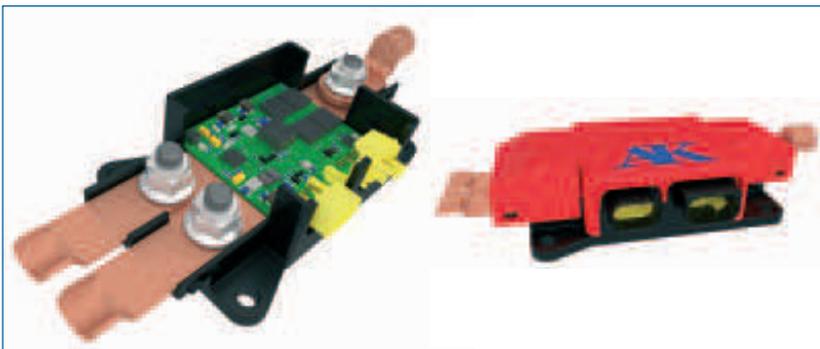
- Absicherung des Bordnetz in Notsituationen.
- Kriechstromkorrosion vor allem bei Fahrzeugstandzeiten (statistisch bis zu 90 % des Fahrzeuglebens).
- Notwendigkeit zur dezentralen Energieverteilung, als Optimierungspotenzial hinsichtlich Gewicht und Effizienz.
- Aktives Energiemanagement zur Effizienzsteigerung.
- Exponentieller Anstieg des Energiebedarfs im Fahrzeug bei gleichzeitig verschärften Emissionsgrenzen.

Die Funktionen, Absicherung und Steuerung, sind heute auf unterschiedlichste Bauteile aufgeteilt, was in der Konsequenz die Komponentenvielfalt, die es im Bauraum zu

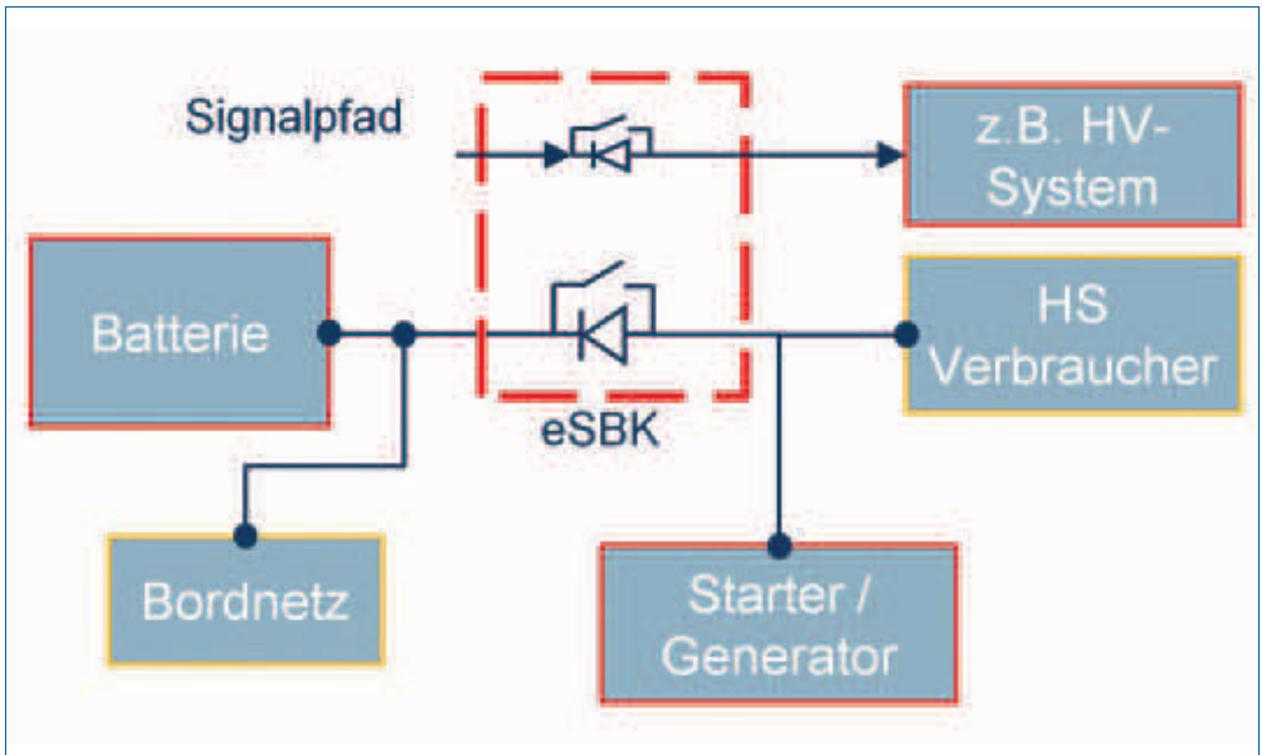
platzieren gilt, erhöht. In direkter Folge steigen die Anforderungen an den Bauraum. Gewicht und hohe Komplexität im Bordnetz sind heute zwei signifikante Faktoren in jeder neuen Fahrzeuggeneration. Heutige Systeme reagieren ereignisabhängig und können demzufolge nicht alle Fehlermodelle abdecken (z.B. Kurzschlusserkennung und anschließende Trennung).

Die Lösung ist eine Vereinheitlichung und Integration verschiedenster Steuer- und Sicherungssysteme in einer Einheit. Die elektronische Sicherheitsbatterieklammer (eSBK) ist eine zentrale, halbleiterbasierte und bidirektionale Lösung mit sehr niedrigem Übergangswiderstand (< 100 μΩ). Derzeitige Lösungen (Pyrotechnische Trennelemente, Relais, Schmelzsicherungen, ...) werden durch einen Einsatz einer eSBK, als Sicherheitselemente, obsolet da diese Funktion durch die eSBK erfüllt wird. Gemäß heutiger Entwicklungsstandards, sind die besonderen Anforderungen der ISO26262 (ASIL B) berücksichtigt.

Durch den elektronischen Schalter (eSBK) ist ein gesteuertes reversibles Trennen der Starter-, Genera-



eSBK (Visualisierung) ■



Exemplarisches Blockschaltbild eSBK ■

torleitung und diverser Hochstromverbraucher im Bedarfsfalle möglich. Der Trennvorgang ist in weniger als einer Millisekunde abgeschlossen, wobei nach Bedarf auch andere Trennzeiten konfigurierbar sind. Mit der eSBK wird es möglich einfach und schnell nicht dauerhaft benötigte Leitungen spannungsfrei zu schalten und nur bei Bedarf zu aktivieren. Im Falle der Starterleitung wäre diese somit nur im Startfall mit Energie versorgt und präventiv während der Fahrt von der Spannungsquelle getrennt und damit sind Sicherheitsaspekte im Crash-Fall ideal gelöst. Mechanischer Verschleiß (vgl. Relais) sind ebenso kein Thema wie auch eine optimale Lösung in den Punkten Bauraum und Gewicht realisiert werden können.

Das Bordnetz (Leitungen, Kontaktteile und Verbraucher), welches mit einer Spannungsquelle dauerhaft verbunden ist, wird durch Kriechstromkorrosion und Elektromigration kontinuierlich angegriffen. Die eSBK kann das angeschlossene Bordnetz im Fahrzeugstillstand, welche statistisch 90% der Fahrzeuglebensdauer einnimmt, trennen und die Korrosionsproblematik in

diesen Zeiten nicht nur vermindern sondern eliminieren.

Die Funktion des Fremdstartens am Fremdstartstützpunkt oder Batterie, wurde bei der Entwicklung berücksichtigt und bleibt weiterhin erhalten. Das Auslösesignal entspricht, analog zu Airbags und den pyrotechnischen Trennelementen, AK-LV 16. So dass die Ausgangssignale der aktuellen Airbag-Steuergeräte unverändert Verwendung findet. Darüber hinaus ist ebenso eine Ansteuerung über LIN oder CAN möglich. Unbeeinflusst davon bleiben je nach Bedarf Bordnetzbereiche für Sicherheitsrelevante Verbraucher wie beispielsweise für Warnblinklicht, Auto-telefon etc. weiterhin versorgt.

Die eSBK bietet zusätzlich die Möglichkeit der Integration weitere Funktionalitäten wie das Abschalten und das Steuern verschiedenster Systeme (z.B.: Signaltrennung, Kapazitäten kontrolliert aufladen, ...) und senkt die Anforderungen an den Einsatz dezentraler Absicherungskonzepte (Energy Backbone und Intelligente Sicherungsboxen). Diverse patentierte Technologien sind in die Entwicklung der eSBK mit eingeflossen um ein Optimum

zwischen Funktionalität aber eben auch Kosteneffizienz zu erzielen.

Die eSBK ist Symbol einer neuen Zeit, welche Hand in Hand mit Themen wie u.a. dem 48 V DC Bordnetz in den kommenden Jahren im Personenkraftfahrzeug Einzug halten wird. Deshalb freuen wir uns, als Automobilzulieferer mit langer Geschichte im Bereich der innovativen Entwicklung, auch weiterhin aktiv am Morgen mitzuwirken. ■



Autor:



**Sohejl Rafati**

Dipl.-Ing. /  
Graduate Engineer  
Product & Program  
Management

Auto-Kabel Management GmbH

Erkelenzerstr. 44  
D-41179 Mönchengladbach-Rheindahlen  
Phone: +49 2161 30870 667  
Fax: +49 2161 30870 612  
E-Mail: sohejl.rafati@autokabel.com  
www.autokabel.com

# MOVE



**WIR BEWEGEN BILDER  
BILDER BEWEGEN MENSCHEN  
MENSCHEN BEWEGEN SCHICKSALE**

Ob Imagefilm oder Messofilm - faszinierend, informativ und visuell einbindend, sorgen unsere bewegten Bilder für eine individuelle Unternehmenspräsentation und machen neugierig auf Ihre Produkte. Nutzen Sie für Ihren Auftritt im Internet oder bei Messen einen der wirkungsvollsten Wege der Kommunikation. Wir begleiten Sie gerne und freuen uns darauf!

**MEDIA MIND MOTION**

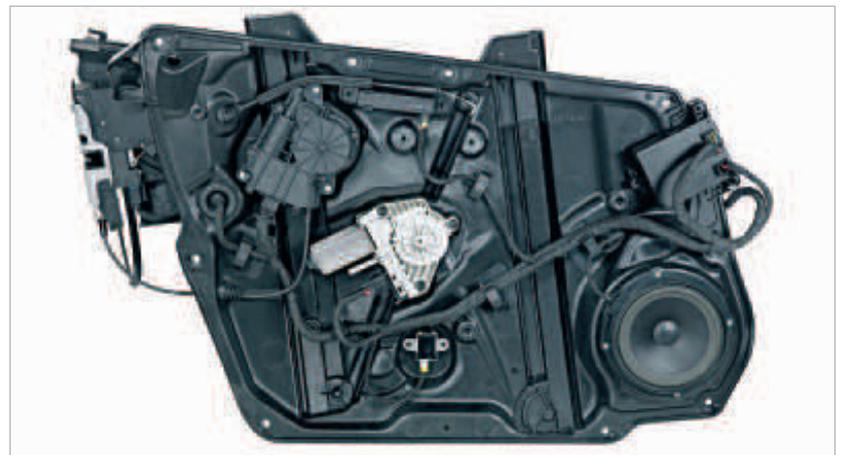
[www.mediamindmotion.com](http://www.mediamindmotion.com)

# Die Zukunft wird leichter: Neue Materialien in Türsystemen

*Leichtbau und Effizienz bleiben aufgrund der weltweit ambitionierten CO<sub>2</sub>-Ziele die führenden Themen der Automobilbranche. Für intelligente Leichtbaulösungen, Komfort- und Sicherheitsfunktionen in Türen und Heckklappen erhielt der Zulieferer Brose im vergangenen Jahr unter anderem den „Automotive Innovations Award 2013“ in der Kategorie „Karosserie und Exterieur“. Den Preis verleiht das Center of Automotive Management jährlich gemeinsam mit der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Pricewaterhouse Coopers AG. Besondere Anerkennung fanden innovative Leichtbautürsysteme – ein Bereich, in dem der Zulieferer seit Jahrzehnten immer wieder Benchmarks setzt. Das Augenmerk der Entwickler liegt darauf, durch zukunftsorientierten Materialeinsatz jede Generation noch leichter und funktionaler zu gestalten – und das möglichst kostenneutral. Innerhalb der vergangenen 10 Jahre reduzierte der Mechatronik-Spezialist das Gewicht seiner Türsysteme um rund 30 Prozent. Und die Zukunft wird noch leichter.*

## Modular aufgebaute Türsysteme

Brose gilt als Erfinder der modular aufgebauten Fahrzeugtür mit Nass-/Trockenraumtrennung. Mit dieser Entwicklung legte der Zulieferer den Grundstein für funktionalen Leichtbau bei Autotüren: Auf einem Modulträger werden alle wesentlichen Funktionen zu einer vorgeprüften und einbaufertigen Einheit zusammengefasst. Dazu gehören Fensterheber, Schloss, Kabelbaum, Türverkleidung, Lautsprecher, Dichtungen, Sonnenrollo, Steuerelektronik und Crashesensorik. Im Hinblick auf den steigenden Kostendruck und die Variantenvielfalt bei neuen Fahrzeugmodellen spielt die modulare Bauweise heute eine noch wichtigere Rolle. In der Tür müssen hohe mechanische Ansprüche mit der wachsenden Funktionalität und der notwendigen Gewichtsreduzierung in Einklang gebracht werden. Durch den Einsatz neuer Werkstoffe und Technologien erfüllt Brose diese Anforderungen. Mittlerweile sind hochintegrierte



*Mit dem Türsystem aus langglasfaserverstärktem Polypropylen beschritt Brose durch die Kombination aus leichtem Material und erhöhter Funktionsintegration neue Wege in der Großserie. Heute ist diese Variante Standard ■*

Kunststoff-Türsysteme Stand der Technik. Mit Wandstärken von nur 1,8 Millimetern bieten sie deutliche Gewichtsvorteile gegenüber Stahl: Bis zu vier Kilogramm können in einem Fahrzeug eingespart werden. Zusätzlich zum ohnehin leichteren Grundmaterial sind Funktionselemente in den Kunststoffträger integriert – beispielsweise Fensterheberschienen, Innengriff, Lautsprecherkorb, oder Befestigungselemente für

Kabel. Dies führt zur Verringerung von Bauteilen und damit zu weiteren Gewichts- und Kostenreduzierungen. ■

## Neue Generation spart weitere 40 Prozent Gewicht

Mit seiner neuen Generation Türsysteme geht der Zulieferer noch einen Schritt weiter: Ein intelligenter Materialmix ermöglicht zusätzliches Gewicht zu reduzieren, ohne

auf die benötigte Festigkeit zu verzichten. Die Trägerplatte besteht aus glasgewebeverstärktem Polypropylen (Organoblech), ergänzt mit Funktionselementen aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Die Wandstärke beträgt dadurch nur 0,5 Millimeter, der Aggregateträger bringt lediglich 580 Gramm auf die Waage. Das bedeutet eine Ersparnis von weiteren 40 Prozent Gewicht gegenüber Leichtbaulösungen aus langglasfaserverstärktem Polypropylen. Im Crashtest ist das Material mindestens so sicher wie herkömmliche Türsysteme. Durch die gestalterischen Freiheiten bei der punktgenauen Ausformung der Wandstärke, des Faserverlaufes und des Lagenaufbaus sind weitere, festigkeitsrelevante Aufgaben auf das Modul übertragbar: Wo mehr Festigkeit gefordert ist, verstärkt ein gezielter Lagenaufbau das Material oder der Faserverlauf wird angepasst, ansonsten bleibt die Trägerplatte hauchdünn. Dadurch entfallen Verstärkungsbleche, die bei marktüblichen Systemen nötig sind, um Belastung durch Türabsenkung, Windlast oder Torsion im Türinnenteil aufzufangen. An crashrelevanten Stellen sorgt die Anpassung des Faserverlaufs für hohe Bruchdehnung und damit für Sicherheit. Der Herstellungsprozess bleibt dabei einstufig: Eine vorgestanzte, erhitzte Matte aus glasgewebeverstärktem

Polypropylen wird in der Spritzgussmaschine in Form gepresst. Zeitgleich werden die Funktionselemente aus glasfaserverstärktem Polypropylen angespritzt. Die daraus resultierende Zykluszeit entspricht in etwa der eines rein gespritzten Bauteils aus langglasfaserverstärkten Werkstoffen. ■

### *Blick in die Zukunft*

Hohes Zukunftspotenzial sieht Brose zudem im Einsatz von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Das Material ist besonders leicht und dennoch hochfest: ein Verbundwerkstoff, der erheblich Gewicht einspart, ohne Abstriche bei Sicherheit und Komfort. Wie sich der Mechatronik-Spezialist die Verwendung dieses Materials in der Großserie vorstellt, demonstriert er anhand einer Leichtbautürstruktur. Diese stellt eine optimale Kombination aus Konstruktion, Material und Fertigungstechnologie dar. Der aus CFK gefertigte Prototyp spart im Vergleich zu Aluminium knapp vier Kilogramm Gewicht pro Tür, im Vergleich zu Stahl sogar 11 Kilogramm. Zusätzlich eröffnet dieses Konzept neue Möglichkeiten im Fahrzeugmontageprozess: Maximale Funktionsintegration verringert die Zahl der Bauteile und damit die Kosten. Lediglich die Außenhaut muss noch eingehängt und verschraubt werden. Das reduziert den



*Maximale Funktionsintegration bei der CFK-Türstruktur von Brose verringert die Zahl der Bauteile und damit die Kosten. Lediglich die Außenhaut muss noch eingehängt und verschraubt werden. Das reduziert den Montageaufwand beim Autohersteller erheblich. ■*

Montageaufwand beim Autohersteller erheblich. Weiterer Vorteil: Um für Reparaturen in den Nassraum der Tür zu gelangen oder nach Parkremplern Schäden zu beheben, ist die Außenhaut unkompliziert zu demontieren und ggf. zu erneuern. Brose rechnet damit, dass Türsysteme aus CFK etwa ab 2020 auch in der Großserie rentabel einsetzbar sind. ■

### Autor



*Michael Thienel  
Vorentwicklung  
Türsysteme*

**brose**  
Technik für Automobile

*Brose Fahrzeugteile GmbH & Co.  
Kommanditgesellschaft, Coburg*

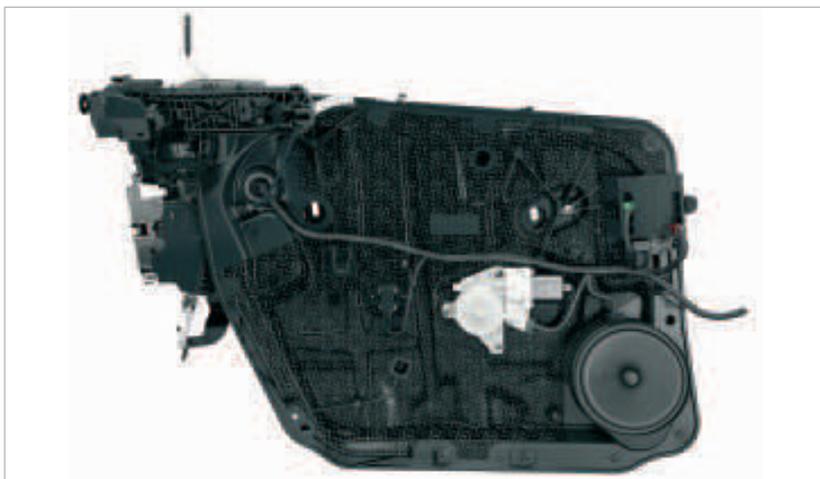
*Ketschendorfer Straße 38-50  
96450 Coburg  
Tel: 09561/21-1957  
Fax: 09561/21-1704  
www.brose.com*

*Kontakt  
ute.lochner@brose.com*

*Umsatz 2012  
4,495 Mrd. Euro*

*Kunden  
80 Automobilmarken und über  
30 Zulieferer*

*Mitarbeiter 2012  
20.500*



*Gegenüber klassischen Kunststofftürsystemen spart die Trägerplatte mit glasgewebeverstärktem Polypropylen rund 350 Gramm Gewicht, im Vergleich zu konventionellen Stahltüren sogar knapp 1,2 Kilogramm – bei gleicher Crashtestsicherheit und hoher Funktionsintegration. ■*



# Test und Absicherung von kooperativen und hochautomatisierten Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme sind heute nicht mehr nur Oberklassefahrzeugen vorbehalten, sondern finden auch zunehmend Verbreitung in der Mittel- und Kompaktklasse. Damit einher geht ein rasanter Aufwuchs an funktionaler Vielfalt und Funktionskomplexität. Assistenzfunktionen übernehmen immer komplexere Aufgaben und dringen auch in funktionssicherheitsrelevante Anwendungsbereiche vor. Beispiele hierfür sind Notbremsassistent, Überholassistent oder auch Kreuzungsassistent. Ein nochmals dramatischer Anstieg an funktionaler Komplexität steht bevor mit der Einführung von fahrzeugübergreifend kommunizierenden Assistenzfunktionen (kooperative Assistenz) und hochautomatisierten Fahrfunktionen (teil-autonome und autonome Systeme). Diese neuen Fahrfunktionen sollen den Fahrkomfort steigern und darüber hinaus einen signifikanten Beitrag zur unfallfreien Mobilität leisten. Die Messlatte für die funktionale Absicherung liegt damit recht hoch.

Basis für alle Automatisierungsfunktionen ist die weitgehend lückenfreie Erfassung des Fahrzeugumfelds. Die Sensordaten kommen aus sehr verschiedenen Quellen und sind szenarienabhängig in unterschiedlichem Grade verlässlich. Aus alledem

erwachsen hohe Ansprüche an die widerspruchsfreie und im Sinne der Fahraufgabe vollständige Interpretation der Fülle der Sensordaten. Der präferierte Lösungsansatz dafür ist die Abstützung auf ein umfassendes Umfeldmodell als einer abstrakten Projektionsebene zur szenarien-basierten Analyse, Evaluierung und Bewertung der von der Fahrzeugsensorik erfassten Signale.

