

Porsche Engineering

MAGAZIN



KUNDEN & MÄRKTE Besonderheiten des chinesischen Automobilmarktes

PORSCHE HAUTNAH Der neue Cayman GT4 – Rebels, race on

ENGINEERING INSIGHTS Neue Methode für die Messung von Bauteiltemperaturen

AUSGABE 1/2015

www.porsche-engineering.de

Ganzheitliche Fahrzeugentwicklung

ZU ENDE GEDACHT.





**Schön anzusehen,
wenn sich Ideen auf den Weg machen.**

Porsche Engineering
driving technologies



*Dirk Lappe und Malte Radmann,
Geschäftsführer von Porsche Engineering*

Über Porsche Engineering

Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere Kunden durchführen, verpflichtet.

Das Leistungsspektrum von Porsche Engineering reicht von der Konzeption einzelner Komponenten bis hin zur Planung und Durchführung von Gesamtfahrzeugentwicklungen und wird über den Automobilbereich hinaus auch in andere Branchen übertragen.

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

_____ die Dinge stets als Ganzes zu betrachten – das steckt in unseren Genen. Egal ob Einzelbauteil, Komponente oder System, wir stellen nicht nur die Funktion im Einzelnen sicher, sondern sorgen auch für die intelligente Integration ins jeweilige Umfeld. Als Porsche-Entwicklungsdienstleister decken wir alle Leistungsbereiche der Fahrzeugentwicklung ab, betrachten die einzelnen Prozesse stets vollumfänglich inklusive aller vor- und nachgelagerten Schritte und übernehmen darüber hinaus entwicklungsbegleitende Tätigkeiten. Im Rahmen des diesmaligen Fokusthemas erläutern wir Ihnen im Detail unseren ganzheitlichen Ansatz der Fahrzeugentwicklung.

„Rebels, race on.“ So lautet die Kampagne für den neuen Porsche Cayman GT4. Unter eben diesem Titel wird Ihnen der neue GT-Bolide mit eigenständigem Mittelmotorkonzept genauer vorgestellt. Zudem werfen wir zusammen mit zwei Branchenexperten einen Blick auf den chinesischen Automobilmarkt und die zukünftigen Herausforderungen der Fahrzeugentwicklung.

Ganz herzlich möchten wir dem Nardò Technical Center zum 40-jährigen Jubiläum gratulieren! In der Sonderbeilage „40 Jahre zukunftsweisende Erprobungen“ präsentiert sich das Prüf- und Testgelände der Zukunft mit interessanten Artikeln, einer Vielzahl an Bildern von damals und heute und übergibt schließlich das Wort auch an Kunden und Freunde, die ihre persönlichen Erfahrungen und Erlebnisse zum Ausdruck bringen.

Freuen Sie sich auf eine Vielfalt an spannenden Themen – wir wünschen viel Spaß beim Lesen!

Ihr Malte Radmann und Ihr Dirk Lappe



28

SONDERBEILAGE

40 JAHRE ZUKUNTSWEISENDE ERPROBUNGEN IN NARDÒ

Seit der Gründung 1975 hat sich das Nardò Technical Center als Partner für zukunftsweisende Erprobungen und High Performance etabliert.

Google earth
Daten (SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO)
Imagery © 2015 TerraMetrics
Map data © 2015 TerraMetrics

14



20



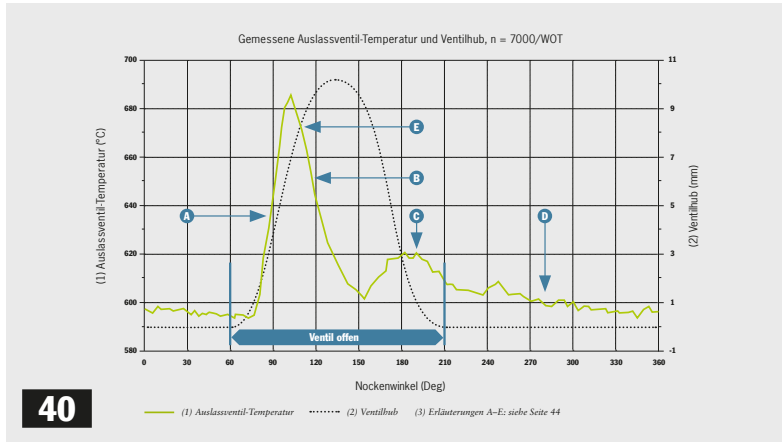
30



34



40



GANZHEITLICHE FAHRZEUGENTWICKLUNG

- 10 Vollumfänglich durchdacht**
Der Produktentstehungsprozess
- 14 Präzise entwickelt**
Eine innovative Fahrwerkskomponente
- 20 Genau berechnet**
Simulation und Berechnung in der Motorenentwicklung
- 24 Optimal entlastet**
Entwicklungsbegleitende Leistungen

KUNDEN & MÄRKTE

- 28 Nardò Technical Center**
40 Jahre zukunftsweisende Erprobungen
Eine Sonderbeilage
- 30 Individuell, vernetzt, effizient**
Besonderheiten des chinesischen Automobilmarktes



PORSCHE HAUTNAH

- 34 Der neue Cayman GT4**
Rebels, race on.

ENGINEERING INSIGHTS

- 40 Optische Messung der Ventiltemperatur**
Neue Methode für die Messung von Bauteiltemperaturen
- 03 Editorial**
- 06 News**
- 27 Impressum**

CAYMAN GT4
Verbrauch
innerorts: 14,8 l/100 km
außerorts: 7,8 l/100 km
kombiniert: 10,3 l/100 km
CO₂-Emission: 238 g/km
Effizienzklasse: G



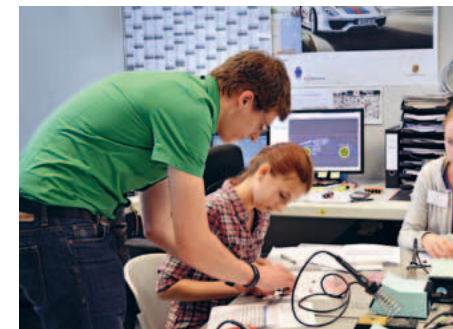
GELUNGENER START

ERÖFFNUNGSFEIER IN SHANGHAI

___ Die Eröffnungszeremonie von Porsche Engineering (Shanghai) Co., Ltd. im Dezember letzten Jahres gestaltete sich als ein gelungener Start für den neuen Standort in China. Zu der feierlichen Veranstaltung hatte die Tochtergesellschaft der Porsche Engineering Group GmbH, Weissach, Gäste aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik eingeladen. Die beiden Geschäftsführer von Porsche Engineering, Malte Radmann und Dirk Lappe, freuten sich über die Glückwünsche von langjährigen Kunden und politischen Vertretern.

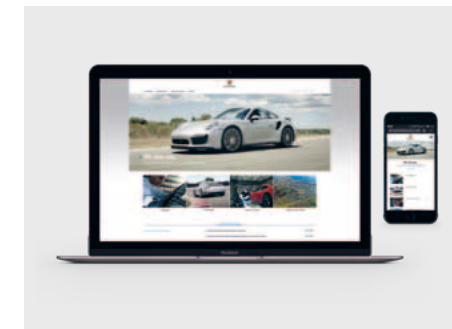
In Bezug auf aktuelle und zukünftige Herausforderungen der Automobilentwicklung versicherte Dirk Lappe, nachhaltige Konzepte anzubieten, die den chinesischen Kundenanforderungen gerecht werden. „Wir entwickeln Lösungen für die Zukunft, für eine Zukunft, auf die wir uns freuen“, so Dirk Lappe in seiner Rede. ■

GIRLS' DAY ERÖFFNET NEUE PERSPEKTIVEN



___ Auch in diesem Jahr konnten interessierte Schülerinnen im Rahmen des bundesweiten Aktionstages „Girls' Day 2015“ bei Porsche Engineering Einblicke in das Berufsbild der Ingenieurin beziehungsweise des Ingenieurs gewinnen. Den insgesamt 22 Mädchen wurden die einzelnen technischen Unternehmensbereiche wie Elektrik/Elektronik, Karosserie, Gesamtfahrzeug, Antrieb und Motor im Detail vorgestellt. Zudem sammelten die Teilnehmerinnen in kleinen Gruppen auch eigene praktische Erfahrungen im technischen Umfeld. So wurden zum Beispiel CAD-Konstruktionen erstellt oder Temperaturmessungen am Thermoprüfstand durchgeführt. Bei einem gemeinsamen Mittagessen konnten sich die Schülerinnen mit den Porsche-Ingenieurinnen und -Ingenieuren über den Berufsalltag als Entwickler austauschen. ■