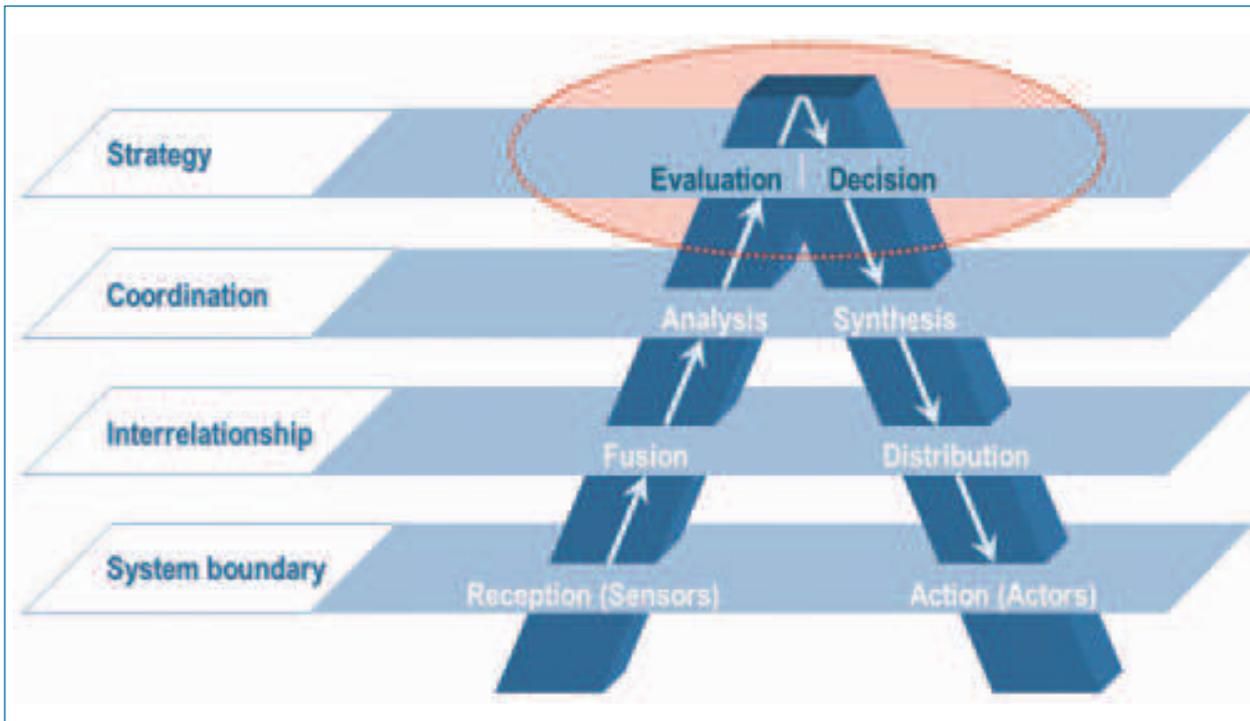
Die Vielzahl der zu berücksichtigenden statischen Elemente in Verbindung mit der dynamischen Variabilität und den in aller Regel nicht-deterministischen oder nur in unzureichender Genauigkeit bekannten äußeren Einflüssen erzeugen einen hochdimensionalen Parameterraum der vollständige Systemtests im klassischen Sinne absolut unmöglich macht. Ein weiteres grundlegendes Problem bei der Entwicklung von komplexen ADAS Systemen ist die fehlende Systematik und Durchgängigkeit in der Validierung. Die erforderlichen Tests sind typischerweise nur ungenügend definiert. Daneben fehlen auch geeignete Methoden zur Überprüfung der gestellten Anforderungen im Hinblick auf Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit. Das Hauptproblem sind die vielfach voneinander abhängigen Kausalitätsbeziehungen. Im Hinblick auf die Verifikation von

kooperativen und hochautomatisierten Funktionen stoßen die klassischen Absicherungskonzepte daher an Grenzen. Im Ergebnis bedarf es einer Absicherungsmethodik, die dem nicht-deterministischen Charakter des Gesamtsystems Umwelt + Fahrzeugsensorik + Autonomiefunktion Rechnung trägt.

Ausgehend von diesen Überlegungen und in Abgleich mit den etablierten Verfahren zum Test von Assistenzsystemen leiten sich die grundlegenden Anforderungen an einen neuen Test- und Verifikationsprozess ab.

Das ESG-Testkonzept für die Absicherung von kooperativen ADAS- und Autonomiefunktionen sieht eine Methodik für das reproduzierbare szenarien-basierte Testen unter Berücksichtigung der stochastischen Kombinatorik durch Variation von Sensordaten vor. Basis dafür ist die gemeinsame Betrachtung von Standardszenarien und den dazu passenden Funktionsklassen. Im Hinblick auf die erforderliche Objektivierung der Absicherung geht es dabei gleichfalls um eine geeignete Testmetrik.

Der Schwerpunkt liegt auf der ganzheitlichen Betrachtung der Bewertungs- und Entscheidungskomponente der Assistenz- bzw. Autonomiefunktion. Zur Einordnung im Gesamtkontext des zugrundeliegenden Informations-



Die Bewertungs- und Entscheidungsebene von komplexen ADAS ■

flusses von der Verarbeitung der Umweltdaten bis zur Ableitung der Systemreaktion (s. *Abbildung*). Der zentrale Gesichtspunkt ist die Fokussierung auf definierte Referenzszenarien zur Evaluierung des integralen Funktions- und Systemverhaltens nach Maßgabe der Anforderungsspezifikation. Auf Basis der Referenzszenarien gelingt die methodische Identifikation und Reproduzierbarkeit von kritischen Konstellationen, in denen die zu testende Funktion die definierten Anforderungen verletzt. Zur Bestimmung der Sensitivität und der Wirksamkeit des Systemverhaltens werden synthetische Szenarien zur Verifikation der Funktion erzeugt. Der entscheidende Mehrwert: Nach Maßgabe von definierten multidimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen werden die Szenarien bis an die Systemgrenzen variiert. Dabei stehen die generierten Testfälle stets im Anwendungskontext des zu testenden Features. Jedes Simulationsszenario und Testergebnis wird mit dem kompletten Satz von Umwelt- und Systemdaten dokumentiert und ist somit

jederzeit reproduzierbar. Über die Gesamtanzahl der Simulationen und deren Ergebnisse wird eine „Konfusionsmatrix“ erstellt, die nach Maßgabe der Testmetrik als Kenngröße für die Funktions- oder Systemqualität gedeutet werden kann.

Die relevanten Szenarien (Benchmark-Szenarien) werden aus unterschiedlichen Quellen entnommen:

- aus einem vordefinierten funktionspezifischen Szenarien-Katalog,
- aus „zufällig“ generierten Szenarien (nach Maßgabe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung und in Abhängigkeit von den funktionalen Leistungsmerkmalen),
- aus realen Messfahrten (Aufzeichnung der Funktionseingangssignale und des Systemverhaltens) mit nachgeschalteter synthetischer Variation der spezifischen Sensordaten.

Im Verifikationsprozess werden die Objekt- und Szenarienpara-

meter (z.B. statische und dynamische Eigenschaften, Klassifikation, Objektanzahl, Auftretswahrscheinlichkeit, ...) der Benchmark-Szenarien zielgerichtet variiert. Durch diese systematische Analyse des Systemverhaltens bei Variation der Benchmark-Szenarien können die Robustheit sowie die funktionalen Grenzen des Systems bestimmt und die Schwachstellen identifiziert werden.

Der Wesenskern des Verfahrens liegt im Szenarien-basierten Ansatz unter gleichzeitiger Berücksichtigung von stochastischer Kritikalität und Reproduzierbarkeit. ■

Autor:



Dr. Hieronymus Fischer

Leiter Innovations- und Technologie-  
management  
Division Automotive

ESG Elektroniksystem- und Logistik-  
GmbH

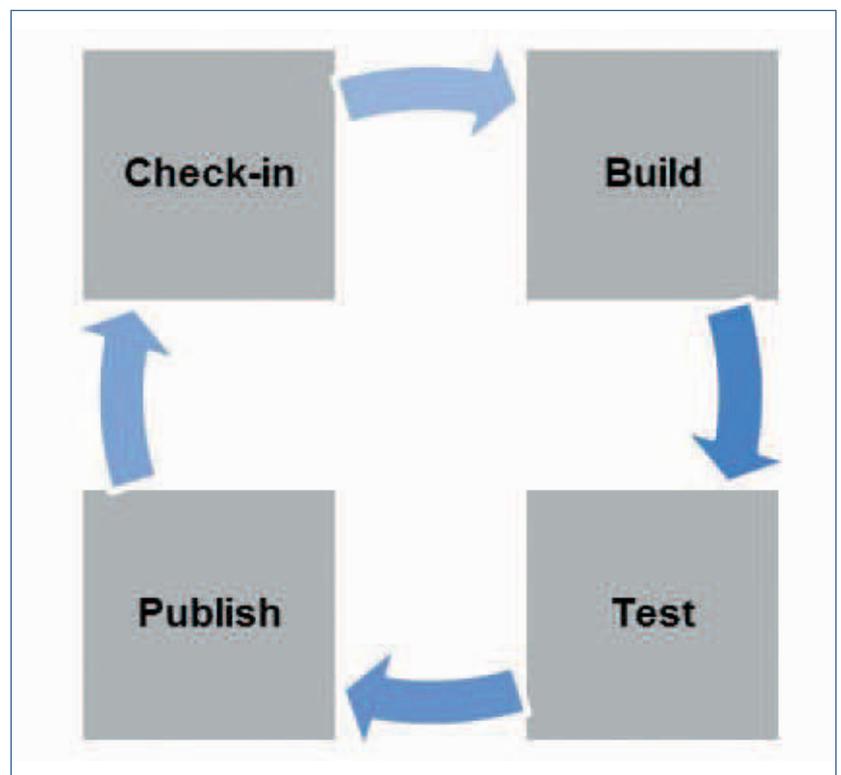
Livry-Gargan-Straße 6  
D-82256 Fürstenfeldbruck  
Tel.: +49 (89) 92 16 – 23 32  
Fax: +49 (89) 92 16 – 16 23 32  
E-mail: hieronymus.fischer@esg.de

# Qualitätssicherung durch Continuous Integration – Was wir von anderen Branchen lernen können.

Die rasant zunehmende Vernetzung im Fahrzeug und zu dessen Umwelt sowie das schnell wachsende Angebot an Fahrzeugfunktionen stellen immer höhere Anforderungen an die Funktionssicherheit der einzelnen Komponenten und deren Software. Reichte beispielsweise früher ein Autoradio, so ist heute eine Vielzahl von Steuergeräten, Audioquellen, Bedienelementen und Übertragungswegen beteiligt, um den Hörerlebnis zu ermöglichen. Mit zunehmendem Komfort wächst die Komplexität der Elektrik/Elektronik-Architektur und damit auch das Risiko von Softwarefehlern.

Je früher im Entwicklungsprozess ein Fehler erkannt wird, desto geringer sind die Aufwände und damit die Kosten für dessen Behebung. Dies gilt ebenso in der Softwareentwicklung. Oftmals hätten Fehler, die erst bei Versuchsfahrten im Fahrzeug auftreten, bereits in einer sehr viel früheren Integrationsphase auf Modul- oder Komponentenebene erkannt und sogar vermieden werden können.

Continuous Integration ist ein Vorgehen, wie in der Abbildung dargestellt, bei dem nach einem möglichst kleinen, in sich abgeschlossenen Entwicklungsschritt, nach Freigabe durch den Entwickler (Check-in) das Erstellen und Zusammenführen (Build) der Softwaremodule automatisch eingelei-



tet wird. Begleitende und nachfolgende Tests decken eventuelle Fehler sofort auf (Test) und ermöglichen somit die schnelle Lokalisierung und Behebung im Code. Der Testumfang wächst dabei mit der Software, um sowohl das Absichern neu implementierter Funktionen sicherzustellen als auch Regressionen, d.h. das Wiederauftreten bereits behobener Fehler, auszuschließen. Ein abschließender Prozess dokumentiert die Eingangskonfiguration, den Erstellungsprozess und die Testergebnisse für die erstellte Softwareversion und gibt die Software frei (Publish).

Hierbei kann man von anderen Branchen lernen, wie z.B. der Telekommunikation, wo man bereits seit geraumer Zeit vor diesen Herausforderungen steht. Whiteblue Consulting hat jahrelange Erfahrung in diesem Bereich und berät und unterstützt namhafte Kunden zu diesem Thema.

In einem konkreten Projekt mit ca. einer Million Codezeilen und mehr als 5000 Komponententests, dauert es für einen einzelnen Mitarbeiter mehrere Stunden, diesen Testumfang nach einer Codeänderung auf seinem Entwicklungsrechner auszuführen.

ren. Die Einführung von Continuous Integration strukturiert die Vorgehensweise und schafft die Voraussetzung Fehler frühzeitig zu erkennen und zu beheben. Das Bereitstellen des neuen Sourcecodes durch einen Entwickler löst automatisch die Kompilierung der Software auf einem Build-Server aus. Ist diese erfolgreich verlaufen, werden anschließend die stark parallelisierten Komponententests ausgeführt. Hierdurch erhält der Entwickler innerhalb von nur 15 Minuten Rückmeldung über den Änderungserfolg. In der Nacht wird die Rechenkapazität des Softwareerstellungssystems zur Ausführung lang laufender Applikationstests genutzt.

Die Absicherung erfolgt mit einem möglichst umfassenden Paket von Komponententests. Die Ergebnisse werden aufbereitet, zentral dargestellt und an die relevanten Stellen verteilt. Auf diese Art und Weise können Fehler innerhalb von Minuten nach einem Check-in gefunden und die notwendigen Maßnahmen durch das Entwicklerteam eingeleitet werden. Zur Automatisierung der Softwareerstellung wird Jenkins, ein skalierbarer und frei erweiterbarer Open Source Continuous Integration Server genutzt. Jenkins bietet mit mehr als 600 Plug-Ins bereits von Hause aus ein aussagekräftiges Reporting. Die Ergebnisse der Softwareerstellung werden über den

integrierten Web-Server aufbereitet dargestellt.

Die dann anstehende Herausforderung ist die Erstellung installierbarer Setups. Dies ist oft ein manueller und sehr individueller Vorgang, den aufgrund der Komplexität und meist auch durch mangelhafte Dokumentation nur wenige Mitglieder eines Projekts beherrschen. Die Automatisierung aller Schritte zur Erstellung eines installierbaren Paketes von Software-Komponenten führt zur Reproduzierbarkeit des Prozesses und somit zur Vermeidung von Fehlern.

Im bereits erwähnten Projekt werden die Setup-Pakete der verschiedenen Softwarekomponenten meist am frühen Abend erstellt. Wenn alle Komponenten erfolgreich gebaut worden sind, werden diese automatisch auf einem Hardware-Regression-System installiert. Es wird dann eine Reihe von Referenztests ausgeführt, deren Ergebnisse den Entwicklern und dem Integrationsteam am nächsten Morgen zur Verfügung stehen. Auf diese Art gewinnt man einen ersten Eindruck von der Qualität des nächtlichen Builds und kann einschätzen, ob weitere manuelle Integrationstests sinnvoll sind.

Das von uns eingesetzte und beschriebene Verfahren Continuous Integration hat in unserem Projekt in der Telekommunikation seinen Nutzen durch eine erhebliche Reduzierung der Auf-

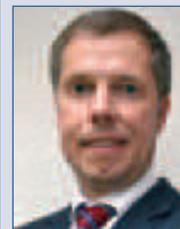
wände für die Softwareabsicherung bewiesen und eine deutliche Qualitätssteigerung erreicht. Auch in den immer komplexer werdenden Softwareprojekten der Automobilindustrie mit weit verzweigten Lieferantennetzwerken ließe sich dieses Verfahren unserer Erfahrung nach wirkungsvoll einsetzen.



Autoren:



Dirk Kypers



Thorsten Wacker

Whiteblue Consulting GmbH

Emmy-Noether-Str. 4  
80992 München/Germany  
Tel.: +49 89 622338-0  
Fax: +49 89 622338-50  
E-mail:  
softwareengineering@whiteblue.com  
www.whiteblue.com



## www.media-mind.info

Wir stellen die Zukunftstechnologien aus Bayern noch mehr ins Rampenlicht, damit mehr interessierte Menschen mehr zukunftsweisende Informationen aus Forschung, Entwicklung und Anwendung erhalten.

Unsere Magazine stehen Ihnen auch elektronisch zur Verfügung. Nehmen Sie einen echten "Mehrwert" in Anspruch!



media mind GmbH & Co. KG  
80992 München, Hans-Bunte-Str. 5  
Tel.: 089/23 55 57-3, Fax: 089/23 55 57-47  
E-Mail: mail@media-mind.info

# Industrie 4.0

## Intelligente Spanntechnik, die Zukunft für die Werkzeugmaschine

Intelligente Komponenten zu entwickeln beziehungsweise in der Anwendung ihren aktuellen Status zu erkennen und für die weiteren Arbeitsabläufe bereit zu stellen ist ein Ziel für den zukünftigen Produktionsprozess. Mit diesem Wissen ist es möglich Arbeitsabläufe effizienter und sicherer zu gestalten, ein weiterer Effekt ist die Verbesserung der Einzelteilqualität und die Funktionssicherheit des fertigen Produktes.

Die mechanische Fertigung von Automobilteilen wie Motoren, Getriebe, Achseinheiten, Steuereinheiten usw. ist in den Fertigungsanlagen optimal geplant und wirtschaftlich gut abgestimmt. Nun geht es im Wesentlichen darum die Fehlerquoten der Einzelteile so gering wie nur möglich zu halten und eine maximale Fertigungsqualität sicher zu stellen. Die Maximierung der Maschinen- und Anlagenperformance kann im ersten Ansatz dadurch verbessert werden wenn die wesentlichen Systeme optimal auf die Anforderungen des Prozesses ausgelegt sind und der Status der Funktion jederzeit sichtbar wird. Diesen Herausforderungen stellt sich die Fa. OTT-Jakob seit Jahren und hat für die Spanntechnik in der

Motorspindel eine sogenannte „intelligente Spanntechnik“ entwickelt und diese dem Markt zur Verfügung gestellt. Weitere Produkte gibt es für die Werkstückspannsysteme sowie als eigenständige Prüfgeräte die es ermöglichen die Qualität und Verfügbarkeit der Anlagen sicherzustellen.

Ott-Jakob hat über Jahrzehnte Maßstäbe bei der Entwicklung der mechanischen Komponenten für die automatische Werkzeugspanntechnik gesetzt. So ist Ott-Jakob der einzige Hersteller weltweit, der vom Spannsatz, über Einbauspanner und Löse-einheit, bis hin zur Drehdurchführung das komplette Spektrum der automatischen Werkzeugspanntechnik beherrscht und in eigener Fertigung herstellt. Spezifische Kundenwünsche werden im Hause Ott-Jakob schnell und zuverlässig entwickelt. Mit dem Know-How aus 40 jähriger Erfahrung kann der Kunde mit effizienten und flexiblen Lösungen rechnen.

Beginnend in Transfereinheiten und Sondermaschinen für die Automobilindustrie hat sich der HSK seit Anfang der 90er Jahre als Werkzeug-schnittstelle in alle Maschinenberei-

che weltweit verbreitet und in Verbindung mit Spannsystemen zur Qualitäts- und Produktivitätssteigerung beigetragen.

Die teilweise als Formenvielfalt gebrandmarkte Variantenzahl hat sich als Vorteil für den Anwender herausgestellt, dessen unterschiedliche Anforderungen gezielt berücksichtigt werden können. Gleichzeitig besteht Kompatibilität der Varianten, so dass die Spanntechnikhersteller vielfältig einsetzbare Produkte in den Markt bringen konnten. Ott-Jakob entwickelte einheitliche HSK-Spannsätze, die heute als Standard verfügbar sind. Die verbleibenden Unterschiede in den Anforderungen der einzelnen HSK-Formen wurden bei der Entwicklung berücksichtigt. Jeder Kunde kann individuell beraten und mit anforderungsgerechten Komplettsystemen beliefert werden.

Um internationalen Marktanforderungen der Werkzeugtechnologie gerecht zu werden, produziert Ott-Jakob jetzt auch PSC-Spannsätze und PSC-Systeme für Capto-Werkzeuge in Eigenfertigung.

Das Kernstück eines Werkzeugspanners ist der eigentliche Spannsatz, der kraftverstärkend, beaufschlagt durch



Werkzeugspannsystem mit Überwachung der Federkraft, Temperatur und Schwingung ■





Power-Check II: Einzugskraftmessgerät für manuellen und automatischen Einsatz ■

eine Einzugskraft, Kräfte auf das Werkzeug überträgt und dieses in die Spindel einzieht. Hohe Kräfte, schnelle Betätigung und vor allem höchste Lebensdauer sind hier gefordert. Ausgehend von einer geeigneten Kinematik sind unter Berücksichtigung hochverschleißfester Beschichtungen Spannsätze entstanden, die mit Standzeiten von mehreren Millionen Hüben den Stand der Technik bestimmen und durch ihre Langlebigkeit und Zuverlässigkeit eine störungsfreie Produktion gewährleisten.

Automatische Werkzeugspanner sind als Komplettsysteme verfügbar, die weit über die eigentliche Spannaufgabe hinausgehend alle notwendigen Funktionen zum Halten und Wechseln eines Werkzeugs sowie zur Medientdurchführung abdecken. So werden zu den Spannsätzen Kraftspanneinrichtungen (Spann-

köpfe) hinzugefügt, die im Wesentlichen mit Federn arbeiten. Hydraulisch betätigte Löseeinheiten und Drehdurchführungen vervollständigen das aufeinander abgestimmte Komplettsystem.

Das Herzstück eines Bearbeitungszentrums ist die Spindel. Als Hauptbaugruppe in einer Spindel kommen auf das automatische Spannsystem hohe Anforderungen zu.