RELAUNCH DER UNTERNEHMENS-WEBSITE



___ Informativ. Kompakt. Aktuell. So gestaltet sich die neue Unternehmens-Website von Porsche Engineering. Die Seite präsentiert das umfassende Leistungsangebot klar strukturiert und im Detail und vermittelt dabei Eindrücke aus der Unternehmens- und Arbeitswelt eines international agierenden Entwicklungsdienstleisters. Die Website ist für mobile Endgeräte optimiert und wurde an aktuelle Surfgewohnheiten angepasst. Durch eine klare Designsprache und die schlanke Struktur stehen relevante Informationen übersichtlich und kompakt zur Verfügung. ■



www.porsche-engineering.de

PORSCHE ÜBERNIMMT KLIMAWINDKANAL



___ Mit dem Erwerb eines speziell für die Bereiche Kühlung, Klimatisierung, Sicherheit und Emissionen ausgerichteten Klimawindkanals von der Modine Europe GmbH in Filderstadt-Bonlanden ergänzt der Sportwagenhersteller Porsche seine vorhandenen Entwicklungskapazitäten. Die Anlage wird durch Porsche Engineering auch weiterhin anderen Fahrzeugherstellern und Zulieferern für Entwicklungsprojekte zur Nutzung angeboten. Durch die räumliche Nähe des Klimawindkanals zum Porsche-Entwicklungszentrum in Weissach wird die effiziente Entwicklung anspruchsvoller Projekte verstärkt. Die Übernahme ist Bestandteil eines Investitionspakets, mit dem Porsche seinen Entwicklungsstandort zukunftsfähig macht. Die modern ausgestattete Anlage ist für alle Fahrzeugvarianten, vom Sportwagen bis zum Nutzfahrzeug, geeignet. ■

GANZHEITLICHE FAHRZEUGENTWICKLUNG

___ Weniger ist mehr. Mit drei Worten lässt sich die Aufgabe beschreiben, der sich die Automobilindustrie heute stellt und an der sie mit Hochdruck arbeitet. Weniger Verbrauch, weniger Emissionen, weniger Gewicht. Aber mehr Leistung, mehr Vielfalt, mehr Kundennutzen. Und all dies in immer kürzeren Produktzyklen und bei Anforderungen und Zielkonflikten, die sich nur mit neuen Ideen, besseren Technolo-

gien und fundierten Erfahrungen bewältigen lassen. Porsche hat sie. Porsche Engineering als ursprünglicher Kern und integrale Tochtergesellschaft der Porsche AG stellt die entsprechenden OEM-Erfahrungen seinen Kunden zur Verfügung. Fahrzeugentwicklung ist unsere Kernkompetenz: Der minutiöse Fahrplan von der Konzeption und Entwicklung eines neuen Fahrzeugs ist im *Produktentstehungsprozess*

(Seite 10) festgeschrieben. Unsere Ingenieure verknüpfen ihre Erfahrungen mit den Kernprozessen des Kunden zu einem maßgeschneiderten Projekt. Für alle *Leistungsbereiche*: In der Motorenentwicklung gehört zu unseren Spezialitäten etwa der intelligente und zeitsparende Einsatz moderner Simulationswerkzeuge (Seite 20), was dazu beiträgt, Motoren noch effizienter auszulegen. Neue Wege im Hybrid-Leichtbau

weist ein Querträger (Seite 14), der für die spezifischen Anforderungen eines Forschungsfahrzeugs mit Elektromotor entwickelt wurde und weniger Gewicht mit mehr Steifigkeit verbindet. Flankierend bietet Porsche Engineering darüber hinaus *entwicklungsbegleitende Leistungen* an, die den Auftraggeber von immer komplexeren peripheren Aufgaben entlastet (Seite 24).

PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS

Konzept & Styling ▶ Konstruktion ▶ Berechnung & Simulation ▶ Testing ▶ Industrialisierung

LEISTUNGSBEREICHE

- Gesamtfahrzeug
- Karosserie
- Elektrik/Elektronik
- Fahrwerk
- Antrieb



ENTWICKLUNGSBEGLEITENDE TÄTIGKEITEN

Projektmanagement, Beschaffung und Lieferantenmanagement, Produktionsmanagement, FMEA und funktionale Sicherheit, Vertriebs- und After-Sales-Planung, Toleranzmanagement,

Logistikplanung, Anlaufmanagement und Serienbetreuung, Änderungsmanagement, Gewichtsmanagement, Informationssysteme, gesetzliche Vorgaben, Freigabe

Vollumfänglich durchdacht

Der Produktentstehungsprozess

Von Steffen Rudert und Jens Trumpfheller

Die Grundlagen für den Erfolg eines Produktes werden im Produktentstehungsprozess (PEP) gelegt. Er umfasst alle Phasen der Entwicklung und beschreibt die Kernprozesse, um ein Produkt termin-, qualitäts- und kostengerecht am Markt zu platzieren.

Porsche Engineering stellt die Prozesskenntnisse und Erfahrungen aus der Sportwagen-Serienentwicklung für unterschiedlichste Anforderungen der Automobilindustrie und darüber hinaus zur Verfügung. Mit dieser Erfahrung werden bei jeder Entwicklung angrenzende PEP-Phasen berücksichtigt. Porsche Engineering kann sowohl den vollständigen Produktentstehungsprozess abdecken oder entlang von kundenspezifischen PEPs entwickeln als auch jene ergänzen oder gar vollständig neu aufsetzen.

Der Produktentstehungsprozess (PEP) ist ein lebendes Konstrukt und stets das Ergebnis kontinuierlichen Lernens und Weiterentwickelns aufgrund bekannter und neuer Herausforderungen. Die hohe Marktorientierung von Automobilherstellern (OEMs – Original Equipment Manufacturers) und infolgedessen die immer schnellere Reaktionsgeschwindigkeit lassen die Entwicklungszeiten ständig weiter schrumpfen. Weiterhin führt ein wachsender Individualisierungsgrad in Verbindung mit einem prägnanten Qualitätsanspruch zu hoher technischer Komplexität. Außerdem muss der PEP die Vernetzung von internen mit externen Ressourcen bereits in der Entwicklungsphase sicherstellen und Entwicklungspartner sowie Systemlieferanten integrieren.

In der Regel verfügt jeder Fahrzeughersteller über seinen eigenen spezifischen PEP, allerdings gibt es gemeinsame Grundzüge, die je nach Philosophie und Gegebenheiten unterschiedlich ausgestaltet sind. Unterschiede können sich beispielsweise in der Länge der Konzeptphase und dem jeweiligen Zeitpunkt einzelner Design-Freeze-Meilensteine niederschlagen.

Grundsätzlich gliedert sich der gesamte Produktentstehungsprozess in Hauptphasen mit dazwischenliegenden Meilensteinen, bekannt als „Quality Gates“. Diese dienen als Synchronisationspunkte dazu, vordefinierte Kriterien zu prüfen, bei deren Erfüllung die Freigabe der vorangegangenen Phase und eine Weiterführung des Projekts erfolgt. Der PEP enthält

Schnittstellen zwischen Entwicklung, Projektmanagement, Qualität, Beschaffung, Produktion und Vertrieb. So bildet der PEP ein detailliertes Vorgehensmodell zur Abbildung des Simultaneous-Engineering-Prozesses und enthält in der Technik den idealtypischen Ablauf einer Fahrzeugentstehung.

Pre-PEP und Produktdefinition

Der Pre-PEP ist dem eigentlichen Produktentstehungsprozess vorgelagert und dient der Konkretisierung der Produktidee sowie der Integration von Vorentwicklungsthemen in das Projekt. Die Eckdaten werden in Form eines Steckbriefes festgehalten und es startet bereits die grobe Bewertung der Machbarkeit sowie die Spezifizierung von Anforderungen. Zusätzlich wird die Positionierung des Produkts im Wettbewerb und in den Zielmärkten vorgenommen. In dieser Phase beginnt das Projektmanagement und stellt Projektorganisation, Grobterminplan und erste Ressourcen- und Budgetplanungen zusammen.

In der Produktdefinition legen die Fachbereiche auf Basis des Steckbriefs ihre Anforderungen an das Produkt fest. Neben dem Ausarbeiten von Styling-Entwürfen laufen in dieser Phase Wettbewerbsanalysen und Konzeptausarbeitungen. Am Ende steht ein Entwurf für das Gesamtfahrzeug inklusive Grobkonzept, unter anderem zu Package, Sicherheit, Fertigungstechnologie sowie Aerodynamikwerten. Somit sind sowohl technische Zielsetzungen als auch wirtschaftliche Rahmendaten definiert.

Die Kernprozesse laufen in den frühen Phasen während des Pre-PEP und der Produktdefinition federführend beim Hersteller. Porsche Engineering kann dazu technische Expertise bereitstellen und Prozesse beratend begleiten. Die Bandbreite reicht von Konzeptstudien über Konzeptbewertungen bis hin zu Benchmark-Untersuchungen. So werden vorhandene Konzepte auf technische Machbarkeit untersucht, Aussagen zu Herstellbarkeit und Fertigungstechnologie getroffen sowie Styling-Empfehlungen abgeleitet. Porsche Engineering unterstützt weiterhin bei der Integration langfristiger Entwicklungstrends in den Konzepten, wie zum Beispiel Downsizing, E-Mobility und Leichtbau, aber auch moderner Assistenzsysteme und Connectivity-Angebote. Zudem können alternative Konzeptvorschläge entwickelt werden.