Die ständig steigenden Anforderungen an Spindeln und damit Spannsysteme betreffen sowohl die Drehzahl, das Drehmoment und die Belastbarkeit als auch die Medienzufuhr mit Minimalmengenschmierung, den Hochdruckeinsatz oder die kryogene Kühlung für die Werkzeuge. Für eine wirtschaftliche Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe ist eine stabile Prozessführung sicherzustellen, obwohl Spindeln oft schon fast in physikalischen Grenzbereichen betrieben werden. Hier ist nicht nur die eigentliche Spanntechnik auf höchstem Stand der Technik gefordert. Ott-Jakob hat den Trend der letzten Jahre zum Einsatz von Überwachungssystemen, so genannten „Condition Monitoring Systemen“ aufgenommen und sogar erste Diagnosesysteme entwickelt.

Ott-Jakob hat intelligente Spanntechnik rund um den eigentlichen Spanner entwickelt, die als Überwachungs- und Messsysteme Informationen über den Zustand des automatischen Spanners liefern. Teure Anlagenstillstände können vermieden werden und eine gezielte vorbeugende Instandhaltung wird möglich. Die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Werkzeugmaschine wird deutlich erhöht.

Für die Werkzeugspannsysteme sind Federkraftüberwachungssysteme, Abfrage- und Messsysteme in Löseeinheiten, Werkzeugplananlagenkontrolle und Leckage-Sensoren in Drehdurchführungen und externe Leckage-Sensoren lieferbar. Damit stehen im gesamten Funktionsbereich des Spannsystems Überwachungs- und Messsysteme zur Verfügung, die es ermöglichen den aktuel-

len Status an die Steuerung zu übertragen. Mit dieser Digitalisierung, dem Umgang mit großen Datenmengen und eine systematische Informationsauswertung unterstützen unsere Produkte Industrie 4.0.

Auch wenn von Spannsystemen und Zubehörkomponenten eine ewige Lebensdauer erwartet wird, kann die Physik nicht immer überlistet werden. Wie auch andere Systeme sind Spannsysteme nicht komplett verschleißfrei, dazu kommen externe Einflüsse durch Schwingungen, verschmutzte Werkzeuge, Fehlsteuerungen und darum ist es wichtig für den funktionsgerechten Dauergebrauch gezielte Überwachung der Werkzeugspannsysteme durchzuführen, um vor dem Maschinenstillstand eingreifen zu können und eventuell eine rechtzeitige vorbeugende, zustandsorientierte Instandhaltung durchführen zu können.

Als eigenständige Prüfgeräte, die es ermöglichen die Qualität und Verfügbarkeit der Anlagen sicherzustellen, ist mit dem Spannkraftmeßgeräte (POWER-CHECK II, POWER CHECK LC WIRELESS) möglich.

Es kann in jeder Werkzeugmaschine wie ein Werkzeug automatisch ein-



Leakage Sensor extern ■

gewechselt werden. Die qualifizierte Elektronik liefert Spannkraftwerte, die den Einsatzzustand der Hauptspindel charakterisieren. So kann beispielsweise der Einsatz komplizierter und teurer Werkzeuge weiter abgesichert werden.

Für einfachere Zugangsmöglichkeiten zur Spindel und für eine permanente Dokumentation der Spannkraft wurde eine Wireless Version des Power Check II entwickelt. Von einem Werkzeugmagazinplatz wird der Power Check Wireless einfach per Programmaufruf eingewechselt und alle Messergebnisse werden auf einem Handgerät angezeigt und gespeichert. Dieses Handgerät kann die Dokumentation mehrerer Power Check II Basisgeräte verwalten. Direkte Datenübertragung an die Maschinensteuerung oder in die Feldbusebene werden unterstützt.

Das Verschleißelement Drehdurchführung kann die Ursache für teure Maschinenausfälle sein, wenn Verschleißzustände nicht rechtzeitig erfasst werden.

Sei es durch Druckspitzen, Vibrationen oder Fluidverschmutzung, ein Versagen der Dichtungen einer Drehdurchführung im Zeitpunkt des Fluidtransportes sollte früh erkannt und somit vermieden werden.

Mögliche Folgen wären Kurzschlüsse und Lagerschäden in der Spindel, die Folgekosten in der Größenordnung einer Spindelneuanschaffung mit sich tragen.

Durch die Erfahrungen der letzten Jahre im Bereich der Sensorsysteme ist es Ott-Jakob gelungen, ein in diesem Markt einzigartiges Überwachungssystem zu entwickeln. So



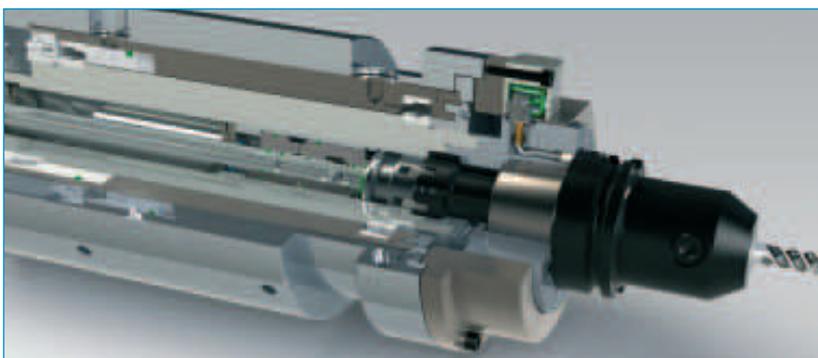
Drehdurchführung Typ 1 K-GD-CM mit Sensortechnologie ■

verwendet Ott-Jakob für seine Drehdurchführungen mit integrierter Leckage-Überwachung ein kalorimetrisches Messprinzip.

Auch der neu entwickelte externe Leckage-Sensor profitiert von diesem Messprinzip. Der externe Leckage-Sensor kann an jeder gängigen Drehdurchführung mit Leckage-Abflusskanal installiert werden.

Folgende Gründe sprechen für diese Anwendung:

- Verfügbar für Medium KSM + Wasser und Öl
- Sensorik ist verschleißfrei, da der Sensor vom Medium getrennt ist
- Anwender ist in der Wahl des Installationsortes frei
- Keine Voreinstellung notwendig. Der Sensor wird bereits kalibriert geliefert
- Zwei Betriebsmodi wählbar: Verschleißerkennung und Ausfallerkennung
- Kontinuierliche Überwachung der Durchflussmenge
- Automatische Unterscheidung zwischen Luft und Leckage-Medium
- Der Sensor arbeitet verschleißfrei und nicht invasiv. Die Leckage kann weiterhin rückstaufrei abfließen



Plananlagenkontrolle, Einbau von Elektronik und Sensor ■

- Einfache Signalauswertung über einen 24V-Schaltausgang
- Drehdurchführung mit integrierter Leckage-Sensor besitzt einen zusätzlichen 24V-Schaltausgang und bietet die Möglichkeit das Überschreiten eines Temperaturschwellwertes einzuprogrammieren
- Kompakte Bauform für die Montage in Spindelnähe.
- Nachrüsten von Maschinen ist möglich

In allen Bereichen der Werkzeugspannung für Spindeln setzt Ott-Jakob seine Entwicklungen gezielt fort und wird auch in den nächsten Jahren immer wieder weiter entwickelte und den gestiegenen Anforderungen entsprechende neue Produkte auf den Markt bringen. Die Vision der Industrie 4.0 bietet hier das Potenzial diesen Herausforderungen zu begegnen.

OTT-Jakob wird Sie unterstützen in der Verschmelzung der Automatisierungs- mit der IT-Welt.

Weltweit schätzen sowohl die Endverbraucher als auch die direkten Partner im Bereich Spindel- und Werkzeugmaschine die Innovationskraft und Kundenorientierung der Allgäuer Spezialisten. ■

#### Autoren:



**Hubert Sykora**  
Leiter Vertrieb & Marketing



**Robert Herrmann**  
Dipl. Wirtschaftsingenieur

#### OTT-JAKOB Spanntechnik GmbH

Industriestr. 3-7  
87663 Lengenwang  
Tel.: +49 (0) 8364/98 21-40  
Fax: +49 (0) 8364/98 21-10  
e-mail: SYKORA@Ott-Jakob.de  
www.ott-jakob.de

In der Zentralprovinz Henan (China) leben hilfsbedürftige Waisenkinder. Gemeinsam mit der chinesischen Regierung und der Stadt Zhengzhou möchten wir ein Konzept verwirklichen, um diesen Kindern eine perspektivische und lebenswürdige Zukunft zu eröffnen.

# EIN SONNENSTRALH INS HERZ GELENKT

Von AUDI und dem Verein  
 gefördertes Projekt

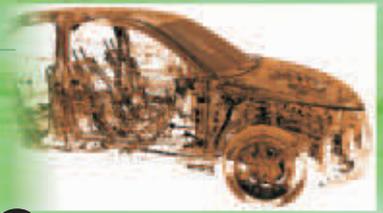
Helfen Sie uns durch Ihre Mitgliedschaft  
 oder eine Spende an den  
 "Verein zur Förderung chinesischer  
 Waisenkinder" e.V. (VFCW).

HypoVereinsbank: Kto.-Nr. 657 613 150  
 BLZ: 700 202 70

Bitte nehmen Sie Kontakt mit uns auf.



Walter Fürst  
 c/o Verein zur Förderung  
 chinesischer Waisenkinder e.V.  
 Aachener Str. 11  
 80804 München  
 E-mail: wa-fuerst@t-online.de



# Computertomographie für Gesamtfahrzeuge oder Fahrzeugkomponenten

## XXL-CT am Fraunhofer EZRT in Fürth

In der Industrie sind im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) die Radiographie und Computertomographie (CT) etablierte Verfahren, um Bauteile zu untersuchen. Durch den Einsatz neuer Werkstoffe und den damit steigenden Prüfanforderungen in der Automobilindustrie ist die serienmäßige Kontrolle von Fahrzeugkomponenten mittels Röntgentechnik, z.B. an Leichtmetallrädern oder Aluminium-Zylinderköpfen, fester Bestandteil der Produktion. Nahezu jeder Automobilhersteller verfügt über eigene CT-Labore als Ergänzung zur klassischen Metallographie. Die dreidimensionale Strukturinformation bietet hier einen hohen Mehrwert bei der Entwicklung neuer Materialien und Verbindungstechniken, für die stichprobenartige Überwachung von Fertigungsprozessen sowie zur Schadensanalyse. Dementsprechend stehen auf dem Markt eine Reihe von Radiographie- und CT-Anlagen zur Verfügung, die für derartige Untersuchungen eingesetzt werden können.

Kommerziell erhältliche CT-Systeme weisen in bestimmten Charakteristiken jedoch Limitationen auf. Dazu zählen Größe, Gewicht und Materialzusammensetzung des Prüfobjekts: Maximale Probengröße und Gewicht sind aus baulichen Gründen auf weit unter 1 m und weniger als 10 kg

eingeschränkt. Der prüfbare Objektbereich ist durch die zum Einsatz kommende Strahlungsenergie, die Detektortechnologie sowie das Messverfahren stark begrenzt. Für den Einsatzzweck der CT, bei dem das Objekt aus vielen Richtungen abgebildet werden muss, ist die Durchstrahlungsfähigkeit der konventionell eingesetzten Röntgenröhren mit Beschleunigungsspannungen von 50 bis 450 Kilovolt insbesondere bei stärker absorbierenden Materialien limitierend. Eine weitere Einschränkung der CT-Bildgebung tritt bei komplexen Objekten mit einer Zusammensetzung aus sehr unterschiedlichen Materialien auf. Besonders an Grenzflächen von sehr leichten, schwach absorbierenden Materialien wie Kunststoffen und hoch absorbierenden Materialien wie Eisen treten bei den konventionell eingesetzten Röntgenenergien starke sogenannte Strahlaufhärtungsartefakte auf, die die Analyse des leichteren Materials erschweren. Unter diesen Gesichtspunkten werden am Fraunhofer Entwicklungszentrum für Röntgentechnik (EZRT) Verfahrensweisen und Systeme entwickelt, die eine Untersuchung großflächiger Objekte bis hin zu gesamten Fahrzeugen ermöglichen. Dabei können zwei komplementäre Entwicklungsrichtungen unterschieden werden: Einerseits die hochauflösende

Messung im Mikrometerbereich an lokalen Bereichen wie bei Schweißnähten, Nietpunkten und Klebeverbindungen innerhalb großflächiger Strukturbauerteile, andererseits die Erfassung komplexer Strukturen an übergroßen Objekten mit Auflösungen im Bereich eines Zehntel Millimeters.

Die lokale hochauflösende Untersuchung erfolgt an der Tomosynthese-Anlage (siehe Abb. 1) des Fraunhofer EZRT. Hierzu werden große Objekte, z. B. komplette Türen oder andere Karosseriebestandteile, in die Anlage eingebracht und anders als in der konventionellen CT nur aus ausgewählten, gut zugänglichen Durchstrahlungsrichtungen abgebildet. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt insbesondere darin, dass das Objekt nicht bewegt werden muss: Die notwendigen winkelbehafteten Projektionen können durch die Bewegung der Systemkomponenten erzeugt werden. Darüber hinaus ermöglicht die Einschränkung beim Scan auf einen Winkelbereich mit moderaten Durchstrahlungslängen den Einsatz hochfokussierender Röntgenröhren mit zumeist niedrigen Beschleunigungsspannungen im Bereich unterhalb 225 keV. Erst diese Eigenschaft ermöglicht es, die Auflösung, z. B. in Schweißnähten und Nietverbindungen, auf das notwendige Niveau von wenigen Mikrometern zu steigern und



Abb. 1: Tomosynthese-Anlage des Fraunhofer EZRT ■

Defekte wie Risse oder Lunker sicher zu detektieren. Durch die Anwendung des Tomosynthese-Scanverfahrens, bei dem die Abbildung der Prüfstelle aus unterschiedlichen Winkeln erfolgt, kann die Tiefenlage der Defekte bestimmt werden. Wie in *Abbildung 2* dargestellt kann so festgestellt werden, wo sich ein Schaden innerhalb oder außerhalb eines kritischen Bereichs befindet. Aufgrund des eingeschränkten Winkelbereichs ist dieses Verfahren nicht direkt vergleichbar mit der CT-Abbildung, bei der die geometrische Information aus allen Richtungen gleichermaßen gut vorliegt. Für eine Vielzahl von Fragestellungen, bei denen sehr kleine Strukturen detektiert werden müssen ohne das Objekt zerstören zu dürfen, ist es jedoch hervorragend geeignet. Die Größe der zu untersuchenden Objekte ist bei der Tomosynthese Anlage auf Bauteile von ca. 2 x 2 m und Durchstrahlungslängen von ca. 1 cm Stahl sowie 8 cm Aluminium limitiert. Im Gegensatz zur konventionellen CT, können dabei Scanbereiche von 3 x 3 mm<sup>2</sup> bei einer Auflösungen von 1 µm oder auch 30 x 30 mm<sup>2</sup> bei einer Auflösung von 10 µm erzielt werden. Durch eine Aneinander-



Abb. 2: Tomosynthese-Rekonstruktion der Oberfläche einer Schweißverbindung und der im angeschweißten Stahlprofil verborgenen Strukturen. Die Durchschweißung wird anhand des Grauwerteverlaufs in beiden Schichten klar sichtbar. Die erzielte Auflösung an dem flächenhaft ausgeprägten Bauteil beträgt ca. 25 µm ■

reihung der Scanbereiche kann das Messvolumen trotz hoher Auflösung auf eine deutlich größere Fläche erweitert werden. Die Scandauer beläuft sich dabei in der Regel auf einige Minuten je Scanbereich.

Im Gegensatz zur lokalen Untersuchung mittels Tomosynthese bietet das Fraunhofer EZRT mit der XXL-CT ein vollumfängliches Untersuchungsverfahren für große und massive Bauteile an. In Fürth-Atzenhof wurde, wie bereits zuvor berichtet, eine Hochenergie-Testhalle (*siehe Abb. 3*) aufgebaut, mit der, erstmals in Europa, die CT ganzer Fahrzeuge ermöglicht wird und für die Industrie zur Verfügung steht. Dabei kann in zwei Kategorien unterschieden werden: der Hochenergie-CT, die mit der klassischen CT vergleichbar ist, jedoch über höhere Durchdringungs-

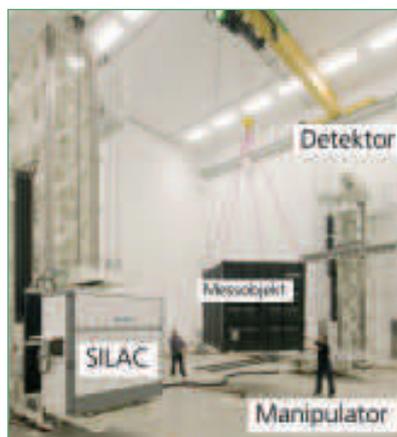


Abb. 3: Aufnahme der Inneneinrichtung der Hochenergie-Testhalle. Strahlungsquelle und Detektor sind über ein Turmsystem in der Höhe verfahrbar, um große Objekte komplett abzutasten und Projektionsbilder von bis zu 5m x 4m (Höhe x Breite) mit einer Abtastung von 400 µm zu generieren ■

fähigkeit verfügt und der XXL-CT, die dank des ausgedehnten Manipulationssystems die Erfassung übergroßer Objekte ermöglicht.

Ein primäres Anwendungsfeld der neuen Technologie ist der Bereich Automotive. Der wissenschaftliche Fokus des Fraunhofer EZRT liegt in der Untersuchung der Möglichkeiten zum Einsatz der XXL-CT an ganzen Fahrzeugen, z.B. zur Analyse von Verformungen an einem Fahrzeug infolge eines Crashversuchs oder zur dimensionellen Messtechnik an vollmontierten Prototyp-Fahrzeugen zur Analyse der Abweichungen vom ursprünglichen CAD-Modell. In der Qualitätssicherung werden derartige Untersuchungen derzeit insbesondere für innenliegende Strukturen zerstörend durchgeführt, indem das Fahrzeug zersägt oder manuell zerlegt wird. Repräsentative Teile im Inneren können dann vermessen und deren Zustand so dokumentiert werden. Strukturelle Veränderungen der zu untersuchenden Bauteile sind dabei nicht zu vermeiden, weshalb die CT als berührungsloses und zerstörungsfreies Prüfverfahren einen großen Mehrwert bietet. Dank der hohen erzielbaren Auflösung von ca. 350 µm kann aus dem Volumendatensatz der Verformungszustand z.B. von Crashbereichen ohne die sonst aufwendigen Vorarbeiten sehr genau erfasst werden. Die Abbildung der Strukturen als Volumen oder Dreiecksnetz in einem dreidimensionalen Koordinatensystem ermöglicht eine präzise Erfassung

von Messgrößen. Je nach Messobjekt kann aktuell eine Längenmessgenauigkeit von bis zu  $\pm 700 \mu\text{m}$  über eine Messlänge von ca. 3 m erreicht werden. Über die Erfassung der Form hinaus werden dank der Kontrastempfindlichkeit des Messsystems Defekte im Inneren von Baugruppen wie Lunken oder Risse detektiert. In *Abbildung 4* ist die mögliche Datennachverarbeitung gezeigt. Einzelne Bauteile können aus dem Gesamtverbund segmentiert und in Oberflächendatenformate umgewandelt werden, um z. B. Geometrievergleiche (Soll/Ist-Vergleich) mit Konstruktionsdaten (CAD-Daten) durchzuführen oder die durch den Crash verursachte Verformung mit Ergebnissen von Finite-Elemente-Simulationen zu vergleichen.

Ein weiterer Vorteil der eingesetzten hochenergetischen Röntgenstrahlung ist, neben der erheblich größeren Durchstrahlungsfähigkeit im Vergleich zu niedrigen Strahlungsenergien, die Eigenschaft, unterschiedlich stark absorbierende Materialien in der CT-Rekonstruktion gleichermaßen gut abzubilden. Dies gelingt dank der hohen Signallinearität unterschiedlichster Materialien im Energiebereich oberhalb 1 MeV und den verringerten sogenannten Strahlaufhärtungsartefakten.

In *Abbildung 5* wird die hervorragende Qualität anhand des Scans



Abb. 5: CT-Schnittbild durch die Fahrgastzelle (links) und vergrößerte Abbildung des Türbereichs (rechts) ■

einer PKW-Fahrgastzelle mit montierten Türen und der gemeinsamen Abbildung verschiedener Materialien wie Stahl, Glas und Kunststoff deutlich.

Die Scanzeit der XXL-CT für ein gesamtes Fahrzeug hängt von der benötigten Bildqualität ab und variiert zwischen 6 Stunden und mehreren Tagen. Die rekonstruierte Datenmenge unterscheidet sich dabei je nach geforderter Auflösung zwischen 15 und 400 GB.

Ein wesentliches Ziel des Fraunhofer EZRT ist, die XXL-CT als Dienstleistung für die Industrie zu etablieren und in Bezug auf spezifische Kundenanforderungen weiterzuentwickeln. Hierbei spielen insbesondere der Umgang mit großen Datenmengen und der Transfer zur kundenseitigen Nutzung der Datensätze, z.B. zum Abgleich mit Konstruktionsdaten, eine wesentliche Rolle. Mittelfris-

tig werden Ansätze zur Steigerung der Bildqualität, Verkürzung der Messzeit und Verbesserung der Rekonstruktion und Datenextraktion verfolgt.