Oft ist Porsche Engineering bei solchen Vorentwicklungs- und Forschungsprojekten deshalb involviert, weil neue Technologien und dafür notwendige Kompetenzen beim Kunden noch nicht oder nur in begrenztem Umfang vorhanden sind. Die Porsche-Ingenieure bieten hier eine große Bandbreite

an technologischem Know-how und langjähriger Erfahrung im gesamten Fahrzeugspektrum sowie im Non-Automotive-Bereich an.

Konzeptentwicklung und -absicherung

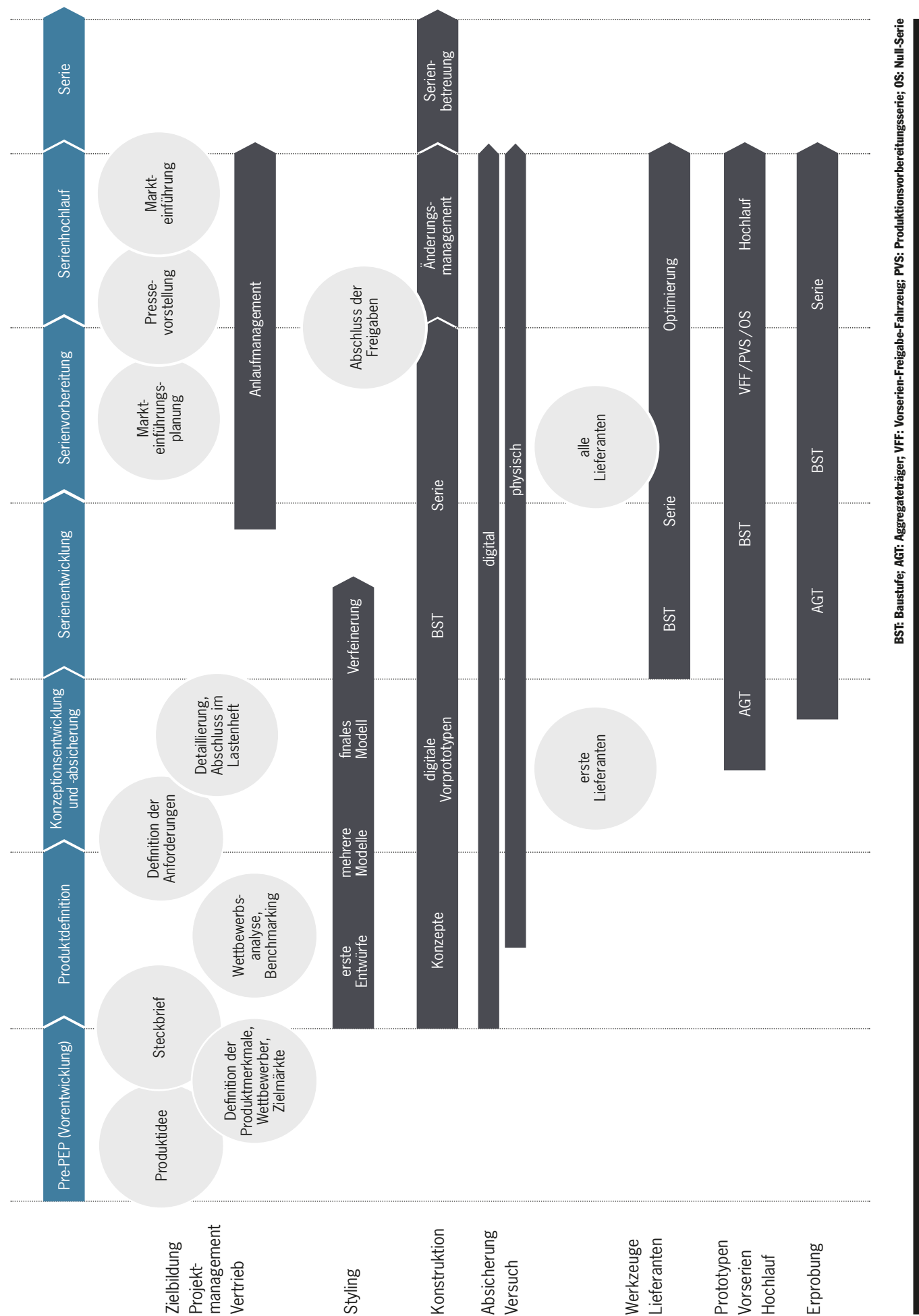
Während der Konzeptentwicklung und -absicherung erfolgt einerseits die Konstruktion und Erstellung digitaler Prototypen, andererseits die Detailplanung mit Abschluss im Lastenheft. Neben der Simulation finden bereits auch erste Erprobungen mit Aggregateträgern (AGT) statt. Nach der Auswahl des finalen Styling-Modells beginnt die Verfeinerung, die bis in die Serienentwicklung betrieben wird. Typische Projektanfragen in dieser PEP-Phase wie auch im Rahmen von Vorentwicklungsprojekten betreffen die Entwicklung und den Aufbau eines Demonstrators oder Prototyps. Den Ausgangspunkt bilden grobe Entwürfe oder Produktsteckbriefe des Kunden. Porsche Engineering übernimmt darauf aufbauend alle Prozesse der Entwicklung – von der Konstruktion über Berechnung und Versuch bis zum Aufbau, Applizieren und Erproben. Zudem sind sämtliche entwicklungsbegleitende Funktionen wie Beschaffung, Logistik und Qualitätsmanagement intern vorhanden und leisten einen wesentlichen Beitrag bei der Projektumsetzung. Darüber hinaus kann Porsche Engineering auf verlässliche Partner zurückgreifen, die auf Prototypen, Klein- und Vorserien spezialisiert sind. Nach der Montage können die Prototypen auf Prüfständen getestet werden.

Bei der Entstehung eines Prototyps laufen viele der PEP-Prozesse in konzertierter Form ab. Porsche Engineering hat hier eigene Prozesse und Systeme entwickelt, um die Entstehung der Prototypen zu begleiten und zu steuern. Das beinhaltet neben Aufbau und Pflege der Stückliste eine mehrstufige Freigabesystematik sowie eine selbst entwickelte Systematik für Prüfpläne. Dabei handelt es sich um kein starres Gebilde, vielmehr kann dieses flexibel an die Kundenwünsche angepasst und bei Bedarf auch mit Kundensystemen verbunden werden.

Serienentwicklung

Zur Serienentwicklung laufen der Aufbau der Prototypen und der Baustufe, die Konstruktion der Serienfahrzeuge sowie der Start der Erprobung parallel. Zum Ende der Phase sind alle Lieferanten ausgewählt und das Anlaufmanagement nimmt seine Arbeit auf, um die nächste Phase vorzubereiten.

Wie in der Konzeptentwicklung, übernimmt Porsche Engineering auch in dieser Phase häufig die Bauteil- und Modulverantwortung. Dabei geht es darum, die Komponenten von



Schematische Darstellung des Produktentstehungsprozesses

der Konzept- über die Musterphase durch die Vorserien bis hin zur Serie zu begleiten. Damit verbunden ist die Betreuung aller Schnittstellen in den unterschiedlichen Entwicklungsbereichen sowie bei Beschaffung, Produktion, Logistik, Qualität und Vertrieb. Darüber hinaus sind auch die notwendigen Kenntnisse aus Prozess- und Verfahrenssicht wie Funktionale Sicherheit (FuSi), FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse) oder Toleranzmanagement vorhanden. Durch die fundierte Kenntnis vieler kundenspezifischer Prozesse und Systeme können sich die Ingenieure von Porsche Engineering ohne Weiteres in übergreifender Rolle in die Entwicklungsorganisation des Kunden integrieren.

Die Bauteilverantwortung kann sich sowohl über ein gesamtes Gewerk – etwa den kompletten Rohbau – als auch über das gesamte Fahrzeug erstrecken. Oder sie ist sehr spezifisch, wie zum Beispiel im Falle der Entwicklung einer Hochvolt-batterie oder des Einsatzes innovativer Materialien (siehe auch „Präzise entwickelt: Hybrid-Querträger aus faserverstärktem Kunststoff“ ab Seite 14). Bei der Erprobung der Baustufe wie auch später bei der Vorserienerprobung bietet das Porsche-Testgelände im süditalienischen Nardò zur Entwicklungskompetenz in Deutschland und Prag sowie seit Ende letzten Jahres am Standort Shanghai die ideale Ergänzung.