Die Entwicklungen des Fraunhofer EZRT ermöglichen die vollumfängliche Untersuchung von Objekten mit nahezu allen Formaten.. Je nach Aufgabenstellung kann aus einem breiten Anlagenspektrum gewählt und vom Mikrometer bis zum Millimeter jedes Detail präzise untersucht werden. Das Fraunhofer EZRT am Standort Fürth-Atzenhof ist ein europaweit einmaliges Kompetenzzentrum für Röntgentechnik. ■



Abb. 4: CT-Scan eines Crashfahrzeugs, 3D-Rendering (rechts) und Extraktion deformierter Bereiche (links unten) ■

Autor:



Dipl.-Ing. (Fh)  
Michael Salamon  
Gruppenleiter  
Laborsysteme

Fraunhofer Entwicklungszentrum  
Röntgentechnik EZRT  
eine Abteilung des  
Fraunhofer Instituts für Integrierte  
Schaltungen IIS  
in Kooperation mit dem  
Fraunhofer IZFP

Flugplatzstr. 75, 90768 Fürth  
Tel: +49 (0) 911 / 5 80 61-75 62  
Fax: +49 (0) 911 / 5 80 61-75 99  
Email:  
Michael.Salamon@iis.fraunhofer.de  
Internet: www.iis.fraunhofer.de



# IHR SCHLÜSSEL ZU NEUEN MÄRKTEN

## KEY TECHNOLOGIES IN BAVARIA

Nutzen Sie die Chance, um neue Wirtschaftspartner im In- und Ausland zu finden! Bayern International bietet Ihnen die Möglichkeit, sich in einer umfassenden Online-Firmendatenbank kostenlos darzustellen – ein Nachschlagewerk für in- und ausländische Unternehmen.

Tragen Sie sich mit Ihren Kernkompetenzen und Produkten kostenlos unter [www.key-technologies-in-bavaria.de](http://www.key-technologies-in-bavaria.de) ein.

Die „Key Technologies“ sind im Internet tagesaktuell abrufbar und erscheinen auch als CD-ROM.

Fragen? KeyTech Hotline: +49 (0) 180 5 949260  
Montag bis Donnerstag 9 bis 16 Uhr, Freitag 9 bis 15 Uhr  
(14 Cent pro min.)

[WWW.BAYERN-INTERNATIONAL.DE](http://WWW.BAYERN-INTERNATIONAL.DE)



# Reibkorrosion – der heimliche Killer lösbarer Kontakte

Damit komplexe elektronische Systeme – etwa in einem Automobil oder einer Solaranlage – reibungslos funktionieren, müssen unterschiedlichste Komponenten zusammenspielen. Die Verbindung erfolgt oft über Kabel und Steckverbinder. In einem Fahrzeug etwa sind durchschnittlich bis zu 4000 Steckverbinder verbaut.

Allerdings sind die lösbaren Kontaktsysteme auch eine potenzielle Schwachstelle: Qualitativ minderwertige Materialien, fehlerhafte Oberflächen, hohe Ströme, aber auch Montagefehler können zu Reibkorrosion und damit zu einer stetigen Erhöhung des Kontaktwiderstandes führen. Die Folge: Der elektrische Kontakt wird dauerhaft und kontinuierlich geschädigt. Darüber hinaus kann die Temperatur vor dem Ausfall des Kontaktes durch den überhöhten Widerstand im schlimmsten Fall so hoch sein, dass benachbarte Materialien und Kunststoffe schmelzen oder brennen können.

Beim Verdacht auf Reibkorrosion bietet das Fraunhofer IZM am Standort Oberpfaffenhofen umfassende Beratung und Ursachenforschung an. Zur Analyse aller Arten von Kontakten und Kontaktsystemen steht dabei umfangreiche Labortechnik zur Verfügung. Darüber hinaus arbeiten die Forscher an neuen und kostengünstigen Technologien, um eine Degradation lösbarer Kontakte durch physikalisch/chemische Ein-



Durch Reibkorrosion geschädigte Leiterplatte eines Solar-Moduls  
Foto: Fraunhofer IZM ■

flüsse von vornherein zu vermeiden. Unter anderem entwickelt das Team neue Konzepte und Systeme für Leichtbaustrukturen sowie mikro- und nanomodifizierte Hightech-Materialien im Bereich der mechanischen Anschlussstechnik.

## Fraunhofer IZM am Standort Oberpfaffenhofen

Das Mikro-Mechatronik Zentrum ist Teil des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM. Es ist in drei For-

schungsschwerpunkte untergliedert: Im Schwerpunkt innovative Steckertechnologien, welche unter anderem im Fahrzeugsektor aufgrund neuer elektromobiler Konzepte zunehmend benötigt werden, werden „Mechanische Anschlussstechnik und intelligente Steckverbinder“ erforscht (Smart Power Mechanics). Die Gruppe „Additive Manufacturing“ entwickelt generative Fertigungstechnologien zum 3D-Druck von elektronischen Systemen. Im Gebiet „Prozess-Simulation und Stress-Messchip“ stehen Simulationen zur Produktzuverlässigkeit bei thermischer und mechanischer Last von Electronic-Packaging-Prozessen im Fokus. Praxisnahe Schulungen und Workshops begleiten alle drei Bereiche durch Zertifikatskurse (u.a. ZVE, ESA, IPC, AZAV, DVS). ■

### Kontakt:



Dr. Frank Ansorge

Fraunhofer-Institut für  
Zuverlässigkeit und Mikrointegration  
IZM  
Mikro-Mechatronik Zentrum MMZ

Argelsrieder Feld 6  
82234 Weßling  
Tel.: +49 8153 9097-500  
E-mail:  
Frank.ansorge@mmz.izm.  
fraunhofer.de  
www.izm.fraunhofer.de  
www.zve-kurse.de



# MATERIALICA

Internationale Fachmesse für Werkstoffanwendungen,  
Oberflächen und Product Engineering

*International Trade Fair for Materials Applications,  
Surface Technology and Product Engineering*



## Lightweight Design for New Mobility!

### Schwerpunkte: *Fair Topics:*

Lightweight Design

Smart Materials

Surface Technologies

Testing



[www.materialica.com](http://www.materialica.com)

# Network of Automotive Excellence:



## Das branchenübergreifende Netzwerk

NoAE ist eine freie, offene Initiative für die Mobilitätsbranchen und deren Kooperationspartner. Ausgangspunkt vor 10 Jahren waren die Automobil- und Zuliefererindustrie. Daraus hat sich ein internationales und unternehmensübergreifendes Experten-Netzwerk entwickelt.

Zielsetzung ist der Erfahrungsaustausch zu

- strategischen
- organisatorischen und
- technologischen

Fragen und Herausforderungen für die Unternehmen innerhalb und außerhalb der Branchen. NoAE wurde 2002 von bekannten Persönlichkeiten der Automotive-Branche und unter Mitwirkung der Europäischen Kommission gegründet. ■

## Die neue Initiative: FutureCityFactory

### **Urbane Herausforderungen gemeinsam meistern.**

Städte, Wissenschaft und Wirtschaft im Dialog



*Bis 2050 werden über 70 % der Weltbevölkerung in Städten leben.*

*Ein Großteil der Wirtschaftskraft wird sich auf wenige hundert Zentren in der Welt konzentrieren. Die Stadt der Zukunft stellt neue Herausforderungen an die Infrastruktur von industrieller Fertigung, Handel, und Dienstleistungen – Herausforderungen, die sich nur in interdisziplinärer Zusammenarbeit bewältigen lassen.*



Herr Alois Brandt, AUDI AG eröffnete die Kickoff-Konferenz [www.future-city-factory.de](http://www.future-city-factory.de)  
Foto © AUDI AG/Oliver Strisch ■

## **Gemeinsame Initiative von Audi Produktion und NoAE**

Mit der Initiative „FutureCityFactory“ bringen die Audi-Produktion und das Network of Automotive Excellence erstmals Städte, Wissenschaft und Wirtschaft an einen Tisch, um Chancen, Herausforderungen und Ideen zur Gestaltung der urbanen Produktion der Zukunft zu diskutieren.

## **Kickoff Ende April 2014 bei AUDI in Ingolstadt**

Ende April trafen sich erstmals 140 Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft mit Stadt- und Verkehrsplanern um bei der

Kickoff-Konferenz der FutureCityFactory Chancen für die industrielle Fertigung im urbanen Kontext zu diskutieren. Die Basis hierfür waren vier Impulsvorträge zu den spezifischen Herausforderungen, denen die Branchen künftig gegenüberstehen. Die Umsetzung erfolgte auf fünf bzw. sechs Marktplätzen.

## **Marktplätze als Basis für gemeinsame Projekte**

Fünf bzw. sechs Marktplätze bildeten beim Kickoff die Diskussionsplattform und laden auch künftig Städte, Firmen und Wissenschaft zur Zusammenarbeit ein:



## **Marktplatz Mitarbeiter**

*Städte und Unternehmen sitzen im gleichen Boot: Die einen wünschen sich attraktive Arbeitsplätze für ihre Bürger, die anderen suchen qualifizierte Mitarbeiter. Doch gleichzeitig sind Ansprüche der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an Arbeit, Arbeitsplatz und Arbeitsumfeld gestiegen.*



### Marktplatz Mobilität

*Fortschreitende Urbanisierung bedeutet, dass die Bevölkerungsdichte in Städten und Ballungsräumen weiter zunehmen wird. Die Menschen wollen jederzeit mobil sein, und zwar zuverlässig, sicher und immer bewusster auch ressourcenschonend.*



### Marktplatz Internet

*Der Marktplatz ,Internet, stellt eine der mächtigsten Entwicklungen für Industrie, Politik und Gesellschaft in den kommenden Jahren in den Mittelpunkt: die (R)Evolution hin zu Industrie 4.0.*



### Marktplatz Zukunftsplanung

*Fabrik und Stadt gehören zusammen. Bei den Planungsaufgaben der Zukunft wird es stärker denn je darum gehen, die Interessen von Städten und Unternehmen zu synchronisieren.*



### Marktplatz Energie

*Der Marktplatz Energie greift alle Themen und Herausforderungen auf, die im Rahmen neuer Energiekonzepte von Kommunen, Firmen und Anbietern zu beachten sind.*

Ein sechster Marktplatz war für die Vertreter der Kommunen reserviert – unter dem Stichwort „Stadt der Zukunft“ tauschten sich die Vertreter aus Städten insbesondere aus Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen und Österreich (Graz und Wien) aus.

Oberstes Ziel war und ist es, Anhand von konkreten Aufgabenstellungen aber auch auf Basis von Ideen Vorschläge für die Umsetzung zu erarbeiten. ■



*Herr Ralf Winterstein, Firma Mahle nimmt am Marktplatz „Energie“ seine Bewertungen vor. Foto © AUDI AG/Oliver Strisch ■*

Die Initiatoren, Audi Produktion und NoAE laden Städte, Wissenschaft und Wirtschaft zur weiteren Zusammenarbeit ein. Erste Nachfolgetermine haben bereits stattgefunden. ■

#### Kontakt:

ewf institute NoAE

Dipl.-Kfm. H. Köpplinger

Becker-Gundahl-Strasse 19  
D 81479 Munich – Germany  
Phone: +49 (89) 7489-9669  
Mobile: +49 (170) 52 77 666  
E-mail: h.koepplinger@ewf-institute.com  
www.noae.com

Weitere Informationen im Internet:

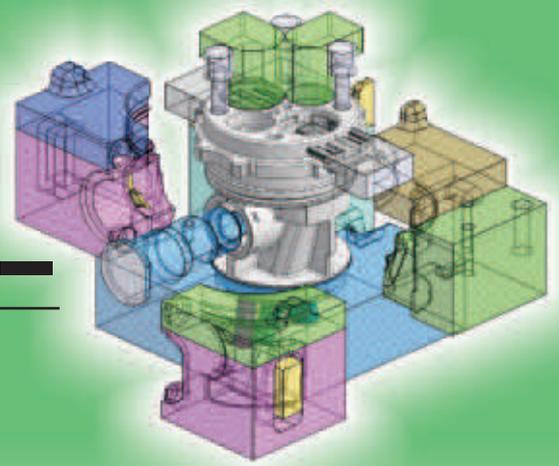
Plattform für Future City Factory  
[www.future-city-factory.de](http://www.future-city-factory.de)

Soziale Netzwerke:  
<https://www.xing.com/de/communities/groups/future-city-factory-64df-1005233>



*Frau Monika Thomas, Stadtbaurätin der Stadt Wolfsburg, bei der Bewertung der Projektideen am Marktplatz „Stadt der Zukunft“ Foto © AUDI AG/Oliver Strisch ■*

# Expressspritzguss – Design aus einem Guss



*Kreative Entwürfe, eine intelligente Umsetzung, Bestätigung, Bewertung und Optimierung sind die Elemente der Produktentwicklungsschleifen. Dazwischen liegen Leistungsschnittstellen mit ihren typischen Informationsverlusten, Kommunikationsproblemen und ein hoher Steuerungsaufwand. Bei acad stammen alle Projektleistungen und verfügbaren Prototyping- sowie Tooling-Verfahren aus einer Hand.*

Seit über 12 Jahren arbeiten Konstruktion und Musterbau bei der mittelfränkischen Firma acad eng verzahnt zusammen und erstellen alle Teilprozesse, die eine Schlüssel-funktion für die effiziente und kompetente Projektrealisierung haben. Durch dieses Leistungsangebot können Muster, Prototeile, Konstruktionen und Konzepte mit einem höheren Reifegrad geliefert werden.

## acad engineering – "driven by evolution"

Sie wollen mit unkonventionellen Lösungen den Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz im Automotive-Bereich sicherstellen? acad engineering berät Sie kompetent und begleitet auch komplexe Projekte zielgerichtet bis zum erfolgreichen Abschluss. Dank unserer 22-jährigen Erfahrung sind wir Spezialist im Bereich der Entwicklung von Innenausstattungs-komponenten wie Armlehnen, Kopfstützen, Cupholdern und Sitzkomponenten für die Automobilindustrie im Premiumsegment. Zu unseren Kunden zählen die in der Automotive-Branche tätigen OEM's, Tiers-1 sowie Tiers-2. Bei acad engineering wird jeder Entwicklungsschritt durch eine



F.S. Fehrer Automotive GmbH: Daimler W222 S-Klasse Mittelarmlehne SA hinten ■



Dräxlmaier Group: BMW Steuergeräteträger ■

5-Phasen Entwicklung systematisch abgesichert. Sie entscheiden nach Abschluss und Analyse jeder einzelnen Phase wann und wie es weitergeht, was eine Minimierung Ihres Investitions- und Entwicklungsrisikos bedeutet. Beispielhafte Projekte von acad engineering:

- **F.S. Fehrer Automotive GmbH:**  
Daimler W222 S-Klasse Mittelarmlehne SA hinten
- **csi entwicklungstechnik GmbH:**  
Porsche Cayenne E2 Mittelkonsole
- **MEKRA Lang GmbH & Co. KG:**  
MAN Neoman Linienbus Frontspiegel

## acad prototyping – "driven by improvement"

acad prototyping fertigt Kunststoffteile im Expressspritzguss-Verfahren. Bei Stückzahlen bis 1.000

Teile ist eine Lieferung innerhalb von 15 Arbeitstagen möglich. Die Preise für die aus hochfestem Aluminium gefertigten Spritzgusswerkzeuge beginnen bei 2.000 € und richten sich nach Größe und Komplexität. Unsere Werkzeuge sind ausgerichtet auf Teilegrößen bis 600 mm und einem Spritzgewicht bis 700 g. Anwendbar sind alle auf dem Markt verfügbaren thermoplastischen Kunststoffe, wobei die wichtigsten, ca. 400 Typen ständig auf Lager sind. Die Prototypenerstellung wird auf Rapid Moulding Systemen durchgeführt.

Diese auf 3D-CAD-Daten basierende Methode ermöglicht es bereits in der Planungsphase schnell und unkompliziert Prototypen zu fertigen. Durch die segmentierte Bauweise können alle Werkzeuge entsprechend schnell geänderten Kundenwünschen angepasst werden. Beispielhafte Projekte von acad prototyping:

- **Dräxlmaier Group:**  
BMW Steuergeräteträger
- **Alfmeier Präzision AG:**  
Pneumatiksteuergehäuse
- **F.S. Fehrer Automotive GmbH:**  
Opel Zafira Mittelarmlehne ■

### Autor:

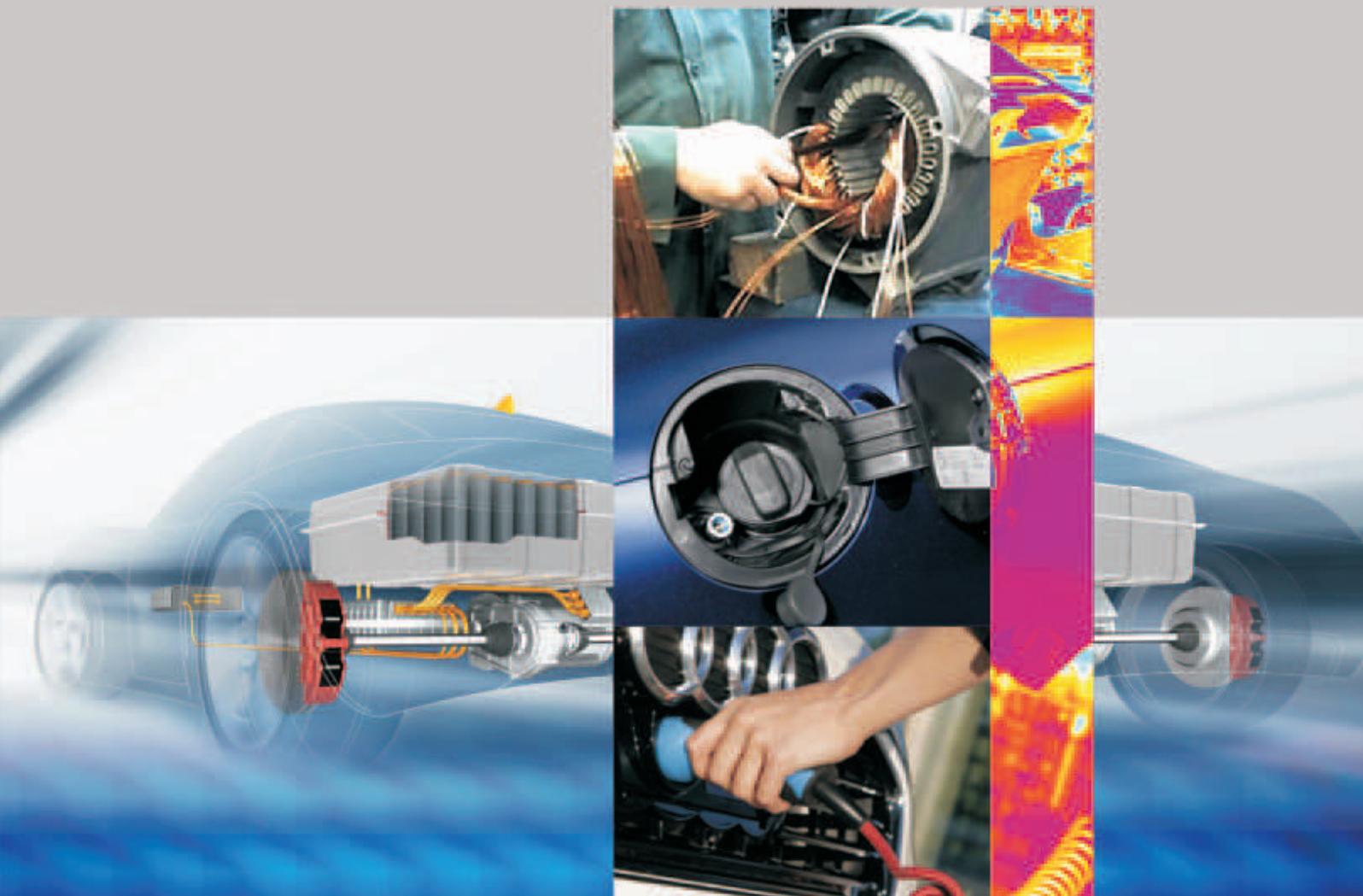


Dipl.-Ing.  
Alexander  
Kalusche  
Geschäftsführer

### acad group

Fabrikstraße 1a  
91560 Heilsbronn (Mfr)  
Tel: +49 (0) 9872 5298  
E-mail: a.kalusche@acad-engineering.de  
www.acad-group.de

# *Sonderteil e-Car*



# Mainfranken – eine (e)mobile Region

## Automotive / Maschinenbau – Kompetenzfeld Nr. 1



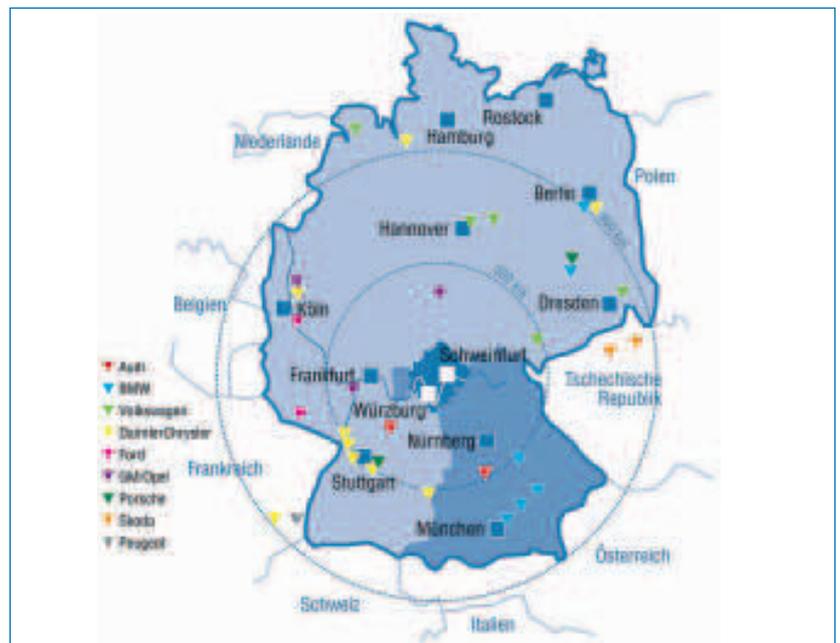
Innovative hochtechnologische Produkte und erfolgreiche Global Player der Automobilzuliefererindustrie haben in Mainfranken lange Tradition. Für „Made in Mainfranken“ stehen im Weltmarkt führende Unternehmen und Marken wie Bosch Rexroth, FAG, Sachs, SKF, BASF Coatings, Preh, Jopp oder FTE



Kompetenz in der Oberflächenveredlung  
(Foto: BASF Coatings GmbH) ■

ebenso wie junge Technologie-Unternehmen. Dank andauernder Innovationsfähigkeit der Unternehmen stieg die Zahl der Beschäftigten im mainfränkischen Kompetenzfeld Nr. 1 in den letzten Jahren gegen den Bundestrend auf über 40.000. Gemessen an dieser Zahl ist Mainfranken damit Nummer vier unter bundesweit 97 Regionen.