Serienvorbereitung und Serienhochlauf

Bei der Serienvorbereitung erfolgt das schrittweise Annähern an den Serienzustand über gestaffelte Vorserien. Mit den ersten Fahrzeugen in Serien- und seriennahen Anlagen stabilisiert nicht nur der Fahrzeughersteller seine Produktions- und Logistikprozesse intern, dieser Prozess findet auch über die gesamte Lieferkette hinweg statt.

Nach Abschluss des Serienhochlaufs ist die eigentliche Entwicklungstätigkeit abgeschlossen, sodass die Projektorganisation sowie sämtliche Entwicklungsteams entlastet sind. Aufkommende Themen übernimmt die Serienbetreuung, die bereits durch die schrittweise Übergabe mit Abschluss der Freigaben während der Vorserien startete.

In den letzten beiden PEP-Phasen gehen die Entwicklungsumfänge zurück und die Kernprozesse laufen dadurch wieder stärker beim Kunden. Porsche Engineering ist hier – neben Weiterführung und Abschluss der Entwicklungspakete aus früheren Phasen – im Rahmen der Industrialisierung aktiv. Die Schwerpunkte liegen im Bereich Beschaffung und Lieferantenmanagement, Qualitätsmanagement, Produktions- und Logistikplanung sowie im Anlaufmanagement. Dabei werden sowohl Bemusterungen durchgeführt, Serienfähig-

keitsnachweise beim Lieferanten geprüft, FMEA-Workshops im Produktionsbereich abgehalten, Betriebsmittel entwickelt, das Änderungsmanagement gesteuert und nach Beginn der Serienproduktion (SOP) die Serienbetreuung übernommen.

Fazit

Porsche Engineering ist mit der Entwicklungsarbeit unter teilweise recht unterschiedlichen Rahmenbedingungen eng vertraut. Detaillierte Prozesse und Vorgaben werden mit hoher technischer Kompetenz oft direkt in den Kundensystemen umgesetzt. Gleichzeitig verfügen die Ingenieure über hohe Flexibilität und Kreativität, um bei weniger genauen Vorgaben eine maßgeschneiderte Lösung sowohl in der Technik als auch im Prozess zu entwickeln. Der Fokus liegt zwar klar auf der Technik, doch bei Bedarf können die Prozesse pragmatisch angepasst werden, um die Projekte erfolgreich ins Ziel zu führen.

Neben der Entwicklung entlang kundenspezifischer PEPs ist also auch die Vervollständigung oder Konzeption von PEPs durch Porsche Engineering möglich. Unabhängig davon, was für eine Entwicklung die Ingenieure in welchem zeitlichen Abschnitt des PEPs vorantreiben, werden stets die vor- und nachgelagerten Prozessschritte berücksichtigt oder entsprechend vollumfänglich mit abgedeckt, um eine reibungslose Integration in die Kundenumgebung zu gewährleisten.

Darüber hinaus entwickelt Porsche Engineering das Know-how kontinuierlich weiter. Der stetige Ausbau der Simulationskompetenz greift die zunehmende Digitalisierung und Virtualisierung im PEP auf. Um Entwicklungs- und Beschaffungskosten durch die Erhöhung von Gleichteilen zu reduzieren, bietet sich die Nutzung von Baukästen und Plattformen an. ■

Präzise entwickelt

Hybrid-Querträger aus faserverstärktem Kunststoff

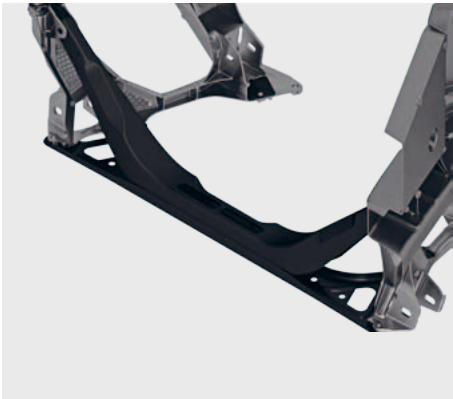
Von Markus Hofmeister und Andreas Tegtmeyer

Leichtbau und die Elektrifizierung des Antriebsstrangs sind wichtige Ziele in der heutigen Fahrzeugentwicklung. In ihrer Kombination stellen sie die Entwicklungsingenieure vor neue Herausforderungen, die nach innovativen Lösungen verlangen. Porsche Engineering setzt dabei auf intelligente Entwicklungsmethoden. Ein Beispiel ist die Entstehung eines strukturversteifenden Fahrwerkbauteils mit Verbundwerkstoffen.

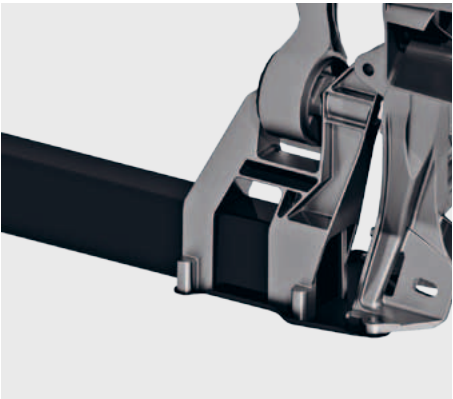
Im Jahr 2012 hat Porsche die Leitung des Forschungsprojekts e-Generation (siehe Info-Box auf Seite 16) mit der Volkswagen-Konzernforschung als beratenden Partner übernommen. Führende deutsche Industrieunternehmen sowie namhafte Universitäten und Forschungsinstitute entwickeln darin eine neue Generation von Komponenten für Elektrofahrzeuge.

Als Plattform für die Integration dieser zukunftsweisenden Bauteile wurde der aktuelle Porsche Boxster ausgewählt, der durch seine Grundstruktur als Mittelmotor-Sportwagen für ein rein elektrisch getriebenes Konzeptfahr-

zeug besonders geeignet ist. Im Zuge der Entwicklung wurden so gut wie alle verbrennungsmotorischen Komponenten entfernt, um Platz für andere Bauteile zu schaffen. Dabei wurde unter anderem ein strukturversteifendes Fahrwerksbauteil im Bereich der Hinterachse neu entwickelt. Aufgabe des zu ersetzenden Referenzbauteils war die Erhöhung der Torsionssteifigkeit des Hinterwagens sowie der Anbindungssteifigkeit des Hinterachsquerlenkers zur Karosserie. Das neu entwickelte Bauteil unterliegt darüber hinaus zusätzlichen Anforderungen: Der entwickelte Hybrid-Querträger aus faserverstärktem Kunststoff (FVK) dient auch



Referenzbauteil



Aufnahme der Aggregatlagerung

der Lagerung des Aggregats der elektrischen Antriebseinheit und übernimmt die Abstützung des Drehmoments.

Die von Porsche Engineering betreute und maßgeblich mitgestaltete Entwicklung dieses Bauteils reicht von der Konzeptphase über die Konstruktion, Optimierung und Simulation bis hin zu Fertigung und Versuch.

Die Entwicklungsmethoden

Bei der Entwicklung des innovativen Querträgers stand neben der Einhaltung der festgelegten Anforderungen ein möglichst geringer Materialeinsatz im Vordergrund. Ebenso wurde von Beginn an die Kostenseite für den Fall der Serienproduktion entsprechend berücksichtigt. Um diese Ziele zu erreichen, setzten die Ingenieure von Porsche Engineering modernste Entwicklungsmethoden zur Formfindung und Materialauswahl ein.

Durch die Wahl des Mittelmotor-Sportwagens Porsche Boxster als Fahrzeugbasis war der nutzbare Bauraum für die Konstruktion und die definierten Krafteinleitungspunkte in die Karosserie bereits vorgegeben. Die Topologieoptimierung innerhalb des Bauraums erlaubte dennoch den Entwurf einer neuen und besonders lastflussgerechten Grundkonstruktion.

Für die virtuelle Absicherung des zu entwickelnden Bauteils wurden, wie auch bei der Optimierung der Topologie, zum Teil spezialisierte Finite Elemente- (FE-) Programme verwendet und die Komponenten von den Entwicklern zusammen mit Softwareexperten berechnet. Zum Einsatz kam hier Software zur linearen Vorauslegung des Bauteils sowie zur Simulation der Spannungen unter der Berücksichtigung von Nichtlinearitäten.

Da die Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen stark von der Orientierung der Faser abhängig sind, müssen diese

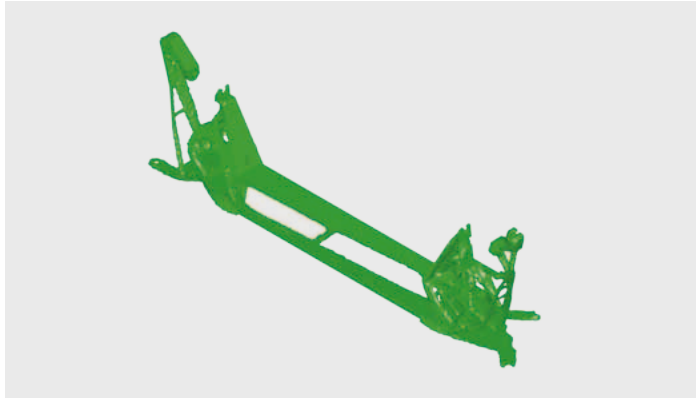
dem Lastfluss gerecht ausgerichtet sein, um ihr volles Potenzial auszuschöpfen. Deshalb wurde auch die Orientierung der Verbundfasern durch eine Simulation optimiert und werkstoffgerecht ausgelegt.

Anforderungen und Werkstoffauswahl

Im Laufe der ersten Untersuchungen kristallisierte sich heraus, dass die im Referenzbauteil verwendete Schweißkonstruktion aus Blechschalen unter den geänderten Randbedingungen nicht ideal war. Für die Entwicklung eines >



Zur Formfindung und Materialauswahl werden von den Ingenieuren modernste Entwicklungsmethoden eingesetzt.



Strukturoptimierung des Bauraums



Bereiche mit verschiedenen Eigenschaften

neuen Bauteils spielte vor allem das Gewicht eine entscheidende Rolle. Denn jedes gesparte Kilogramm ermöglicht die Erhöhung der Reichweite, entweder durch die verringerten Fahrwiderstände oder durch einen größeren Energiespeicher.

Insbesondere die Materialauswahl macht hier den Unterschied. Alumi-

umlegierungen, hochfeste Stähle und auch faserverstärkte Kunststoffe bilden für Bauteile zu diesem Einsatzzweck einen Grundstock. Zu beachten ist allerdings die Auswahl des richtigen Werkstoffs für den richtigen Einsatzbereich. Hilfreich ist hier die Gegenüberstellung der verschiedenen zur Verfügung stehenden Werkstoffe hinsichtlich ihrer spezifischen Steifigkeit, das heißt dem

Verhältnis des E-Moduls $[N/mm^2]$ und der Dichte $[g/cm^3]$.

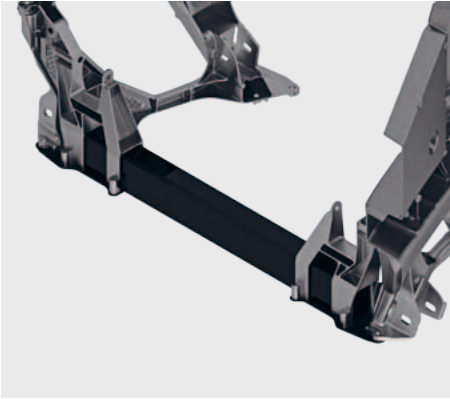
Es zeichneten sich für das zukünftige Bauteil drei Bereiche mit einem unterschiedlichen Anforderungsprofil ab:

1. ein flacher Bereich, der durch die umgebenden Bauteile bestimmt ist; dieser muss in der Lage sein, hohe

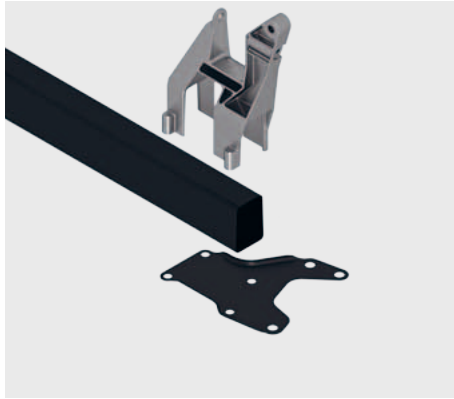
Schubkräfte aus dem Querlenker aufzunehmen;

2. ein Mittelbereich mit einer hohen Biegesteifigkeit, generiert aus den Verschraubungspunkten mit der Karosserie;

3. ein Abschnitt, der die großen Lasten von bis zu zehn Kilonewton aus der Aggregatlagerung aufnehmen kann.



FVK-Hybrid-Querträger



Einzelteile des Querträgers

Der geringen zur Verfügung stehenden Bauhöhe von wenigen Millimetern geschuldet, ist Stahl im ersten Bereich der ideale Werkstoff. Er kann die hohen Schubkräfte am geeignetsten an den Mittelteil weiterleiten, ohne zu knicken oder zu beulen.

Für den zweiten Bereich wurde eine Konstruktion gewählt, welche ein

möglichst geringes Gewicht bei größtmöglicher Steifigkeit erlaubt. Die Wahl fiel auf ein Profil aus mit Kohlenstofffasern verstärktem Kunststoff. Damit kann der Hinterwagen ideal versteift werden.

Um die auftretenden Lasten im dritten Bereich optimal aufzunehmen und die umgebenden Bauteile abzustützen, wurde Aluminium gewählt. Aluminium garantiert in dieser Anwendung eine hohe spezifische Steifigkeit bei großer Freiheit in der Formgebung.

Die Verbindung dieser unterschiedlichen und für ihren jeweiligen Einsatzzweck ausgewählten Werkstoffe übernimmt ein Zweikomponenten-Klebstoff. Damit ließen sich drei für sich nahezu optimale Teilstücke zu einem idealen Gesamtbauteil vereinen. Kurz gesagt: das Beste aus drei Welten.

Eigenschaften und fertigungsgerechte Gestaltung

Alle Elemente des Querträgers wurden auch im Hinblick auf eine mögliche spätere Serienproduktion entwickelt. Das Herstellungsverfahren hatte deshalb ebenfalls Einfluss auf die Formgebung. Berücksichtigt wurden dabei die in der Serienproduktion gängigen Verfahren. ➤

e-Generation

Unter der heutigen Umwelt- und Klimasituation sind neue Lösungen im Bereich Fahrzeugmobilität dringend erforderlich. Führende deutsche Industrieunternehmen sowie namhafte Universitäten und Forschungsinstitute haben sich zusammengeschlossen, um im Rahmen des Förderprojekts e-Generation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) einen Beitrag im Bereich E-Mobilität zu leisten.

Das Gemeinschaftsprojekt unterstützt das Ziel der Bundesregierung, Deutschland als Leitmarkt der Elektromobilität aufzubauen und zu etablieren. e-Generation befasst sich mit dem Elektrofahrzeug als Ganzes, um die Faktoren Reichweite, Kosten und Alltagstauglichkeit zu verbessern.

Das Elektrofahrzeug ist derzeit noch deutlich teurer als ein herkömmliches Automobil. Trotz der erforderlichen Neuerungen in einem Elektrofahrzeug erwarten potenzielle Kunden ein gut und einfach nutzbares Fahrzeug. Um die Attraktivität auf dem Markt

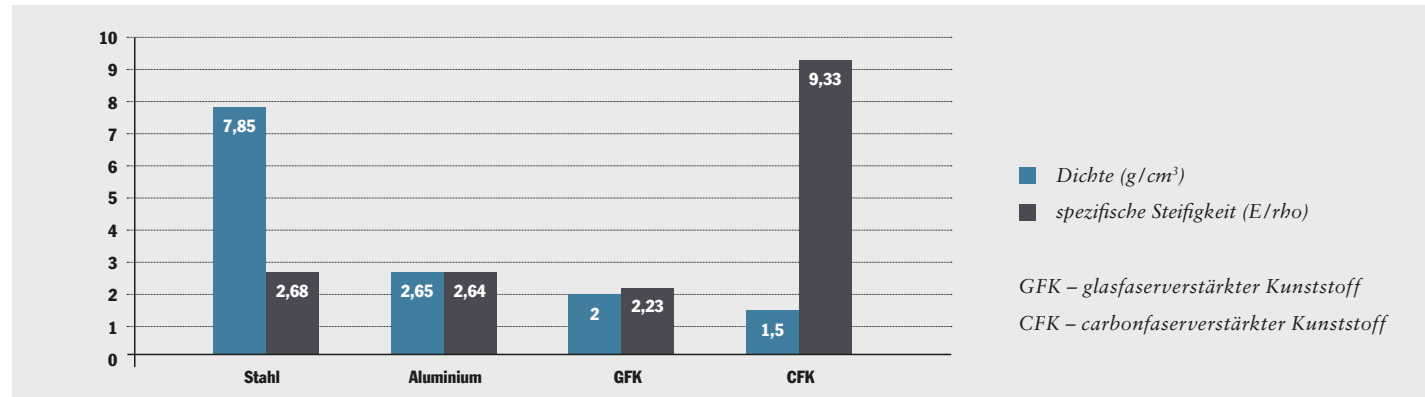
zu steigern, müssen die Kosten der relevanten E-Mobility-Komponenten und -Systeme deutlich gesenkt werden. Im Hinblick darauf erforscht das Förderprojekt einen möglichen Baukasten für elektrische Antriebsstränge.