Regionale Schwerpunkte liegen dabei insbesondere in den Bereichen Elektromobilität, Präzisions- und Wälzlagertechnologie, Brems- und Kupplungssysteme, Antriebs- und Steuerungstechnik, Hydraulik und Kfz-Bediensysteme. ■



Mainfranken - Drehscheibe zwischen den bundesweiten OEM-Standorten ■

### Mainfranken gut positioniert

Zentral gelegen zwischen den Standorten der großen Automobilhersteller in Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Sachsen und dem benachbarten Europa ist Mainfranken zentrale Drehscheibe mit einer leistungsfähigen Verkehrsinfrastruktur.

Ob Forschung oder Anwendung – die mainfränkischen Hochschulen sind Garant für hoch qualifizierten Ingenieursnachwuchs in der Region:

- Die **Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt (FHWS)** bietet ein breites Spektrum an ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen.
- Die **Universität Würzburg** ergänzt dieses Potenzial mit zukunftsorientierten Studiengängen wie Nanostrukturtechnik, Technische Informatik und Technologie der Funktionswerkstoffe.
- Wichtige außeruniversitäre **Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen** sind kompetente Partner für Forschungsk Kooperationen und funktionierende Netzwerke.

### Modellstadt Elektromobilität für Mainfranken



Elektromobilität ist eines der bedeutenden industriellen Zukunftsthemen und Mainfranken weiß sich hier aufgrund seiner Automotive-Kompetenz entsprechend zu positionieren. Es verwundert daher nicht, dass die mainfränkische Stadt **Bad Neustadt an der Saale** im Juli 2010 vom Freistaat Bayern zur ersten Bayerischen Modellstadt für Elektromobilität ernannt wurde. Das Modellstadtlable beinhaltet die Zusage, ein Technologietransferzentrum für Elektromobilität (TTZ-EMO) aufzubauen. Angegliedert an die FHWS begleitet das TTZ-EMO das Thema Elektromobilität wissenschaftlich und unterstützt die Schwerpunkte der Modellstadt im Bereich SMART GRID. Die Optimierung von Ladetechnologien sowie der Einsatz von intelligenten Energiemanagementsystemen stehen dabei im Vordergrund. Langfristige Ziele sind die Nutzung elektrischer Fahrzeuge als innovative Stromspitzenpuffer und die Erzeugung von regenerativen Energiequellen für den



Elektromobilität erfahrbar machen – bei der Staffelfahrt Elektromobilität  
(Foto: Region Mainfranken GmbH) ■

Betrieb der Fahrzeuge. An diesem Punkt stellt das Technologietransferzentrum einen wichtigen Knotenpunkt für industrielle und wissenschaftliche Forschung und Entwicklung dar. Als weitere Säule im regionalen Kompetenzprofil fungiert die Technikerschule für Fahrzeugtechnik und Elektromobilität. Sie wird einen maßgeblichen Beitrag zur Deckung des Fachkräftebedarfs im Zukunftsfeld „Alternative Antriebe“ in Mainfranken leisten.

Bis heute sind intensive Verbindungen zwischen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Mainfranken geknüpft worden, die in konkrete Kooperationsprojekte mündeten. Diese Netzwerkaktivitäten erhöhen nicht nur die Forschungstätigkeiten im Bereich der Elektromobilität, sondern verbessern auch die Standortqualitäten Mainfran-

kens erheblich. So wurde unter dem Dach der Region Mainfranken GmbH mit dem **Fachforum Elektromobilität** eine mainfrankenweite Perspektive für die Zukunftstechnologie Elektromobilität entwickelt. Mittelständische Unternehmen engagieren sich hier genauso wie Global Player und Vertreter der mainfränkischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen mit dem Ziel, Kooperationsstrukturen auszubauen, den Forschungs- und Bildungsstandort zu stärken, Fachkräfte für das Zukunftsfeld zu begeistern und Elektromobilität sichtbar zu machen – beispielsweise durch die mainfrankenweite Staffelfahrt oder den Schulbaukasten Elektromobilität. ■

Weitere Informationen finden Sie im Internet unter [www.m-e-nes.de](http://www.m-e-nes.de) und [www.mainfranken.org/emob](http://www.mainfranken.org/emob)



Damit Elektromobilität weiter Schule macht (Foto: Region Mainfranken GmbH) ■

Autor:



Sebastian Kühl  
Projektmanager

Region Mainfranken GmbH

Ludwigstraße 10 1/2  
97070 Würzburg  
Tel.: 0931-452 652-0  
Fax: 0931-452 652-20  
E-mail: [info@mainfranken.org](mailto:info@mainfranken.org)  
Internet: [www.mainfranken.org](http://www.mainfranken.org)

# Massentaugliche Elektromobilität für das urbane Umfeld



Ein serientauglicher Elektro-Flitzer, der sowohl leicht als auch sicher ist und den Großen beim Fahrkomfort in nichts nachsteht? Wie das geht, zeigt das Forschungsprojekt Visio.M. Erst hört man ein Surren, dann das Knirschen von Reifen auf dem Asphalt. Es geht sehr leise zu, wenn das Visio.M-Forschungsfahrzeug seine Testrunden dreht.

Visio.M steht für *V*isionäres *M*obilitätskonzept, ein vom Bundesforschungsministerium gefördertes Forschungsprojekt, in dem Wissenschaftler der Technischen Universität München (TUM) mit 14 Partnern aus der Automobil- und Technikbranche zusammenarbeiten. Ziel des außergewöhnlichen Konsortiums ist es, ein Elektrofahrzeug-Konzept für den Stadtverkehr zu entwickeln, das nicht nur effizient, leicht und sicher ist, sondern auch für den Massenmarkt geeignet. Bisher fehlt es noch an Elektroautos, die all diese Anforderungen erfüllen.

„Jeder Partner bringt spezifisches Know-how mit, sei es beim Antrieb, den Batterien oder beim Leichtbau der Fahrzeugkarosserie“, erklärt Prof. Markus Lienkamp, der das Visio.M-Projekt auf Seiten der TU München betreut. „Gemeinsam erarbeiten wir ein grundlegend neues Konzept von Elektromobilität: Es soll Sicherheit, Effizienz und Leichtigkeit verbinden und gleichzeitig den Kundenwünschen in Bezug auf Fahrdynamik, Komfort und Design gerecht werden.“ Im Verbundprojekt des Bundesforschungsministeriums Visio.M erforschen namhafte Unternehmen der deutschen Automobilindustrie zusammen mit Wissenschaftlern der



TU München Möglichkeiten, wie kleine, effiziente Elektrofahrzeuge sicher und preiswert gebaut werden können. Im Rahmen des Projekts nutzen die Verbundpartner die Basis des von der TU München entwickelten Elektrofahrzeugs MUTE, um Innovationen und neue Technologien für Fahrzeugsicherheit, Antrieb, Energiespeicher und Bedienkonzept auf ihre Umsetzbarkeit unter den Rahmenbedingungen der Großserienproduktion zu erforschen.

Bisherige Elektro-Kleinstfahrzeuge sind entweder sehr leicht, müssen dafür aber mit reduzierter Sicherheitstechnik auskommen, oder Rahmen und Knautschzonen größerer E-Fahrzeuge sorgen für Gewicht und gehen damit zulasten der Batteriereichweite. Im Projekt Visio.M wird ein Mobilitätskonzept erarbeitet, das von Anfang an beiden Anforderungen genügt: ein effizientes Elektrofahrzeug mit minimalem Gewicht, das ein höchstmögliches Sicherheitsniveau bietet.

Bei der Fahrzeugstruktur haben sich die Visio.M-Ingenieure deshalb für eine innovative Monocoque-Bauweise entschieden. Diese aus dem Rennsport bekannte Struktur erlaubt es in Verbindung mit Leichtbaumaterialien, Fahrzeuge mit hoher

Steifigkeit und minimalem Gewicht zu konstruieren. Entwickelt wird diese Fahrgastzelle durch den Konstruktionsspezialisten IAV, gemeinsam mit Leichtbauexperten und Fahrzeugtechnikern der TUM. Die Fahrzeugstruktur soll mit besonders leichten carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) umgesetzt werden. Der Verbundwerkstoff ist zwar noch vergleichsweise aufwändig zu produzieren und entsprechend teuer. Ziel ist es deshalb zu prüfen, inwieweit die Carbonfaser-Werkstoffe auch für serientaugliche Elektro-Kleinstfahrzeuge nutzbar sind.

Auch bei vielen anderen Bauteilen gehen die Visio.M-Ingenieure neue Wege. Beispielsweise beim Antrieb: Im Visio.M-Konzeptfahrzeug kommt eine effiziente Asynchronmaschine von Siemens in einer sehr kompakten Bauform zum Einsatz. Sie ist robust und zeichnet sich durch eine hohe Lebensdauer und Kosteneffizienz aus. Sie kann sowohl im motorischen als auch im generatorischen Betrieb arbeiten. Dadurch kann die Bremsenergie in elektrische Energie umgewandelt und zurück in den Akku gespeist werden, um die Reichweite des Fahrzeugs zu erhöhen. Die Kühlung der Asynchronmaschine wird zum einen durch ein wassergekühltes

Gehäuse und zum anderen durch eine interne Luftkühlung am Rotor sichergestellt. Durch die optimale Wärmeabfuhr kann der vorhandene Bauraum maximal ausgenutzt werden. Trotz aller Gewichtseinsparung steht die Sicherheit der Insassen im Visio.M-Projekt an erster Stelle: Die stabile Karbonfaser-Fahrzeugstruktur wird dafür mit weiteren aktiven und passiven Schutzkonzepten ergänzt, die insbesondere die spezifischen Sicherheitserfordernisse eines Elektro-Kleinstfahrzeugs für den urbanen Einsatz adressieren. Zu den Ideen, denen die Ingenieure in ihrer Forschungsarbeit nachgehen, gehören zum Beispiel speziell an solche Fahrzeuge angepasste Gurtsysteme sowie weitere innovative Konzepte zur Reduzierung der Insassenbelastung bei einem Unfall. Am Projektende soll das E-Fahrzeug ein höchstmögliches Sicherheitsniveau bieten.

Die ersten Fahrwerkstests hat ein Versuchsträger des zukünftigen E-Fahrzeugs bereits absolviert. Auf einem Testgelände in der Nähe von München wurden die Fahrdynamikregelsysteme, also das Antiblockiersystem und das Torque-Vectoring-System, erfolgreich in Betrieb genommen – ein weiterer Schritt hin zum sicheren Elektrofahrzeug.

Die Forscher des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik der TUM haben in einem Teilbereich des Projekts außerdem gezeigt, dass das so genannte teleoperierte Fahren im öffentlichen Straßenverkehr sicher funktioniert. Dafür haben sie das Erprobungsfahrzeug mit sechs Videokameras ausgerüstet und sämtliche Funktionen über ein zentrales Steuergerät schaltbar gemacht. Die Videobilder laufen in einem Computer zusammen und werden dann codiert über LTE zu der Fernsteuerung, dem Operatorarbeitsplatz, gesendet. Dort sitzt der Fahrer wie in einem Fahrsimulator mit Lenkrad, Schalttafel und Pedalen vor drei riesigen Monitoren. Diese zeigen die Bilder von bis zu fünf nach vorn und zur Seite gerichteten Kameras, die in der Mitte der Windschutzscheibe vor dem Rück-



spiegel angebracht sind. Eine weitere Kamera zeigt den Blick nach hinten. Das Lenkrad ist ein Force-Feedback-Wheel, das über Stellmotoren Haltekräfte zurückmeldet und so ein sehr realistisches Fahrgefühl vermittelt. Ebenso echt fühlt sich die Bremse an, die ganz wie im Auto auf den ausgeübten Druck am Pedal anspricht. Neben einer kompletten Rundumsicht wird dem Fahrer an seinem Operatorplatz auch der Ton aus dem Wageninneren über Dolby 5.1 räumlich korrekt dargestellt.

In vielen Großstädten ist das LTE-Netz inzwischen großräumig ausgebaut, so dass schon heute ausreichend Bandbreite für die Übertragung der Videobilder, des Tons und der Steuerdaten zur Verfügung steht. Außerdem schreitet der Ausbau der Mobilfunknetze weiter fort. Die Kapazitäten nehmen zu und gleichzeitig steht mit dem nächsten Video-Codec H.265 eine noch effizientere Komprimierung der Bilder auf nur noch 50 Prozent der jetzigen Größe bevor. Sollte die Bandbreite aber tatsächlich einmal nicht ausreichen oder die Verbindung sogar ganz abreißen, wird das Fahrzeug automatisch bis zum Stillstand abgebremst. Trotz aller technischen Machbarkeit müssen vor einem möglichen regulären Einsatz solcher Systeme noch juristische Hürden genommen werden.

Dennoch sind die Forscher der TU München davon überzeugt, dass das teleoperierte Fahren schon innerhalb der nächsten fünf bis zehn Jahre Realität werden könnte. Denn die Kosten sind überschaubar. Kamera und Elektronik für die Fernsteuerung kosten inzwischen nicht mehr als manch anderes Ausrüstungspaket. Und Anwendungsmöglichkeiten gibt

es genug. Vom Car Sharing Fahrzeug, das vor die Haustür bereitgestellt wird über Parkservices in Innenstädten bis hin zur ferngelenkten Fahrt von Elektroautos zur nächsten Ladesäule.

An dem Forschungsprojekt „Visio.M“ beteiligen sich, neben den Automobilkonzernen **BMW AG** (Konsortialführer) und **Daimler AG**, die **Technische Universität München** als wissenschaftlicher Partner, sowie **Autoliv B. V. & Co. KG**, **Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)**, **Continental**, die **Finpower GmbH**, **Hyve AG**, die **IAV GmbH**, **InnoZ GmbH**, **Intermap Technologies GmbH**, **LIONSmart GmbH**, **Siemens AG**, **Texas Instruments Deutschland GmbH** und **TÜV SÜD AG**. Das Projekt wird im Rahmen des Förderprogramms IKT 2020 und des Förderschwerpunkts „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität – STROM“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) über 2,5 Jahre gefördert und hat ein Gesamtvolumen von 10,8 Mio. Euro. ■

Autor:



Prof. Dr.-Ing.  
Markus Lienkamp  
Ordinarius

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM)  
Technische Universität München

Boltzmannstr. 15  
85748 Garching b. München  
Telefon: +49.89.289.15344  
Fax: +49.89.289.15357  
E-mail: [lienkamp@ftm.mw.tum.de](mailto:lienkamp@ftm.mw.tum.de)  
[ftm@ftm.mw.tum.de](mailto:ftm@ftm.mw.tum.de)



# Der Audi Sport quattro laserlight concept

- *Dynamisches Coupé mit starkem Plug-in-Hybridantrieb*
- *Prof. Dr. Ulrich Hackenberg, Vorstandsmitglied der AUDI AG, Technische Entwicklung: „Dieses Showcar verkörpert unsere Entwicklungskompetenz und zeigt wegweisende Elektronik-Features wie Hochleistungs-Laserlicht-Scheinwerfer.“*

*Der Audi Sport quattro laserlight concept erinnert an den klassischen Sport quattro von 1983 und weist zugleich in die Zukunft – mit den jüngsten Technologien der Marke beim Plug-in-Hybridantrieb, bei Bedienung und Anzeige sowie in der Lichttechnologie.*

Audi Sport quattro laserlight concept

„Das neue Showcar demonstriert auf vielen Ebenen technischen Vorsprung“, sagt Prof. Dr. Ulrich Hackenberg „Wir haben e-tron-Technologie mit 515 kW und einem Verbrauch von nur 2,5 l/100 km; Laserscheinwerfer, die mit ihrer Leistung alles bisher Dagewesene in den Schatten stellen und neue Anzeige- und Bediensysteme mit wegweisender Elektronik-Performance an Bord. Wir zeigen hier die Zukunft von Audi.“

Das Coupé, eine Evolution des Sport quattro concept, in der Farbe Plasmarot lackiert, vereint die Kraft des historischen Sport quattro mit emotionaler Eleganz. Seine Karosserie sitzt straff über den großen Rädern. Die Überhänge sind kurz, die Proportionen ausgewogen sportlich: Bei 2.784 Millimeter Radstand beträgt die Länge 4.602 Millimeter; mit 1.964 Millimeter ist der Zweitürer sehr breit und mit 1.386 Millimeter außergewöhnlich niedrig. Bei den Doppelscheinwerfern, einem typischen quattro-Feature, demonstriert Audi die Zukunft der Lichttechnologie mit einer Kombination aus LED und Laser-



Audi Sport quattro laserlight concept – Frontansicht ■

licht. Im Inneren der Scheinwerfer sind je zwei flache, trapezförmige Körper zu erkennen – der äußere generiert über LEDs und eine Blende das Abblendlicht, der innere das Laser-Fernlicht.

Die leistungsstarken Laserdioden sind wesentlich kleiner als LED-Dioden, ihr Durchmesser beträgt nur wenige Mikrometer. Mit fast 500 Metern Reichweite, leuchtet das Laser-Fernlicht etwa doppelt so weit und dreimal so lichtstark wie LED-Fernlicht. Mit dieser Zukunfts-Technologie betont Audi einmal mehr seine Führungsrolle

in der automobilen Lichttechnik, die im R18 e-tron quattro 2014 auch auf der Rennstrecke zum Einsatz kommt.

Die kantigen, flachen C-Säulen des Audi Sport quattro laserlight concept und die Blister über den Kotflügeln sind weitere Design-Reminiszenzen an den klassischen Sport quattro. Neu interpretiert und intensiv herausgearbeitet, verleihen die breiten Schultern der Karosserie noch mehr Dynamik. Am ganzen Auto fassen scharfe Konturen muskulös gespannte Flächen ein – das Spiel



Audi Sport quattro laserlight concept – Heckansicht ■

aus konvexen und konkaven Wölbungen definiert den athletischen Charakter des Coupés.

Auch der sechseckige Singleframe-Grill gewährt einen Ausblick auf das künftige Design der sportlichen Serienmodelle. Sein unterer Bereich steht nahezu senkrecht, der obere folgt dem Zug der Motorhaube; der Gitter-Einsatz ist eine typische Lösung aus dem Rennsport. Der tief platzierte Grill betont die Breite des Showcars. Je zwei große, vertikale Blades gliedern die mächtigen Lufteinlässe, sie werden formal von den Sicken der Motorhaube aufgegriffen. Der Splitter aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) ist wie bei einem Rennwagen weit nach vorn geschoben.

Am Heck bestimmt die Kombination aus flachem Glashaas und breiten Schultern die Proportionen. Ein weiteres prägendes Element ist der stark nach oben gezogene CFK-Diffusor. Sein oberer Bereich ist in Wabengitter-Optik gehalten, der untere schließt zwei große, ovale Abgas-Endrohre ein. Die Rückleuchten, auf einer schwarzen CFK-Blende gelegen, sind rechteckig geformt – ein weiteres quattro-Zitat. Der Gepäckraum, den eine massive Querstrebe versteift, bietet 300 Liter Volumen. Fein gezeichnete Details runden den dynamischen

Look des Audi Sport quattro laserlight concept ab. Die Schwellerverbreiterungen bestehen aus CFK, die Türgriffe fahren elektrisch aus, sobald man sich mit der Hand nähert. Die Felgen im Fünf-Doppelspeichen-Design haben Zentralverschlüsse. ■

### **Leichtbau sichtbar gemacht: Das Interieur**

Im großzügig geschnittenen Interieur des Showcars setzt sich die Linie eleganter Sportlichkeit mit dunklen Grautönen und klarer Linienführung fort; Design und Materialauswahl demonstrieren die Audi-Philosophie des Leichtbaus. Die schlanke Instrumententafel erinnert von oben betrachtet an den Flügel eines Segelflugzeugs. Eine CFK-Schale bildet die Tragstruktur des Interieurs und dient zugleich als Ablage in den Türen.

Eine Linie unter der Windschutzscheibe umschließt Fahrer und Beifahrer und bindet Funktionen wie die Türöffner ein. Die Rennklappschalen mit ihren hohen Wangen und den integrierten Kopfstützen sowie die beiden Fondsitze bieten gemeinsam Platz für vier Personen. Die Klimabedienung ist in die Luftausströmer integriert; Intensität, Temperatur und Luftstrom lassen sich an einem Element regeln. Das schlanke Display im mittleren Ausströmer zeigt außer

den Klimatisierungseinstellungen auch Medien-Daten an.

### **Neue Lösungen: Anzeige und Bedienung**

Der Innenraum des Audi Sport quattro laserlight concept ist ganz auf den Fahrer fokussiert. Das Multifunktions-Sportlenkrad deutet schon die künftigen sportlichen Serienlösungen an. Es trägt zwei Tasten, mit denen der Fahrer den Hybridantrieb beeinflussen kann, einen roten Start-Stop-Knopf, eine Taste für das Fahrdynamiksystem Audi drive select und eine „View“-Taste zur Steuerung des Audi virtual cockpit.

Auf dem großen Audi TFT-Display sind alle wichtigen Informationen in hochauflösenden, dreidimensional wirkenden Darstellungen zu sehen; ein topaktueller Tegra 30-Prozessor vom Audi-Partner Nvidia berechnet die Grafiken. Der Fahrer kann zwischen unterschiedlichen Modi wechseln. So dominieren im MMI-Modus Anzeigen wie die Navigationskarte oder die Medien-Listen und in der klassischen Ansicht treten der Tacho in den Vordergrund.