Zur Vergrößerung der Reichweite muss der Energiehaushalt optimiert werden. Dabei steht neben der prinzipiellen Senkung des Verbrauchs auch die Erforschung neuer Ansätze zur Fahrzeugklimatisierung im Mittelpunkt. Auch die Senkung des Gesamtgewichts trägt zur Reichweitenvergrößerung bei, daher werden zusätzlich Leichtbaumaßnahmen und effizienzbeeinflussende Bereiche erforscht. Neue Generationen von Antriebskomponenten, die im Gesamtfahrzeugverbund mit anderen Komponenten abgestimmt werden, sollen weitere Effizienzpotenziale erschließen.

Durch die enge Zusammenarbeit der Automobilhersteller mit wichtigen Zulieferern und Hochschulen wird die Marktrelevanz der Forschungsergebnisse gewährleistet und damit die Voraussetzung für eine schnelle

Marktumsetzung geschaffen. Ziel der Forschungsergebnisse ist darüber hinaus die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Automobil- und Zulieferindustrie im Verbund mit Forschungsinstituten in Deutschland und die Übernahme einer führenden Rolle im globalen Wettbewerb.





Vergleich von Dichte und spezifischer Steifigkeit

Der erste Bereich, auch Abschlussblech genannt, entstand kaltumgeformt aus mikrolegiertem hochfestem Stahlblech, welches zum Schutz vor Korrosion kathodisch beschichtet wurde. Als positiver Nebeneffekt ist ein so beschichtetes Bauteil ohne Vorbereitung für eine Klebstoffapplikation geeignet. Dieses Material und diese Beschichtung finden häufig Anwendung im Automobilbereich, was neben den gewünschten Eigenschaften auch zu niedrigen Materialkosten führt.

Die Abschlussbleche bilden über zwei Verschraubungspunkte die untere Schnittstelle zur Karosserie.

Die Konsolen – also der dritte Bereich – bestehen aus Aluminium. Zur Herstellung ist das Druckgussverfahren angedacht, da dieses im Vergleich zu anderen Gussverfahren dünnere Wandstärken bei sehr großer Freiheit in der Ausformung garantiert. Der Werkstoff war eine im Fahrwerksbereich meist für Hilfsrahmen oder Lenker eingesetzte Aluminiumlegierung. An den Aluminiumkonsolen wird jeweils ein Lagerpunkt für das Antriebsaggregat fixiert, und sie bilden die obere Schnittstelle zur Karosserie.

Das Herzstück des Querträgers ist ein Vierkantprofil, das als Pultrusionsprofil im Pullwinding-Verfahren entsteht.

Es stellt zurzeit das kostengünstigste Verfahren zur Herstellung von Faserverbundelementen bei höheren Stückzahlen dar. Hierbei werden längs zur Profilrichtung verlaufende Endlosfasern durch eine duroplastische Matritze in Form gebracht und mit einer Epoxidharz-Matrix getränkt. Um auch Fasern quer zur Profilrichtung in das Bauteil einbringen zu können, werden die Endlosfasern in einem Winkel abweichend zur Pultrusionsrichtung zusätzlich mit Fasern umwickelt.

Damit lassen sich nahezu frei wählbare Faserorientierungen und -verhältnisse generieren, ohne Unterbrechungen oder Fugstellen der Fasern. Das in diesem Bauteil verwendete Profil weist durch dieses Herstellungsverfahren eine höhere Festigkeit und Steifigkeit auf als ein Vergleichsteil aus hochfestem Stahl – bei einem Viertel des Gewichts.

Gefügt werden die Teilstücke mit einem Zweikomponenten-Klebstoff aus dem Karosseriebau. Das Verklebeverfahren wurde speziell für diesen Querträger entwickelt und geprüft.

Allein durch den Klebstoff lässt sich bereits eine vollkommen ausreichende Verbindung der Bauteile erzielen. Da es sich bei Fahrwerksbauteilen, wie auch in diesem Fall, meist um sicherheitsrelevante Komponenten handelt, sind die

Aluminiumkonsolen zusätzlich mit den Abschlussblechen verschraubt. Dadurch wird eine eingeschränkte Funktion auch bei einem theoretischen Versagen der Klebeverbindung sichergestellt.

Der so entstandene Querträger erreicht durch den Einsatz von modernen Entwicklungsmethoden und Herstellungsverfahren gegenüber dem Referenzbauteil eine doppelt so hohe Steifigkeit. Darüber hinaus integriert er die Funktion der Aggregatlagerung und wiegt trotzdem im Vergleich zur Referenz rund fünf Prozent weniger.

Absicherung und Fertigung

Um die ordnungsgemäße Funktion im Fahrzeug jederzeit sicherzustellen, wurde der Querträger inklusive aller Fügetechniken mit Berechnungsprogrammen simuliert und bewertet. Eine besondere Herausforderung stellte hierbei die Validierung des FVK-Profiles und der Klebeverbindung dar.

Nach dem Nachweis der nötigen Festigkeit und Berechnung der Steifigkeit entstanden erste Prototypen des Querträgers. Dies geschah immer mit dem Blick auf eine mögliche spätere Serienfertigung: Bereits die ersten Bauteile wurden so gefertigt und gefügt, dass sie einem späteren, rein maschinell

hergestellten Querträger möglichst nahe kamen. So wurden die Aluminiumkonsolen gussgerecht ausgeführt und die Abschlussbleche bereits analog des angedachten Serienverfahrens gefertigt. Auch die Prozesssicherheit des Fügeverfahrens unterlag beim Aufbau einer kontinuierlichen Untersuchung und Optimierung.

Vor dem Ersteinsatz des FVK-Hybrid-Querträgers im Fahrzeug musste dieser seine Dauerfestigkeit auf dem Prüfstand unter Beweis stellen. Simuliert wurde ein Dauerlauf auf dem Weissacher Prüfgelände, der die Belastungen eines Fahrzeuglebens in sehr geraffter Form widerspiegelt. Dieser wurde schließlich

erfolgreich absolviert, es konnten keine signifikanten Schädigungen am Bauteil festgestellt werden.

Nach dem harten Einsatz auf dem Prüfstand wurden zur Kontrolle des Querträgers verschiedene Untersuchungsmethoden bis hin zur Computertomografie angewandt. Und nach all dieser Absicherung wurden alle Fahrzeuge des e-Generation-Projekts mit dem Hybrid-Querträger ausgerüstet.

Bewertung und Abschluss

Die Entwicklung des FVK-Hybrid-Querträgers zeigt, welche Optionen ein

intelligenter Materialmix in der Kombination mit neuen Entwicklungsmethoden und etablierten Fertigungsverfahren bietet. Damit eröffnet sich eine Alternative zu teureren und zeitintensiven Techniken beispielsweise aus dem Rennsport.

Das im Gebiet der hybriden Bauteilkonstruktion verborgene Leichtbaupotenzial ermöglicht durch innovative Entwicklungsansätze leichte und stabile Bauteile bei überschaubaren Kosten. So wäre bei einer vollkommen auf Leichtbau ausgerichteten Auslegung des Querträgers eine weitere Gewichtsersparnis von bis zu 30 Prozent möglich – ohne Zugeständnisse bei den Anforderungen. ■



Zur Kontrolle des Querträgers wurden verschiedene Untersuchungen bis hin zur Computertomografie durchgeführt.

Genau berechnet

Konzept- und konstruktionsbegleitende Berechnungen in der Motorenentwicklung

Von Matthias Penzel

— Verkürzte Produktlebenszyklen und dadurch deutlich reduzierte Entwicklungszeiten auf der einen – höchste Erwartungen der Kunden an die Entwicklungsqualität auf der anderen Seite: Dass das kein Widerspruch sein muss, zeigt die Motorenentwicklung von Porsche Engineering am Beispiel der extrem frühen Einbindung von Berechnung und Simulation im Entwicklungsprozess.

Jahrzehntelang entstanden Bauteile und Baugruppen auf der Basis von Erfahrungen und vereinfachten Berechnungen der Konstrukteure. Bis zur Erprobung erster Funktionsmuster blieb der Beweis offen, ob die Theorie der Praxis standhält.

Mit der Einführung der computergestützten Simulationen bekamen die Ingenieure mächtige Werkzeuge an die Hand, die es erlauben, näher an Grenzen zu gehen, physikalische Gesetzmäßigkeiten und Werkstoffeigenschaften immer besser auszunutzen. Damit kann weitgehend die Phase der althergebrachten Trial & Error-Erprobungen entfallen. Versuch und Erprobung sollen vielmehr nur noch final die Zielfähigkeit des Entwicklungsstandes in der Realität bestätigen.

In der Anfangsphase der Konstruktion stößt die Simulation jedoch noch auf enge Grenzen: Ein sinnvoll ausgereifter Konstruktionsstand ist Grundvoraussetzung, um die Berechnungen zu starten. Abzuwarten bis die endgültige Konstruktion vorliegt, bedeutet aber einen enormen Zeitverlust. Die Berechnung mit Vernetzung, Processing und Auswertung benötigt geraume Zeit, die sich dann faktisch sequenziell in den Projektterminplan hineinaddiert. Zudem muss Zeit für eine Überarbeitung der Konstruktion auf Basis der Berechnungsergebnisse eingeplant werden. Eine gestaffelte Berechnungsfreigabe der Bauteile kann das Problem nur begrenzt minimieren, da Komponenten in komplexen Mechaniksystemen – wie etwa einem Verbrennungsmotor – in gegenseitiger Wechselwirkung stehen

und simultan entwickelt werden müssen. Das Schlagwort zur Lösung des Problems lautet Frontloading.

Zeitersparnis durch Frontloading

Da in näherer Zukunft keine drastische Reduzierung des Zeitbedarfs für komplexe Simulationen im Computer-Aided Engineering (CAE) abzusehen ist, müssen Konstruktion und Simulation zeitlich so miteinander verknüpft werden, dass ein Optimum an Effizienz erreicht wird. Die Motorenentwicklung von Porsche Engineering verfolgt seit Jahren konsequent den Weg der konzept- und konstruktionsbegleitenden Berechnungen und Simulationen, was unter dem Begriff Frontloading zusammengefasst ist.

Diese Strategie basiert auf vier Säulen: Einen ersten Schritt bilden einfache numerische Auslegungshilfen und Programme. Diese sind bei Porsche Engineering oftmals Ergebnisse von Studien- und Abschlussarbeiten. So gelingt es, Forschung und Lehre mit direkten praktischen Anwendungen zu verknüpfen.

Die zweite Säule stellen die CAE-Tools dar – Finite Elemente- (FE-) Methode oder Computational Fluid Dynamics (CFD) –, die auf die Arbeitsumgebung der gängigen Systeme des Computer-Aided Design (CAD) zugreifen und direkt vom Konstrukteur bedient und genutzt werden. Dies reduziert Schnittstellenverluste und den Aufwand für Modellkonvertierungen. Zudem können Spitzen im Ressourcenbedarf der Simulationsgruppe entzerrt und größere Projekte ebenfalls ohne zusätzliche Unterstützung mit konstanter Mannschaft bearbeitet werden. Auch hier ist das Ziel, die zeit- und kostenintensive Voll-Simulation auf die finale Bestätigung der Konstruktion zu beschränken und damit Entwicklungsschleifen einzuspa-

ren. Die relativ einfach zu bedienenden CAD-Berechnungstools wurden bei Porsche Engineering durch Vergleichsberechnungen und Bauteilversuche validiert und können bis zu einem bestimmten Gütegrad der Vorausberechnung zuverlässig eingesetzt werden.

Die dritte Säule bilden die vollwertigen Simulationen, die in eigener Softwareumgebung auf Hochleistungsrechnern laufen. Doch auch im Einsatz dieser hochwertigen Software findet man Potenziale zur Straffung des Projektterminplans. Gerade für strukturelle Fragen – beispielsweise für das System Zylinderkopf und -block – kann eine erste frühe FE-Verbundrechnung helfen, tendenzielle Schwachstellen zu identifizieren und zusätzlich konkrete Eingangsdaten für die Auslegung der Zylinderkopfdichtung zu generieren. Da der Reifegrad der Konstruktion zu diesem Zeitpunkt noch entsprechend gering ist, wird viel Erfahrung benötigt, um die Berechnungsergebnisse richtig zu interpretieren und entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Hier greift die Motorenabteilung auf den Fundus einer Vielzahl vergleichbarer Projekte

zurück, die bereits in dieser Art berechnet worden sind. Das Know-how der Ingenieure bildet dabei das Rückgrat einer Entwicklungsstrategie, die zwar konsequent verschiedenste CAE-Methoden anwendet, aber auch den Output der künstlichen Intelligenz stets wertet und in puncto Plausibilität kritisch hinterfragt.

Strukturoptimierung von Bauteilen und Baugruppen

Letzte Säule ist die Strukturoptimierung. Der Einsatz der entsprechenden Tools gehört prinzipiell ganz an den Anfang des Entwicklungsprozesses: in die Konzeptphase. Gerade bei völlig neuartigen Bauteilen ohne vergleichbare Vorgänger können damit frühzeitig Konstruktionen erarbeitet werden, die sich bereits nahe am gestalterischen Optimum bewegen.

Die konzeptionelle Auslegung von völlig neuen Bauteilen und Baugruppen stellt den größten Reiz, aber auch die größte Herausforderung für den Ingenieur dar. Es gilt dabei, unter Abschätzung



Mithilfe von CAE-Tools können Schnittstellenverluste reduziert werden und der Aufwand für Modellkonvertierungen verringert sich.

der auftretenden Belastungen die bestmögliche Materialverteilung innerhalb eines gegebenen Bauraums zu finden. Sehr erfahrene Ingenieure erzielen auch ohne CAE-Unterstützung beachtlich gute Ergebnisse, dies zeigen Nachrechnungen von älteren Konstruktionen. Beispielsweise das Kurbelgehäuse des Ur-911: Die Druckgusskonstruktion mit integrierten Lagerstühlen für den Kurbeltrieb ist ein Musterbeispiel harmonischen Designs und homogener Kraftflussverteilung. Jedoch: Festigkeit und Verformungsverhalten liegen für erfahrene Konstrukteure innerhalb des persönlichen Vorstellungsvermögens. Komplexe Fragen zum akustischen Verhalten zu beantworten ist dagegen schon weitaus schwieriger. Mittels simulationsgestützter Strukturoptimierung könnte beispielsweise auch das alte 911er-Gehäuse um mehrere Hundert Gramm erleichtert werden – ohne Einbußen an Funktionseigenschaften und Akustik.

Eine Strukturoptimierung beeinflusst die Bauteilkonstruktion meist signifikant. In der Regel können 10 bis 20 Prozent der Bauteilmasse eingespart oder in gleichem Maß die Steifigkeit gegenüber dem Erstentwurf gesteigert

werden. Die damit verbundenen drastischen Designänderungen sind jedoch nur in der anfänglichen Konzeptphase möglich. Alle späteren Änderungen erzeugen hohe Zusatzkosten, zudem sinkt die Erprobungstiefe und damit die Entwicklungsqualität, weil die Testergebnisse des alten Baustandes oftmals keine Rückschlüsse mehr auf das neue Konzept zulassen. Dies ist das wichtigste Argument für den Einsatz der Strukturoptimierung ganz am Anfang des Entwicklungsprozesses.

Im Rahmen von Weiterentwicklungen bestehender Produkte kann eine Strukturoptimierung ebenfalls sinnvoll sein. Modellpflege-Entwicklungen gehen oftmals mit dem Ziel einher, die Fahrzeugmasse zu reduzieren, wobei jedes Fachgebiet einen entsprechenden Beitrag leisten muss. Im Bereich Motor und Getriebe bieten sich die Strukturbauteile für eine Optimierung an, zumal wenn es sich um abgeschlossene Umfänge handelt und die Anschraubpunkte unverändert bleiben.

Beim Einsatz der Strukturoptimierung kommt es darauf an, diese Methodik ständig und standardmäßig anzuwenden. In der Motorenentwicklung bei

Porsche Engineering werden zu Beginn eines jeden Projektes die potenziellen Bauteile für Strukturoptimierungen identifiziert und berechnungsseitig eingeplant. Durch permanente Anwendung dieser Methodik ist es möglich, bei abgestimmten Randbedingungen bereits innerhalb eines Arbeitstages eine Strukturoptimierung durchzuführen. Auch ungeplante Umfänge können somit kurzfristig bearbeitet werden. Wird die Berechnung in die Nachtstunden verlegt, kann der Konstrukteur zu Beginn des nächsten Arbeitstages die Ergebnisse direkt in seine Arbeit einfließen lassen.

Im Einzelnen fallen unter den Begriff Strukturoptimierung verschiedene Teilgebiete wie zum Beispiel

- die Topologieoptimierung als gestalterische Verbesserung unter minimalem Materialeinsatz bei maximaler Steifigkeit,
- die Formoptimierung zur Gestaltung hochbelasteter Bauteilzonen,
- die Querschnittsoptimierung als Hilfsmittel für belastungsgerechtes Design an Flächenkonstruktionen (beispielsweise Tailored Blanks).

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in der Motorenentwicklung

Die Hauptanwendungen in der Motorenentwicklung von Porsche Engineering liegen meist darin, die Masse und/oder Steifigkeit von Bauteilen zu verbessern sowie das akustische Übertragungsverhalten durch gezielte Entwicklung auf bestimmte Eigenfrequenzen hin zu beeinflussen. Die spezielle Software erlaubt es dabei, auch fertigungstechnische Randbedingungen zu berücksichtigen, wie beispielsweise minimal zulässige Wandstärken und die Vermeidung von Hinterschnitten für Guss- und Schmiedeteile.