Fast alle Funktionen des Audi Sport quattro laserlight concept lassen sich mit dem weiterentwickelten MMI-Terminal auf der Konsole des Mitteltunnels steuern. Sein großer Dreh-/Drücksteller, der auch als Touchpad dient, lässt sich in vier Richtungen schieben; vier Tasten – für das Hauptmenü, die Funktionsmenüs, die Optionen und den Rücksprung – umgeben ihn auf drei Seiten.

Die neue Bedienung korrespondiert mit einer Menüstruktur, die mit ihrem intuitiven Charakter an ein Smartphone erinnert. Alle häufig genutzten Funktionen lassen sich blitzschnell erreichen. Für die meisten Eingaben sind dank einer neuen Freitextsuche nur wenige Schritte nötig; für eine Navigationsadresse genügen



Audi Sport quattro laserlight concept – Audi virtual cockpit ■

zumeist vier Zeichen. Mit Multi-touch-Gesten auf dem Touchpad kann der Fahrer rasch in Listen scrollen oder das Kartenbild zoomen. Die Sprachbedienung präsentiert sich ebenfalls intensiv weiterentwickelt. ■

### ***Kraftvoll und hocheffizient: Der Antrieb***

Der Plug-in-Hybridantrieb verleiht dem Audi Sport quattro laserlight concept faszinierende Dynamik. Seine Systemleistung beträgt 515 kW (700 PS), das Systemdrehmoment 800 Nm; sie gelangen über eine modifizierte Achtstufen-tiptronic auf den quattro-Antriebsstrang, der ein Sportdifferenzial an der Hinterachse mitbringt. Im Mittel begnügt sich das Showcar nach der einschlägigen Verbrauchsnorm mit 2,5 Liter Kraftstoff pro 100 km – eine CO<sub>2</sub>-Emission von 59 Gramm pro km.

Als Verbrennungsmotor dient ein Vierliter-V8 mit Biturbo-Aufladung; er mobilisiert 412 kW (560 PS) und 700 Nm Drehmoment. Das System cylinder on demand (COD), das bei Teillast vier Zylinder stilllegt, und ein Start-Stop-System machen den klangvollen Achtzylinder sehr effizient. Zwischen dem 4.0 TFSI und dem Getriebe ist ein scheibenför-

miger Elektromotor platziert, der 110 kW und 400 Nm abgibt. Er bezieht seine Antriebsenergie aus einer Lithium-Ionen-Batterie im Heck, die 14,1 kWh speichert – genug für bis zu 50 km elektrische Fahrstrecke. Zum Laden dient eine Audi-Wallbox, die für optimale Energiezufuhr sorgt.

Ein intelligentes Management regelt das Zusammenspiel der Motoren nach Bedarf. Der Fahrer kann zwischen drei Modi umschalten. Im EV-Modus arbeitet allein der Elektromotor, mit seinem hohen Drehmoment treibt er das Showcar auch außerhalb der Stadt kräftig an. Das aktive Fahrpedal signalisiert dem Fahrer mit einem sich verändernden Widerstand den Übergang in den Hybridmodus, so dass er ihn bewusst steuern kann.

Der Hybridmodus fokussiert sich auf das verbrauchsoptimale Zusammenspiel von TFSI und E-Maschine unter Nutzung von Umfeld- und Streckendaten. Der Fahrer kann die Betriebsstrategie über die Hold- und Charge-Funktion im MMI gezielt beeinflussen, etwa, wenn er für die letzten Kilometer am Zielort elektrische Energie zur Verfügung haben möchte. Das Fahrdynamiksystem Audi drive select hält weitere Regelmöglichkeiten

bereit – den einzelnen Fahrprofilen sind unterschiedliche Stufen der Rekuperation zugeordnet.

Im Sportmodus legt die Betriebsstrategie den Antrieb auf maximale Leistung aus. Wenn der V8 und die E-Maschine aus dem Stand heraus gemeinsam boosten, beschleunigt der Audi Sport quattro laserlight concept in 3,7 Sekunden auf 100 km/h und weiter bis 305 km/h. ■

### ***Die Karosserie und das Fahrwerk***

An dieser Dynamik hat auch das Leichtbaukonzept von Audi großen Anteil. In der Passagierzelle werden höchstfeste Stahlbleche und Strukturelemente aus Aluminiumguss miteinander kombiniert. Die Türen und Kotflügel bestehen aus Aluminium, das Dach, die Motorhaube und die Heckklappe aus CFK. Dadurch beschränkt sich das Leergewicht inklusive des großen Batteriepakets auf 1.850 Kilogramm.

Die Vorderachse setzt sich aus fünf Lenkern je Rad zusammen, die Hinterachse folgt dem spurgesteuerten Trapezlenker-Prinzip von Audi, damit sind Fahrdynamik und -stabilität garantiert.

Straff abgestimmte Federn und Dämpfer binden den Audi Sport quattro laserlight concept eng an die Straße an, Audi drive select macht das Fahrerlebnis noch vielseitiger. Die Dynamiklenkung variiert ihre Übersetzung mit der gefahrenen Geschwindigkeit. Die Bremssättel nehmen große Scheiben aus Kohlefaser-Keramik in die Zange, das Reifenformat lautet 285/30 R 21. ■

#### ***Ansprechpartner:***

***Herr Josef Schloßmacher***  
AUDI AG  
I/GP-P

D-85045 Ingolstadt  
Tel.: +49-841-89-33869  
Fax: +49-841-89-90786  
josef.schlossmacher@audi.de  
www.audi.com

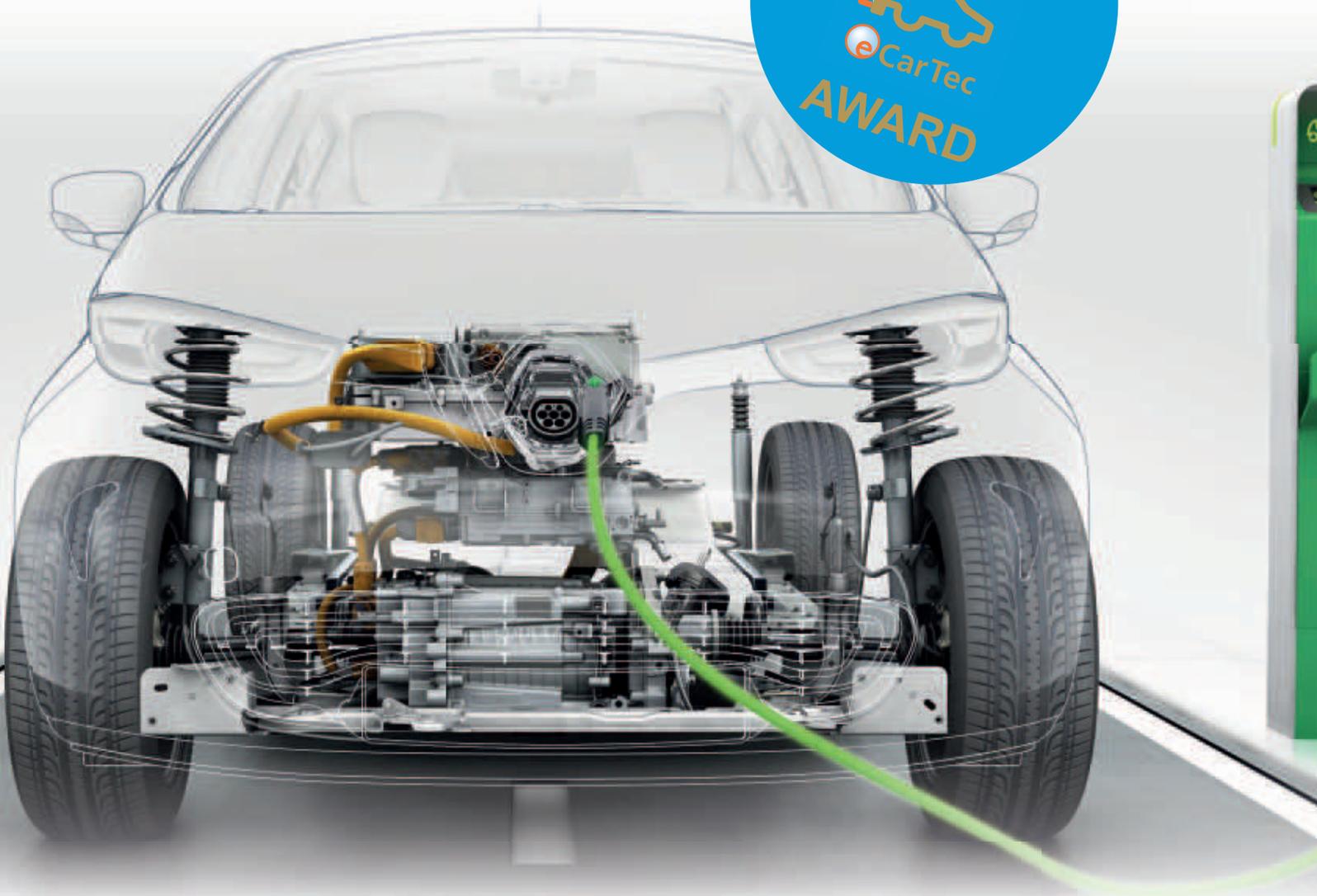


# eCarTec Munich 2014

6. Internationale Leitmesse für Elektro- & Hybrid-Mobilität

21. - 23. Oktober 2014  
Messe München, Eingang Ost

## Connecting Mobility Markets!



[www.ecartec.de](http://www.ecartec.de)

# Ressourcenschonende Wertschöpfungsketten für Hochleistungsmagnete

In den nächsten Jahren wird eine stark steigende Nachfrage nach Hybrid- und Elektrofahrzeugen und den dafür benötigten elektrischen Fahrtrieben erwartet. Die meisten elektrischen Fahrtriebe basieren dabei auf Permanentmagneterregten Synchronmotoren (PSM). Die dafür benötigten Magneten wiegen je nach Antriebskonzept 1 bis 3 Kilogramm. Fast ein Drittel davon entfällt auf Metalle der Seltenen Erden (SE), die bewirken, dass der Rotor sein Magnetfeld ohne externe Zufuhr von elektrischem Strom dauerhaft behält.

Die für Hochleistungsmagnete von kompakten und leichten Synchronmotoren erforderlichen unverzichtbaren SE-Metalle werden nur an wenigen Lagerstätten der Erde gewonnen. In Zukunft droht daher eine weiter steigende Importabhängigkeit von Regionen mit bedeutenden Abbaugebieten für SE-Metalle. Im Jahr 2011 stammten noch etwa 97% der Seltenen Erden aus der Volksrepublik China.

Seine marktbeherrschende Stellung nutzt die Volksrepublik regelmäßig zur Durchsetzung einer stark restriktiv geprägten Exportpolitik. Die Exportquoten sind bereits mehrfach massiv eingegrenzt worden. Die Ankündigung weiterer Exportzölle und Exportbeschränkungen im Jahr 2011 führte schließlich zu einer beispiellosen Eigendynamik an den globalen Rohstoffmärkten

und erheblichen Preissteigerungen. 2014 notieren die Preise Seltener Erden wie Neodym (Nd) oder Dysprosium (Dy) nach wie vor weit über dem Niveau von vor 2011, gegenüber den Höchstständen sind sie allerdings deutlich zurückgegangen (*siehe Abb. 1*). Durch den vielfältigen Einsatz in High-Tech-Applikationen (Mobilität, Energiewende, Sicherheit, Komfort) wird die Nachfrage nach Hochleistungsmagneten jedoch zwangsläufig weiter steigen. Auch in Zukunft sind daher weitere Preissteigerungen zu erwarten, wenn auch nicht in den dramatischen Ausmaßen wie Ende 2011.

Um die Gefahr einer Abhängigkeit von diesen Rohstoffen und den damit verbundenen Regionen zu reduzieren und gleichzeitig drohende Umweltbelastungen zu vermeiden, wurde eine Vielzahl an Maßnahmen zur Sicherung der Verfügbarkeit der wichtigen High-Tech-Rohstoffe gestartet:

- Erschließung neuer Minenfelder
- Substitution von PSM durch die Entwicklung magnetfreier Antriebslösungen
- Entwicklung von Dy-freien Magnetlegierungen
- Entwicklung von Recyclingstrategien

- Ressourcenschonende Wertschöpfungsketten für Hochleistungsmagnete ■

## Erschließung neuer Minenfelder

Entgegen ihrer Bezeichnung kommen die „Seltene Erden“ in der Erdkruste durchaus häufig vor. Ausgedehnte Lagerstätten, die effizient und damit auch gewinnbringend erschlossen werden können, konzentrieren sich jedoch auf wenige Abbaugebiete. Die größten Vorkommen liegen in China in der Inneren Mongolei. Angesichts der Preisexzesse im Jahr 2011 wurde die Förderung der Seltenen Erden weltweit auch in weiteren Lagerstätten (wieder) hochgefahren. Die Vormachtstellung als Hauptlieferant hat die Volksrepublik jedoch noch lange nicht eingebüßt. Der Produktionsanteil liegt bei 92% (97% vor 2011), gefolgt von den USA (4,3%), Russland (2,3%) und Malaysia (1,3%).

Der Aufwand zur (Wieder-)Erschließung von Minen wie bspw. im Bergwerk Mountain Pass im US-Bundesstaat Kalifornien durch den Betreiber Molybdenum oder im westaustralischen Bergwerk Mount Weld durch die Firma Lynas ist enorm. Die SE-Metalle kommen in ihrer reinen Form in der Natur nicht vor. Das hat die Folge, dass die teils ohnehin giftigen Metalle aufwendig mittels Säuren aus den Erzen ausgewaschen werden müssen.

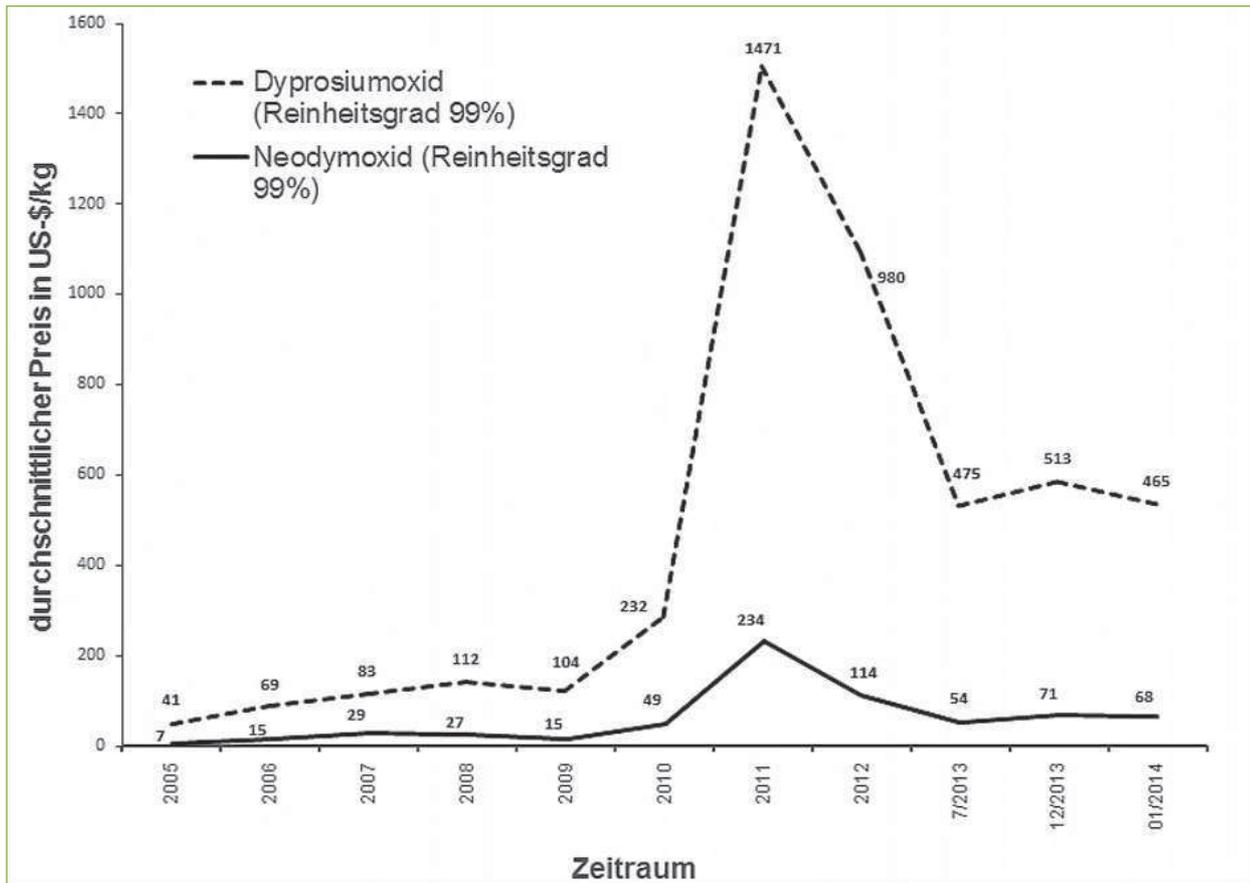


Abb. 1: Preiskurven von Neodym(Nd)- und Dysprosium(Dy)-Oxid seit 2005 ■

Darüber hinaus liegen die SE-Metalle im Erz in der Regel auch neben radioaktiven Elementen, wie Uran und Thorium, vor. Als Hinterlassenschaft des Abbauprozesses fällt schadstoffbelasteter Schlamm an. Die Komplexität und die Risiken der Extraktion Seltener Erden trugen insofern wesentlich dazu bei, dass 2011 neben China praktisch weltweit an keinem Standort komplette Förderungs- und Verarbeitungsketten existierten. Angesichts der hohen Investitionen in die Minen in den USA und Australien und der nach wie vor eindeutigen Vorherrschaft von China ist nicht mit sinkenden Magnetpreisen zu rechnen. Im Gegenteil, die Volksrepublik versucht die Monopolstellung im Rohstoffbereich zu nutzen, um die Ansiedlung von Firmen, die Hightech-Produkte mit Nd und Dy verarbeiten, zu fördern. Chinesische Unternehmen versuchen sich verstärkt zunächst aus der Rolle eines rei-

nen Materiallieferanten hin zum Lieferanten von Hochleistungsmagneten, und letztendlich zum Lieferanten von kompletten Produkten mit Hochleistungsmagneten zu entwickeln. Die geringen Personal- und Produktionskosten tragen zusätzlich dazu bei. Dieser Prozess wäre analog zur aktuellen Entwicklung der petrochemischen Industrie der arabischen Golfstaaten die verstärkt neben der Förderung von Rohöl, die Herstellung von Basischemikalien und letztendlich auch auf die Verarbeitung von Kunststoffgranulat zu Kunststoffprodukten in großen Industrieparks setzen. ■

#### Substitution von PSM durch die Entwicklung magnetfreier Antriebslösungen

Es werden zudem Wege gesucht, um sich von der Abhängigkeit von Seltenen Erden komplett zu befreien. Die Substitution ist auch aufgrund der grundsätzli-

chen Umweltproblematik durch den Abbau von SE-Metallen besonders attraktiv. Im Bereich der elektrischen Fahrtriebe werden häufig Permanentterregte Synchronmotoren (PSM) wegen ihrer Vorteile hinsichtlich Volumen und Leistungsdichte bevorzugt. Magnetfreie Asynchronmaschinen (ASM) fallen im Gegensatz dazu bei gleicher Leistung etwa 10-15% schwerer und größer aus. Für künftige Asynchronmaschinen wird daher in aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekten versucht, die Leistungsdichte sukzessive zu steigern, wie zum Beispiel durch neuartige Hochdrehzahlkonzepte (Leistung aus Drehzahl). Insgesamt ist eine Diversifizierung bei den Maschinenkonzepten zu erwarten. Neben PSM, ASM, und FESM (Fremderregter Synchronmotor) laufen bspw. auch Förderprojekte zur Etablierung von magnetfreien Synchronreluktanzmotoren (SRM) als Traktionsantriebe. ■

### Entwicklung von Dy-freien Magnetlegierungen

Mit steigender Temperatur sinkt die Magnetkraft von Permanentmagneten. Im Bereich der Hochleistungs-Nd-Magnete wird daher gezielt Dy (bis zu 10%) hinzugefügt, um die Hochtemperaturstabilität der Magnete zu erhöhen. Kritisch ist Dy dabei vor allem dadurch, dass dieses SE-Metall fast ausschließlich in den chinesischen Minen in den Provinzen Jiangxi, Fujian und Guandong vorkommt. Derzeit werden daher verstärkt Forschungsanstrengungen unternommen, um Magnetlegierungen herzustellen, welche die gleiche Leistung auch ohne oder zumindest mit verminderten Mengenanteilen an Dy (bspw. Dy lediglich an Grenzflächen/Kristallgrenzen anreichern) erreichen. ■

### Entwicklung von Recyclingstrategien

Auch wenn die Suche nach anderen Bezugsquellen angelaufen ist und Auswege sich abzeichnen, bleibt die Rückgewinnung aus Elektromotoren eine weitere wichtige Option. Neben der Hinwendung zu nicht-chinesischen Vorkommen wird der Blick auch immer stärker auf innovative Recyclingverfahren zur Rückgewinnung von SE-Metallen, die Überführung in geschlossene Rohstoffkreisläufe und dem Aufbau einer Kreislaufwirtschaft gelenkt. Bislang wird dieses Potenzial jedoch kaum ausgeschöpft und die Rückgewinnungsquoten der wertvollen Magnetwerkstoffe sind noch marginal.

Dies liegt auch darin begründet, dass noch keine wirtschaftlich, technologisch und ökologisch tragfähigen Lösungen im industriellen Maßstab zur Rückgewinnung existieren, um eine effiziente Rückführung als Sekundärrohstoffe in die Elektromotorenfertigung zu ermöglichen. Im Gegensatz zu mechanischen Fertigungsverfahren als hochautomatisierte

Universalprozesse sind die erforderlichen Demontevorgänge für Dauermagnetrotoren in der Regel produktspezifische Arbeiten und damit vorwiegend Tätigkeiten, für die keine automatisierbaren Prozesse und Betriebsmittel für hohe Stückzahlen verfügbar sind. Eine manuelle Separierung der Elektromotormaterialien ist jedoch am Hochlohnstandort Deutschland wirtschaftlich nicht realisierbar und wird demzufolge in der Regel nicht praktiziert. Zur Unterstützung bei der Rückgewinnung wertvoller Elektromotormaterialien ist daher die Entwicklung automatisierter Prozessketten erforderlich.

Im Rahmen des BMBF-Projekts MORE (Motor Recycling) innerhalb des Themenfelds „Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität“ (STROM) beteiligt sich die Forschungsgruppe Elektromaschinenbau (E|Drive-Center) des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) an der Entwicklung von Verfahren zur Verwertung der Permanentmagnete und insbesondere der darin enthaltenen SE-Metalle (Abb. 2). ■

### Ressourcenschonende Wertschöpfungsketten für Hochleistungsmagnete

Neben dem wirtschaftlichen Recycling rückt auch der Umgang mit den werthaltigen Magnetmaterialien im Rahmen einer anzustrebenden materialeffizienten Produktion in den Fokus. Die erforderlichen Montageprozesse für Dauermagnetrotoren erfolgen gerade bei geringen Stückzahlen bzw. einer hohen Produktvarianz in der Regel noch manuell, was regelmäßig signifikante Ausschussraten zur Folge hat. Diese Problematik wird zusätzlich durch den Trend speziell auf Produkte und Funktion angepasste Materialkompositionen und -formen der Magnete zu verwenden verschärft.

Hierzu werden im E|Drive-Center des Lehrstuhls FAPS ressourcenschonende Wertschöpfungsketten für Hochleistungsmagnete entwickelt. Dabei wird die gesamte Wertschöpfungskette des spröden Magnetmaterials von der Anlieferung bis zur Endprüfung der Magneten im Rotor adressiert. Dies beinhaltet prozessstabile und stückzahlflexible Automatisierungslösungen für die Handhabung und Zuführung, Montage und Fixierung der Magneten



Abb. 2: Ofenstrecke zur thermischen Entmagnetisierung von Hochleistungsmagneten ■



Abb. 3: Magnetooptische Charakterisierung hartmagnetischer Materialien ■

inklusive alternativer Magnetisierungsstrategien. Darüber hinaus werden Verfahren zur „In-Line“ Qualitätssicherung, bspw. basierend

auf innovativen magnetooptischen Verfahren, zur gezielten Charakterisierung und Fehlerdetektion entwickelt und erprobt (Abb. 3). ■

**Autoren:**



Dipl.-Ing.  
Tobias Klier

Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik



Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Florian Risch

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Fürther Str. 246b  
D-90429 Nürnberg  
Tel.: +49 911 5302-9062  
Fax: +49 911 5302-9070  
tobias.klier@faps.uni-erlangen.de  
www.faps.uni-erlangen.de

**PROTO**  
*SOFT*

**Unsere Erfahrung ist Ihr Vorsprung!**

	<p>Die ProtoSoft AG hat mehrjährige Erfahrung im Entwurf von komplexen Softwarearchitekturen, der effizienten Realisierung und der Sicherstellung des Produktivbetriebs. Durch den Einsatz moderner Technologien (CASE-Tools - J2EE) erzielen wir ein hohes Mass an Flexibilität der Software und reduzieren Ihre Kosten auf ein Minimum.</p> <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>Softwareentwicklung</b></p>	<p>Ansprechpartner: Jörg Glissmann</p>
	<p>Wichtige Voraussetzung für ein erfolgreiches Unternehmen ist ein IT-Umfeld, das die Geschäftsprozesse unterstützt, ohne Sie einzuschränken. Durch den Einsatz modernster Informationssysteme tragen wir zu einer Erhöhung der Schlagkraft Ihres Unternehmens maßgeblich bei.</p> <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>IT-Consulting</b></p>	<p>Ansprechpartner: Christian Heldwein</p>
	<p>Wir kennen aus eigener Erfahrung sowohl die Sorgen und Nöte Ihrer Entwickler als auch die Rahmenbedingungen, unter denen Sie als Projektleiter Entscheidungen treffen müssen. Nutzen Sie unser Know-how, damit Ihr Projekt termingerecht und im vorgesehenen Kostenrahmen zum Erfolg wird.</p> <p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>Projektmanagement</b></p>	<p>Ansprechpartner: Michael Hojnacki</p>

www.protosoft.de

# Neue Werkstoffe für die Elektromobilität erfordern angepasste Füge- und Trennverfahren

Der Trend in der Automobilindustrie geht in zunehmendem Maße in Richtung Elektrifizierung der Antriebe. Während Fahrzeuge, welche rein elektrisch fahren, noch keinen breiten Eingang in die Produktpaletten der Automobilhersteller gefunden haben, existiert bereits eine gewisse Bandbreite an Hybridfahrzeugen, welche in größeren Serien produziert werden. Eine besondere Herausforderung der Elektromobilität besteht in der Automatisierung der Herstellung. Dies fordert nicht nur von den OEM, sondern auch bei den Anlagenherstellern und Zulieferern die Entwicklung neuer Anlagen sowie Fertigungsprozesse. Das Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München hat in den letzten Jahren im Rahmen von zahlreichen Projekten neue Prozesse und Verfahren mit maßgeschneiderten Lösungen für die Elektromobilität entwickelt. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Füge- und Trennverfahren für die Werkstoffe und Werkstoffkombinationen, welche für Hochvolt-Speicher und elektrische Antriebe eingesetzt werden. Im Folgenden werden einzelne Fertigungsschritte, die dabei gegebenen Herausforderungen und die entwickelten Lösungen zur Produktion von Lithium-Ionen-Hochvolt-Speichern vorgestellt. Hierzu zählen der Beschnitt von beschichteten Elektrodenfolien, das Kontaktieren von mehreren Zellen zu Batteriemodulen, das druckdichte Verschweißen von Aluminium-Kühlplatten sowie

das Fügen von Aluminium und thermoplastischen glasfaserverstärkten Kunststoffen für die Hülle des Hochvolt-Speichers. ■

## Laserstrahlschneiden in der Batterieproduktion – flexibler Beschnitt von Elektrodenfolien

Im Rahmen der vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben ProLIZ und ExZellTUM wird die automatisierte Produktion von Lithium-Ionen-Zellen am iwb in einer industrienahen Produktionsanlage erforscht. Hierzu müssen unter anderem Elektrodenfolien automatisiert zugeschnitten werden. Konventionelle Verfahren, wie beispielsweise das Scherschneiden und das Stanzen, weisen vor allem durch den Werkzeugverschleiß und die daraus resultierende kontinuierliche Abnahme der Schnittkantenqualität bis zum Standende Nachteile auf.

Zudem sind die Verfahren aufgrund der Werkzeuge geometriegebunden und somit unflexibel. Das Remote-Laserstrahltrennen stellt in diesem Zusammenhang ein alternatives Verfahren zum Konfektionieren von

Elektrodenfolien dar (Abb. 1). Es handelt sich bei diesem um ein kontaktloses und somit verschleißfreies Verfahren, mit dem sich beliebige Zellformen fertigen lassen. Die Laserstrahlung verdampft das Elektrodenmaterial entlang der Schnittlinie und ermöglicht einen lokal definierten Materialabtrag. Besondere Vorteile liegen in der hohen Schneidgeschwindigkeit, in der Verschleißfreiheit und in den gratfreien Schnittkanten. Herausforderungen für diesen Prozess ergeben sich unter anderem durch die unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften der einzelnen Bestandteile einer Elektrodenfolie. So verdampft die Beschichtung bereits bei einem deutlich geringeren Energieeintrag als das metallische Trägermaterial. Durch die auf diese Weise entstehende Entschichtung der Metallfolie kann es zu Kurzschlüssen innerhalb der Batteriezelle kommen. Für eine gute Schnittkantenqualität ist daher eine geeignete Prozessführung im Hinblick auf den zeitlichen und räumlichen Energieeintrag entscheidend. Der Trend, immer dickere Beschichtungen zu produzieren, um

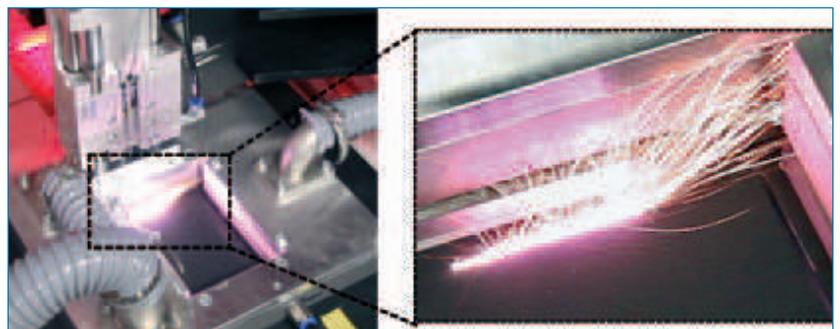


Abb. 1: Laserstrahlschneiden von Elektrodenfolien. ■

die spezifische Energie einer Batteriezelle zu steigern, vergrößert auch die Herausforderungen beim Beschnitt der Elektroden. Beim Trennen dieses Materials muss mehr Energie aufgewendet werden, was zu einer größeren thermischen Schädigung entlang der Schnittkante führen kann. Gleichzeitig kann eine Beschädigung auch durch die beim Trennvorgang entstehenden Partikel, welche sich auf der Elektrodenoberfläche absetzen können, entstehen. Forschungsschwerpunkt ist daher die Quantifizierung des Einflusses dieser Effekte auf die Qualitätsmerkmale der fertigen Zelle mit dem Ziel, die Qualität zu maximieren. ■

### Kontaktierung von Batteriemodulen

Für den Einsatz in elektrifizierten Fahrzeugen werden mehrere Batteriezellen zu einem Modul verschalten. Aufgrund der Vielzahl an Zellen in einem Modul spielt die Verbindungstechnik der einzelnen Zellen eine zentrale Rolle. Das iwb untersucht dabei Fügeverfahren zur Kontaktierung der Lithium-Ionen-Zellen, die den hohen Anforderungen für den Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen entsprechen. Im Rahmen eines Technologiescreenings wurden unterschiedliche Verfahren bezüglich ihrer Eignung für das Fügen der elektrischen Kontakte miteinander verglichen. Als das

geeignetste Verfahren wurde das Laserstrahlschweißen identifiziert, durch welches sich aufgrund der stoffschlüssigen Verbindung gute elektrische Eigenschaften und niedrige Übergangswiderstände ergeben. Mit Hilfe einer Scanneroptik können die Batteriezellen berührungslos verschweißt werden. Zudem bietet dieses Verfahren die Möglichkeit, die Geometrie der Schweißnähte frei einzustellen. Um die Batteriezellen während des Fügevorgangs nicht thermisch zu schädigen, ist es notwendig, die Schweißnahtlänge und somit den Anbindungsquerschnitt zu minimieren. Das iwb entwickelte eine Methode, bei der ein genetischer Algorithmus, gekoppelt mit einer thermoelektrischen FEM-Simulation, in Optimierungsschleifen die Geometrie der Schweißnaht berechnet. Somit kann trotz geringen Anbindungsquerschnitts eine hohe Leitfähigkeit der Verbindung erreicht werden. Am Beispiel eines Batteriemoduls mit acht Lithium-Ionen-Zellen wurde die Methode erprobt und die ermittelten Schweißnahtgeometrien konnten erfolgreich bei der Kontaktierung umgesetzt werden. *Abb. 2* zeigt ein kontaktiertes Batteriemodul mit elektrisch optimierter Schweißnahtgeometrie. Die Prozesszeit beträgt lediglich 0,9 Sekunden pro

Kontakt. Fertigungszeiten von weniger als einer Minute pro Batteriemodul können somit leicht eingehalten werden. Damit stellt das Fügeverfahren Laserstrahlschweißen eine ausgezeichnete Lösung dar, um elektrische Verbindungen mit höchster Leitfähigkeit in Serienproduktion herzustellen. ■

### Rührreibschweißen von Kühlplatten für Hochvoltpeicher

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens „eProduction“ wird am iwb das Rührreibschweißen (engl. Friction Stir Welding – FSW) als neuartiges Verfahren zum Fügen von Kühlsystemen für Hochvoltpeicher qualifiziert. Das betrachtete Kühlkonzept sieht eine maximal 5 mm dicke Kühlplatte aus Aluminium unterhalb des Batteriemoduls vor. Als integrale Komponente der Batterie muss die Kühlplatte neben der Anforderung einer Dichtigkeit bis 3 bar Innendruck auch Crashanforderungen genügen. Im Gegensatz zu konventionellen Schmelzschweißverfahren können diese Anforderungen mit dem Verfahren FSW vollständig erfüllt werden. Da während des Prozesses keine schmelzflüssige Phase vorhanden ist, werden Poren und Heißrisse vermieden, welche die Dichtigkeit der Fügeverbindung herabsetzen könnten. Durch die Prozesscharakteristik des FSW wird die Duktilität des Grundwerkstoffs auch in der Fügezone erhalten. Somit können die FSW-Schweißnähte im Crashfall im Vergleich zu Schmelzschweißnähten mehr Verformungsenergie absorbieren und bleiben bis zu einem höheren Deformationsgrad dicht. *Abb. 3* zeigt eine mit dem DeltaN-Verfahren (FSW mit stationärer Schulter) gefügte Kühlplatte. Wie anhand des Querschliffs zu erkennen ist, sind die Nähte absolut dicht und porenfrei. ■

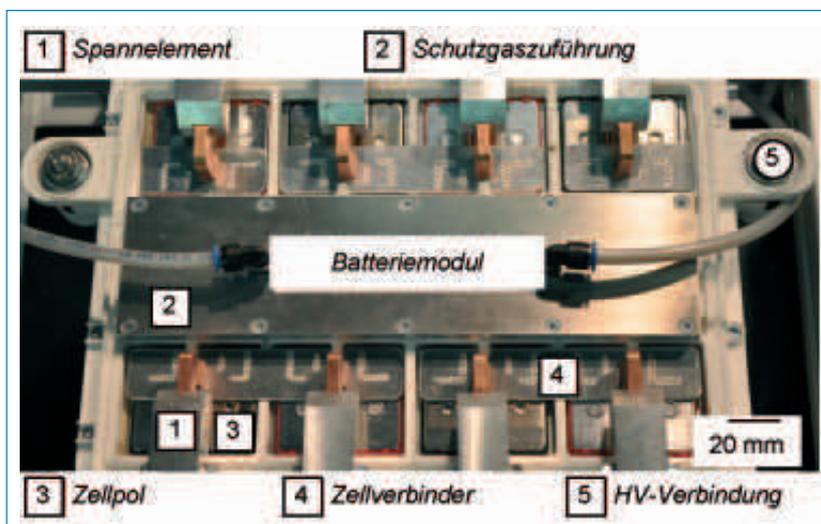


Abb. 2: Batteriemodul mit acht Lithium-Ionen-Zellen und elektrisch optimierter Schweißnahtgeometrie. ■

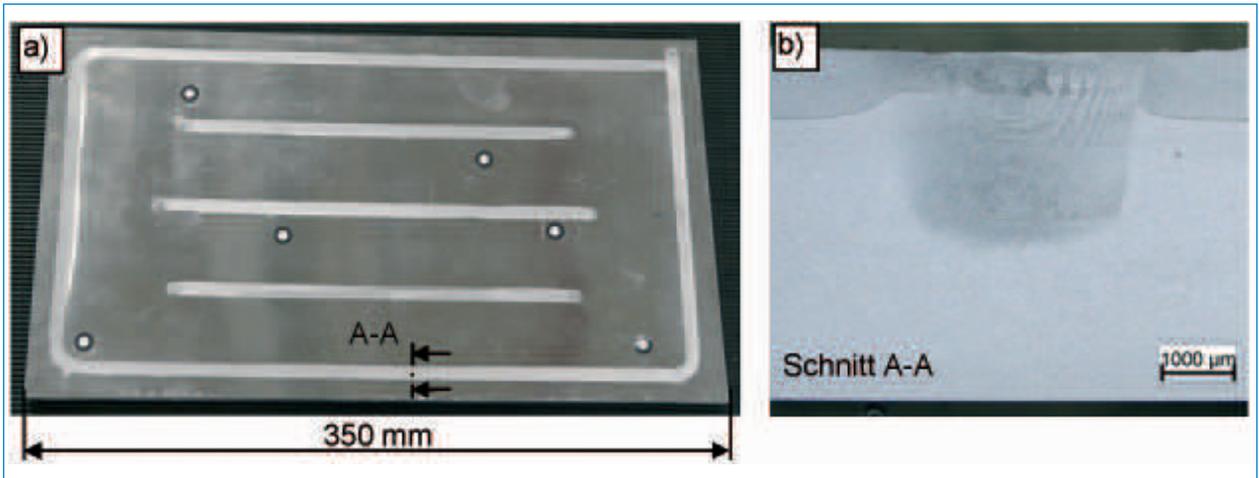


Abb. 3: FSW-gefügte Kühlplatte – DeltaN-Verfahren mit stationärer Schulter (a); Querschliff (b) ■

### Laserstrahlfügen von thermoplastischen faserverstärkten Kunststoffen mit Metallen

Als Werkstoff für die Hülle des HochvoltSpeichers bieten sich thermoplastische, faserverstärkte Kunststoffe an. Diese zeichnen sich insbesondere durch ihre flexible Formgebung und ihre hohe spezifische Steifigkeit aus. Somit eignen sie sich, um strukturellen Leichtbau auch beim HochvoltSpeicher konsequent einzusetzen. Das Polymer muss an mehreren Stellen mit Bauteilen aus Aluminium verbunden werden. Hierfür wird üblicherweise auf die Verfahren Kleben, Nieten oder Schrauben zurückgegriffen. Diese Verfahren weisen mehrere Nachteile auf. Zum einen erfordern sie einen hohen Vorbereitungsaufwand und zum anderen genügen

sie bezüglich Taktzeit und Flexibilität häufig nicht den Anforderungen der Automobilindustrie. Das iwv untersucht aus diesem Grund die beiden laserbasierte Fügeverfahren Laserdurchstrahl-schweißen sowie Wärmeleitungsschweißen zum Fügen von Aluminium mit (faserverstärkten) Kunststoffen, siehe Abb. 4. Bei diesen Verfahren entsteht eine stoffschlüssige oder formschlüssige Verbindung, indem die Kunststoffmatrix aufgeschmolzen wird und unter Druck an dem metallischen Fügepartner abkühlt. Der Laser eignet sich in besonderer Weise zur Wärmebringung, da er eine sehr definierte Energiedeposition auf der Bauteiloberfläche ermöglicht. Das Laserdurchstrahl-schweißen ist dadurch charakterisiert, dass die Laserstrahlung auf der Kunststoffseite einkoppelt

und die Metall-Kunststoff-Grenzfläche in der Folge erwärmt wird, bis die Kunststoffmatrix schmilzt. Hierfür muss der Kunststoff transmittierend für das Laserlicht sein, was speziell bei faserverstärkten Kunststoffen nicht mehr gewährleistet werden kann. Das Wärmeleitungsschweißen hingegen kann unabhängig von der Faserverstärkung eingesetzt werden, da hier die Energie metallseitig eingekoppelt wird und durch Wärmeleitung an die Metall-Kunststoff-Schnittstelle gelangt. Zur Verspannung der Bauteile eignen sich bei beiden Verfahren sowohl Masken als auch Gläser, die für das Laserlicht transparent sind.

Eine Grundvoraussetzung für eine hohe Festigkeit der Kunststoff-Metall-Verbindung ist die Oberflächenvorbehandlung des me-

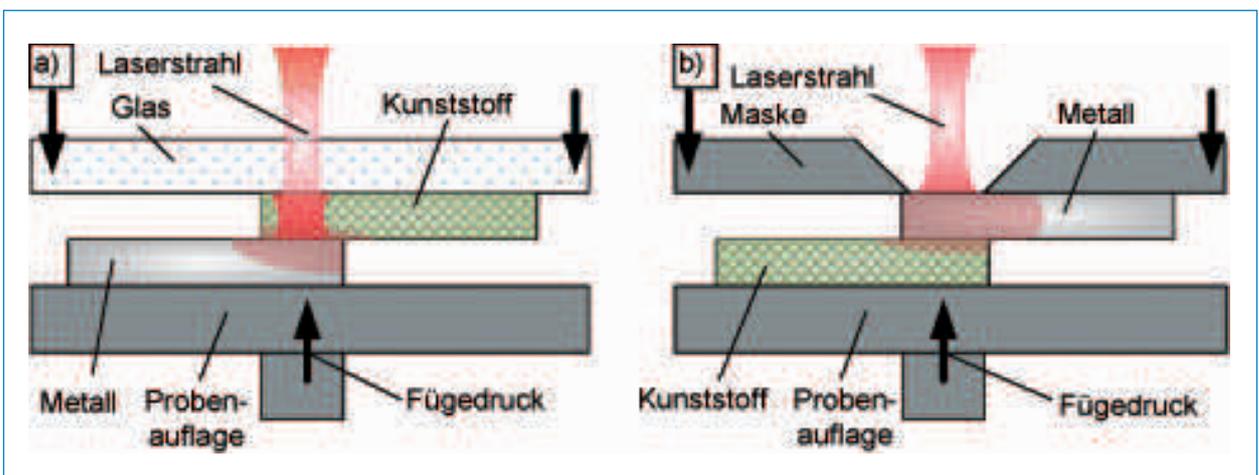


Abb. 4: Laserdurchstrahl-schweißen (a) und Wärmeleitungsschweißen mittels Laserstrahlung (b) ■

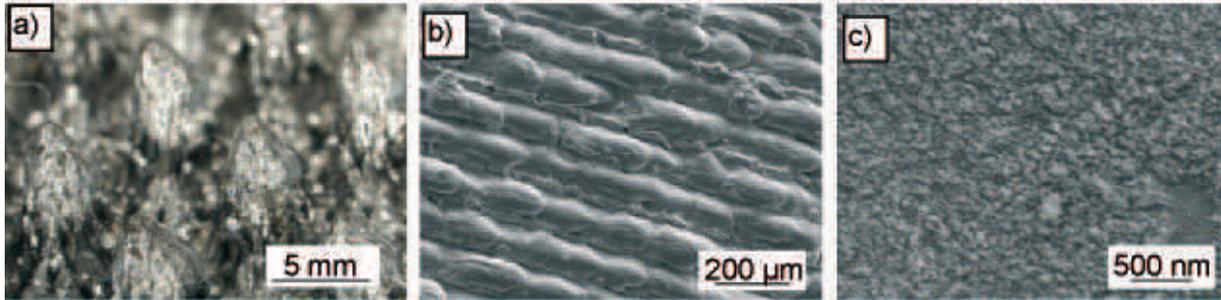


Abb. 5: Mittels Laserstrahlung erzeugte Oberflächenstrukturen: Makroskopische Struktur (a); mikroskopische Struktur (b); nanoskopische Struktur (c) ■

tallischen Fügepartnern. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass durch die Vorbehandlung mittels Laserstrahlung höhere Fügefestigkeiten als mit konventioneller Oberflächenvorbehandlungen erreicht werden. Die Laservorbehandlung zeichnet sich zusätzlich dadurch aus, dass keine giftigen Chemikalien eingesetzt werden sowie flexible Topographien erzeugbar sind. Die herstellbaren Strukturhöhen sind vielfältig und reichen von millimeterhohen makroskopischen Strukturen bis hin zu Strukturen im Nanometerbereich. Das iwb untersucht die vielversprechendsten Oberflächenstrukturen (Abb. 5) hinsichtlich der Industrialisierbarkeit sowie der erreichbaren mechanischen Festigkeiten mit verschiedenen kurz- bis endlosfaserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen. Es zeigt sich, dass durch das thermische Fügen hohe Zugfestigkeiten von bis zu 42 MPa erreicht werden können. Die Verbindungsfestigkeit ist wiederum abhängig von der eingesetzten Oberflächenstruktur sowie der Art und Zusammensetzung des Kunststoffes. ■

### Zusammenfassung

Durch die neuen Werkstoffe und Materialkombinationen, welche in der Elektromobilität eingesetzt werden, entstehen neue Herausforderungen an die Produktionstechnik und insbesondere an die Füge- und die Trenntechnik. Am iwb werden aus diesem Grund in einer Reihe von unterschiedlichen Forschungsprojekten flexible Verfahren entwickelt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. ■

### Danksagung / Förderung

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten folgender Projekte, für deren Förderung sich die Autoren bedanken:

Flexibler Beschnitt von Elektrodenfolien  
Forschungsprojekte ProLIZ und ExZellTUM, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Kontaktierung von Batteriemodulen und Rührreischweißen von Kühlplatten für Hochvoltspeicher

Forschungsprojekt eProduction, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

### Autoren:



Dipl.-Ing.  
Alexander Fuchs



Prof. Dr.-Ing.  
Michael F. Zäh

### Mitwirkende Autoren:

M.Sc. André Heckert  
Dipl.-Ing. Andreas Roth  
Dipl.-Ing. Philipp Schmidt  
M.Sc. Patrick Schmitz

### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Alexander Fuchs  
Institut für Werkzeugmaschinen  
und Betriebswissenschaften (iwb)  
Technische Universität München

Boltzmannstr. 15  
85748 Garching  
Tel.: 089/289-15537  
Fax: 089/289-15555  
Email: Alexander.Fuchs@iwb.tum.de  
<http://www.iwb.tum.de>

**Unser neues Domizil – am Fuße des O<sup>2</sup>-Towers gegenüber dem Olympia-Stadion – dort sind wir zuhause.**



**media mind GmbH & Co. KG**  
Hans-Bunte-Str. 5 · 80992 München  
Tel.: 089/23 55 57-3 · Fax: 089/23 55 57-47  
mail@media-mind.info · www.media-mind.info



# Carbon Composites – Leichtbau für die Elektromobilität

*Faserverstärkte Kunststoffe (FVK), insbesondere mit belastungsgerechter Carbonfaserverstärkung (CFK) bieten von allen Werkstoffsystemen das höchste Leichtbaupotenzial verbunden mit vielfältigen zusätzlichen Funktionalitäten. 25% Gewichtseinsparung gegenüber Aluminium und 60% gegenüber Stahl wurden in vielen Anwendungsbeispielen nachgewiesen. Die Herausforderung besteht nun in der Industrialisierung der Technologie für einen Einsatz in den automobilen Großserien.*

Sie bestehen aus Verstärkungsfasern (hauptsächlich Glas oder Carbon), die möglichst belastungsgerecht in eine Matrix eingebettet werden. Hierbei kommen duromere oder thermoplastische Systeme zum Einsatz. Die Eigenschaften und die Orientierung der Fasern sind insbesondere für die mechanischen Eigenschaften, die Matrix für die Temperatur- und Medienbeständigkeit zuständig. Da der Werkstoff quasi erst während der Bauteilfertigung entsteht, sind die Zusammenhänge sehr komplex und das Zusammenspiel zwischen Faser, Matrix und Prozesstechnik bestimmt letztendlich über die Leistungsfähigkeit der Struktur. Die Eigenschaften unterscheiden sich ganz grundsätzlich von denen der metallischen Werkstoffe. So können die Eigenschaften in Abhängigkeit von der Faserorientierung richtungsabhängig eingestellt werden (Anisotropie), außerdem weisen sie keine plastische Verformung und nur eine geringe Bruchdehnung auf. *Abbildung 1* zeigt einen Vergleich des gewichtsspezifischen Energieaufnahmevermögens verschiedener Werkstoffe. Bei einer entsprechenden Gestaltung erreichen Carbonfaserverstärkte Kunststoffe Werte von über 100 kJ/kg –

metallische Werkstoffe liegen bei 20 bis 25 kJ/kg.

Im Flugzeugbau und bei Nischenfahrzeugen kommen Verbundwerkstoffe schon seit vielen Jahren zum Einsatz. Bei den in diesen Anwendungsbereichen kleinen Stückzahlen sind auch die vergleichsweise geringen Werkzeugkosten von großem Vorteil. Airbus setzt beispielsweise schon seit den siebziger Jahren auf CFK für Strukturbauteile. Erste Erfahrungen sammelte man zunächst mit dem Seitenleitwerk des A300. Aktuelle Flugzeuge, wie der A350 erreichen mit CFK-Rumpf und -Flügel einen Faserverbundanteil von über 50%.

Der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen im Fahrzeugbau und Rennsport hat ebenfalls schon eine sehr lange Tradition. Einer der Vorreiter war Lotus. Durch den konsequenten Einsatz von Faserverstärkten Kunststoffen (damals noch mit Glasfasern) schon in den sechziger Jahren konnten die Fahrzeuge sowohl im Straßen- als auch im Rennsport Einsatz durch das überragende Handling große Erfolge auch gegenüber viel höher motorisierten Konkurrenten erzielen. Diese Tradition wird heute z.B. von Ferrari, Lamborghini, Porsche und McLaren weiter geführt.

Heute freilich mit dem konsequenten Einsatz von Carbonfasern.

Die Hauptmotivation für den Einsatz von FVK im Fahrzeugbau besteht jedoch neben dem Gewichtseinsparpotenzial in den guten Ermüdungseigenschaften, der geometrischen Gestaltungsfreiheit im Zusammenspiel mit einem hohen Integrationsgrad sowie der Korrosionsbeständigkeit. Bei Elektrofahrzeugen spielt der Leichtbau zur Kompensation des Batteriegewichts bzw. zur Steigerung der Reichweite eine besondere Rolle. Man ist hier auch bereit, wesentlich mehr für den Leichtbau zu investieren. Während man bei herkömmlichen Fahrzeugen nicht mehr als 5 Euro pro eingespartem Kilogramm ansetzt, kann bei Elektrofahrzeugen mit mehr als 10 Euro gerechnet werden. Große Bedeutung kommt hierbei auch den funktionalen Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen zu, z.B. zur Optimierung des Thermalmanagements durch die guten Isolationsseigenschaften.

Eine Nutzung dieses Leichtbaupotenzials im Großserienautomobilbau scheitert bisher vor allem an den hohen Werkstoff- und Fertigungskosten sowie den viel zu langen Zykluszeiten. Ein wich-

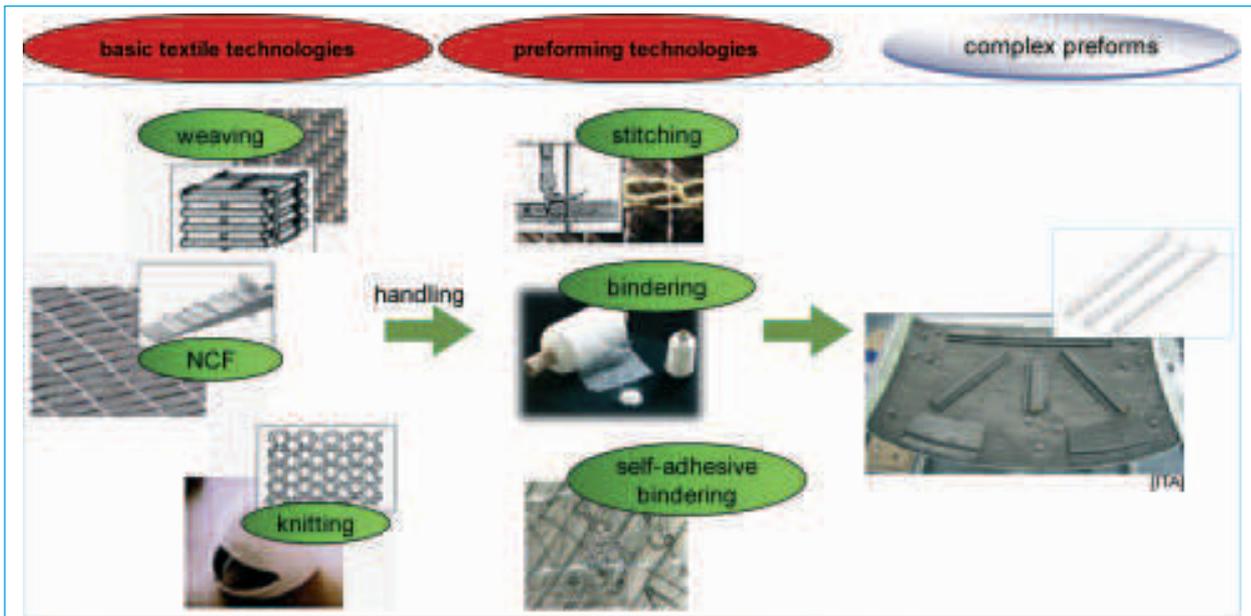


Abb. 1: Textile Vorformlingstechnologien ■

tiges Ziel besteht daher darin, die bisher durch große manuelle Arbeitsanteile geprägte Fertigung zu automatisieren. Eine weitere wichtige Voraussetzung ist jedoch auch, dass die gesamte Entwicklungs- und Prozesskette auf die besonderen Belange der Faserverbundwerkstoffe ausgerichtet ist. Dies beginnt beim optimalen Strukturkonzept und endet bei der Qualitätssicherung.

Hierbei sind verschiedene Einstiegsszenarien denkbar – Hybridisierung von Metall und CFK auf Strukturebene, Hybridisierung auf Bauteilebene sowie Komplett-CFK Karosserien. Die letztgenannte Variante bietet das höchste Leichtbaupotenzial, stellt aber auch das höchste Risiko dar. Die Hybridvarianten ermöglichen die lokal optimale Nutzung von Metallen und Kunststoffen und eine vergleichsweise risikoarme Einführung. Andererseits müssen hierfür Konzepte für die Hybridfügungen entwickelt werden. Ziel muss es in jedem Fall sein, faserverbundgerechte Bauweisen und Konstruktionen zu entwickeln. Mit einer Nachahmung der Metallbauweise („Black-Metal-Design“) kann man das Eigenschaftspotenzial der Verbundwerkstoffe nicht ausnutzen und

keine kostengünstige Fertigung realisieren.

Im Flugzeugbau wurden in den letzten Jahren große Schritte in Richtung einer höheren Automatisierung unternommen, da auch hier der Kostendruck steigt und die Stückzahlen zunehmen.

Beispiele sind Tapelegeroboter für duomere oder thermoplastische Halbzeuge, die eine vielfach höhere Legeleistung gegenüber dem manuellen Legen aufweisen und gleichzeitig eine größere Reichweite haben, was für die Fertigung der Großbauteile für Rumpf- und Flügelstrukturen wichtig ist.

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Einführung der Textiltechnik in Verbindung mit Harzinjektionsverfahren. Diese Technologie bietet neben einem hohen Automatisierungspotenzial auch die Möglichkeit die Verstärkungsfasern belastungsgerecht und endkonturnah in sogenannten Preforms anzuordnen.

Mit Multiaxialgelegten für flächige Strukturen, Geflechtes für Profile und Gesticken für lokale Verstärkungen steht ein „Baukasten“ zur Gestaltung komplexer Bauteile zur Verfügung. Einseitnähetechnologien ermöglichen eine Verbindung der einzelnen Textilstruktu-

ren zur Verbesserung des Handlings oder zur Realisierung einer dreidimensionalen Faserverstärkung. Diese führt zu einer hohen Schadenstoleranz sowie einer hohen strukturellen Integrität bei Schlagbeanspruchung.

Bei allen Fertigungsverfahren kommt dem Einsatz von Low-Cost Carbonfasern mit hohem Titer (50k und höher) große Bedeutung zu, da diese zum einen kostengünstiger sind und zum anderen eine höhere Produktivität mit sich bringen. Um dennoch gute mechanische Eigenschaften zu erzielen, muss auf eine möglichst ondulationsarme, gespreizte Ablage der Rovings im Textilprozess geachtet werden.

In *Abb. 1* ist der Textile „Baukasten“ dargestellt, der die Kombination der verschiedenen Textiltechniken zeigt.

Sehr interessante Entwicklungen werden derzeit auch in den Bereichen Werkstofftechnologie (z.B. Snap-cure Harze), Imprägnier- und Aushärtetechnik (z.B. durch integrierte Mikrowellenprozessierung mit Harzaufbereitung, Injektion und Aushärtung), Thermoplastinjektion und kontinuierliche Pultrusion komplexer Profile verfolgt. Entscheidend für ein Verständnis der Werkstofftechnologie und der



Abb. 2: Roding Integral-RTM-Zelle ■

Prozesstechnik ist die Prozesssimulation von der Werkstoffmodellierung bis zur Aushärtensimulation.

Große Bedeutung kommt auch den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum in-service Verhalten (z.B. Schadenserkennung und Verhalten bei Missbrauchslasten) und dem Recycling zu. Derzeit wird stark auf die Pyrolyse gesetzt, bei der die Matrix als Energielieferant dient und die Fasern wiedergewonnen werden. Ziel ist hierbei eine möglichst geringe Degradation der Fasereigenschaften sowie eine optimale Wiederverwertung im Preformprozess.

Durch eine konsequente Umsetzung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in die industrielle Fertigung ist der Einsatz von Hochleistungsfaserverbund-

werkstoffen im Großserienfahrzeugbau in greifbare Nähe gerückt. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund weiter steigender Systemgewichte durch Hybrid- und Elektroantriebe von großer Bedeutung. Gerade die Elektrofahrzeuge bieten ein sehr interessantes Einstiegsszenario für CFK, da sie durch das neuartige Packaging völlig neue, faserverbundgerechte Strukturkonzepte ermöglichen.

Abb. 2 zeigt exemplarisch die hochintegrierte Fahrgastzelle des Roding-Roadsters.

Bedenkt man andererseits, dass ein Kilogramm Carbonfasern für automobile Anwendungen heute rund 15 Euro kostet gegenüber wenigen Euro bei Stahl, wird die große Herausforderung für einen industriellen Durchbruch deutlich, vor allem, wenn man in Betracht

zieht, dass ein weiterer großer Kostentreiber bei den Prozesskosten liegt.

Aktuelle Forschungsprojekte, z.B. im Spitzencluster MAI-Carbon zielen darauf ab, die Kosten entlang der gesamten Kette zu senken. Faserverbundgerechte Bauweisen, die gerade bei Elektrofahrzeugen ohne die Packaging-Restriktionen von Verbrennungsfahrzeugen möglich sind, automatisierte Prozesse „vom Roving zum Bauteil“ und die energieeffiziente Carbonfaserherstellung sind nur einige Beispiele. Insbesondere die Verwendung thermoplastischer Matrixsysteme verspricht große Fortschritte, auch in den Bereichen „Reparatur“ und „Recycling“.

Somit ist davon auszugehen, dass sich CFK neben Stahl, Aluminium und Magnesium zu einem großserientauglichen Werkstoff für einen intelligenten Mischbau etablieren wird. ■

Autor:



Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Drechsler  
Lehrstuhlleitung

SGL Lehrstuhl für Carbon Composites  
der Technischen Universität  
München (TUM)

Boltzmannstr. 15  
85748 Garching  
Tel.: +49 (0)89 / 289-15087  
Fax: +49 (0)89 / 289-15097  
E-mail: drechsler@lcc.mw.tum.de

**Innovative Carbonfaser-Produkte mit den vielfältigen Möglichkeiten – insbesondere in der Automobilindustrie – bieten neue Anwendungsfelder im Konsumgütermarkt.**

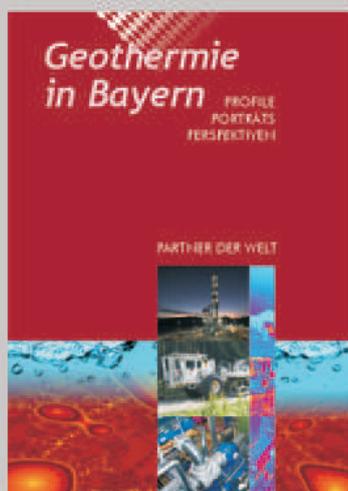
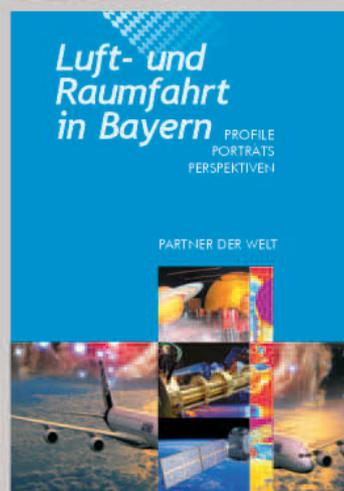
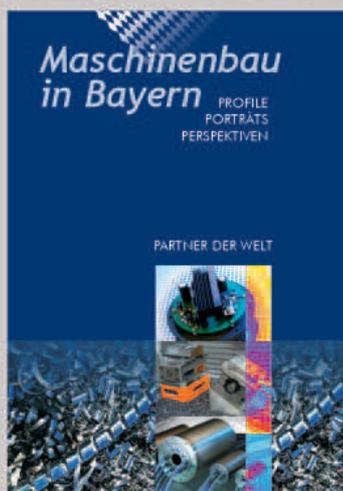
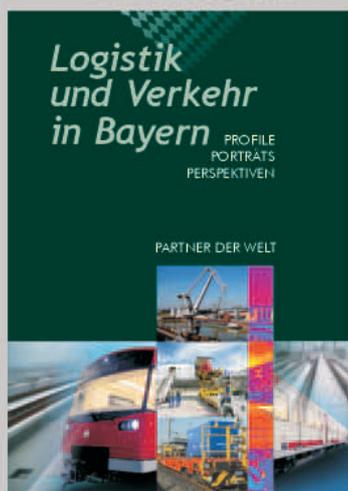
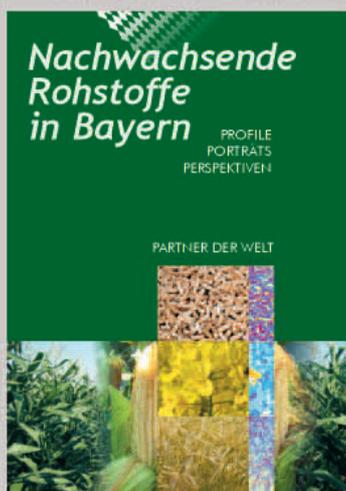
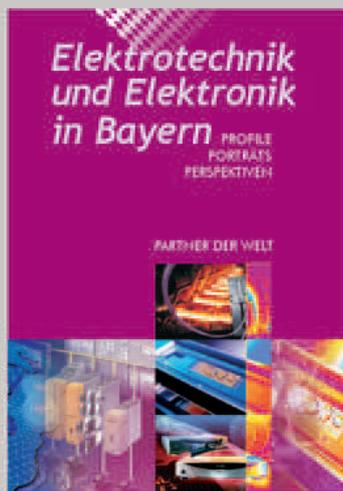
Bei den von der AMU Augsburg in Auftrag gegebenen Imagefilmen zum Thema "Carbon" war Herr Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler beratend und mitwirkend tätig. Die Filme sind einzusehen unter:

[www.mediamindmotion.com](http://www.mediamindmotion.com)

media  
mind  
MOTION

# Magazinreihe

## Zukunftstechnologien in Bayern



# Nonplusultra

Der Audi A6 Avant 2.0 TDI ultra\* mit 4,6 l/100 km.  
Schon eine Idee kann ein Auto effizienter machen. Die Kombination hunderter Ideen wie Audi Leichtbautechnologie, Rekuperation und Start-Stop-System macht den Audi A6 Avant zum ultra – dem effizientesten Auto seiner Klasse. Erfahren Sie mehr auf [www.audi.de/ultra](http://www.audi.de/ultra)  
Audi ultra. Die Summe unserer effizientesten Ideen.



\*Kraftstoffverbrauch in l/100 km: innerorts 5,3; außerorts 4,1;  
kombiniert 4,6; CO<sub>2</sub>-Emissionen in g/km: kombiniert 119.

Audi Vorsprung durch Technik 