Die konkreten Anwendungsmöglichkeiten der Strukturoptimierung in der Motorenentwicklung sind extrem vielfältig. Der klassische Einsatzfall sind die genannten tragenden Strukturbauteile wie Motorträger und Aggregatekonsolen, aber auch Teilgeometrien wie Ölrückläufe, Anbindung der Lagerstuhlverschraubungen in einem Kurbelgehäuse oder Nockenwellen-Lagerstühle werden konsequent optimiert. Neben der eigentlichen technischen Verbesserung am Bauteil ergibt sich zudem ein weiterer Effekt: Durch den ständigen Umgang mit diesen Aufgaben und den CAE-Ergebnissen lernen die Konstrukteure, Lastfälle und Strukturverhalten der Bauteile vorab noch besser einzuschätzen und zu bewerten. Diese Erfahrungen über Gestaltungsprinzipien werden dann auch auf völlig andere Komponenten und Fachgebiete übertragen. Das hilft den Ingenieuren, in akuten Problemfällen Hotspots und strukturelle Schwächen schnell zu erkennen.

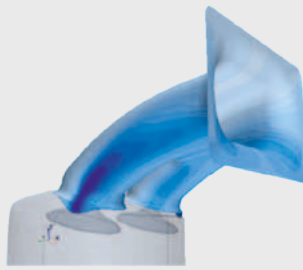
Damit sind die Einsatzmöglichkeiten bei Weitem nicht erschöpft: Für die Auslegung einer Motorenfamilie mit sinnvollem Gleichteileumfang im Grundmotor wurde zuletzt die Strukturoptimierung für eine DOE-Kas-

Einlasskanal-Optimierung

Mit dem Optimierungstool wird die Geometrie des Einlasskanals auf Änderungssensitivität bezüglich Druckverlust und Strömungsdrall (tumble) bewertet.

Sensitivität Druckverlust

Sensitivität Strömungsdrall



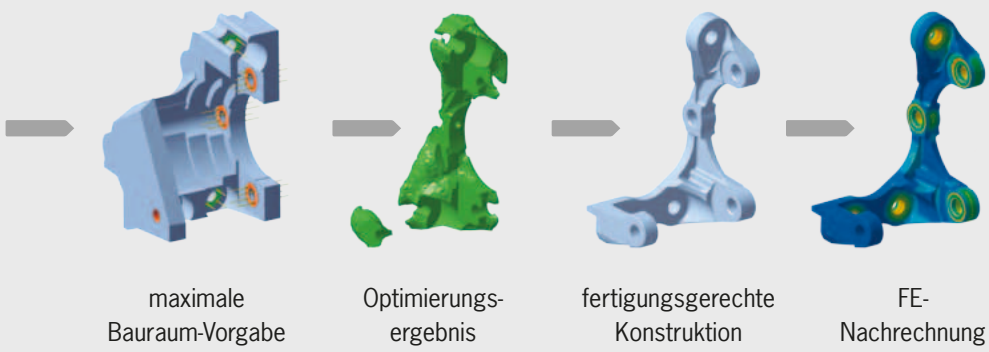
Eindrücken

Herausziehen

Durch Herausziehen der roten Bereiche und Eindrücken der blauen Regionen lassen sich der Druckverlust im Kanal reduzieren und gleichzeitig der Strömungsdrall verstärken.

Konstruktionsbegleitende Berechnungen

Leichtbau durch Strukturoptimierung



Optimal entlastet

Entwicklungsbegleitende Leistungen

Von Peter Weidenhammer

Das Kompetenzspektrum von Porsche Engineering deckt den gesamten Produktentstehungsprozess ab. Das Know-how der Ingenieure ist dabei zunehmend auch bei entwicklungsbegleitenden Leistungen gefragt. Der Grund: Die Komplexität solcher Aufgaben nimmt immer mehr zu und erfordert im Einzelnen zunehmend Kapazitäten.

Porsche Engineering übernimmt hier die Rolle eines Partners, der zum jeweils relevanten entwicklungsbegleitenden Themenpaket den Gesamtüberblick hat, die nötigen Kompetenzen vorweist und die Aufgabe in vollem Umfang abwickelt.

Porsche Engineering leistet nicht nur reine Entwicklungsarbeit, sondern übernimmt auch darüber hinausgehende Aufgaben und qualifiziert desgleichen das jeweilige Teil oder Produkt gemäß den entsprechenden Anforderungen. Der Kunde kann sich damit auf den Kern der Entwicklung konzentrieren, seinen eigentlichen Kompetenzbereich. Die Vergabe von entwicklungsbegleitenden Tätigkeiten entlastet ihn dabei. Porsche Engineering bietet diese Art von Leistungen auch für Branchen außerhalb der Automobilindustrie an und ist in der Leistung flexibel – entwickelt und qualifiziert wird nach den jeweils geforderten Standards.

Das Portfolio an entwicklungsbegleitenden Leistungen differenziert sich in verschiedene Themenbereiche, die vom Projekt- und Lieferantenmanagement über unterschiedliche Planungsaufgaben bis hin zur Prüfung auf die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben reichen.

Im Projektmanagement unterstützen die Ingenieure die Planung und Ausführung der Vorhaben. Sie konzentrieren sich dabei nicht nur auf die Entwicklung neuer Technologien, sondern beachten auch die Rahmenbedingungen dieser Projekte. So werden zusammen mit dem Kunden Detailplanungen erstellt und Faktoren wie Kosten, Qualität und Meilensteine zuverlässig kontrolliert und optimiert. Die Umsetzung orientiert sich dabei streng am Produktentstehungsprozess des Kunden.

Bei Fragen des Beschaffungs- und Lieferantenmanagements profitiert der Ingenieurdienstleister von der langjährigen Erfahrung aus der Porsche-Serienproduktion, er weiß somit, worauf es hierbei ankommt, um eine nachhaltige Lieferkette sicherzustellen. Hier übernimmt Porsche Engineering die Identifizierung und Auswahl von Zulieferern sowie deren Auditierung und stellt ihnen Know-how bei eventuellen Problemen zur Verfügung. Weiterhin gehören dazu die Planung und Durchführung von Projekten zur Verbesserung der Lieferantenperformance und die Qualitätssicherung von Kaufteilen. Damit hat der Kunde die Garantie, die besten Partner und Lieferanten für die Herstellung seiner Produkte zu finden.

Mit der Erfahrung als Serienhersteller von Sportwagen im Hintergrund ist man sich auch den Herausforderungen in der Produktionsplanung sowie bei den Produktionsprozessen und -techniken durchaus bewusst. Durch Innovationen und kontinuierliche Verbesserungen hat das Unternehmen stets erfolgreiche Lösungen entwickelt. Dieses Wissen wird in die Auslegung von Montagelinien eingebracht. Neben der Reduzierung von Fertigungszeit und Kosten stehen dabei auch die Erhöhung der Prozesssicherheit und das Aufzeigen von Verbesserungspotenzialen im Vordergrund.

Die richtigen Materialien am richtigen Ort zur richtigen Zeit: dies ist die Schlüsselfunktion Logistik. Grundlage einer störungsfreien Serienproduktion bildet eine ausführliche Logistikplanung, die alle Schritte des Produktentstehungsprozesses abdeckt. Porsche Engineering unterstützt die Kunden bei der Konzeption, Bewertung und Umsetzung sämtlicher logistischer Abläufe bis hin zur Planung von Betriebsmitteln, Anlagen und Systemen und garantiert so einen reibungslosen Einbindungsprozess von Neuentwicklungen.

Bis eine Neuentwicklung serienreif ist und in der Produktion stabil läuft, ist es ein weiter Weg. In Bezug auf Anlaufmanagement und Serienbetreuung können wertvolle Erfahrungen aus der Serienproduktion auf die Prozesse vom Kunden übertragen und diese somit nachhaltig unterstützt werden. Lieferantensteuerung und ressortübergreifende Qualitätslenkung, aber auch Werkzeugverfolgung und Arbeitsunterweisungen sorgen für den reibungsfreien Start eines neuen Produktes in die Serienproduktion.

Für perfekt ausgestaltete Produkte sind oftmals Anpassungen notwendig. Deswegen ist es wichtig, im Änderungsmanagement interne Prozesse zu etablieren, die klar definieren, wann eine Modifikation stattfinden kann und wie sie zu dokumentieren ist. Die Kunden werden dabei begleitet und entsprechend beraten. Um anfallende Kosten und Zeitverzug auf ein Minimum zu reduzieren, ist beispielsweise die baureihenübergreifende Zusammenarbeit elementar, die mit ein Ziel der Optimierung ist.

Ein etabliertes Instrument, um im Produktentstehungsprozess frühzeitig Fehler oder mögliche Fehlerquellen in der Konstruktion der Produkte und der Gestaltung der Fertigungs- und Montageprozesse zu identifizieren und zu beseitigen, ist die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA). Durch die Unterscheidung zwischen System-, Konstruktions- und Prozess-FMEA berücksichtigt Porsche Engineering alle möglichen Fehlerquellen. Zusätzlich werden im Rahmen der Funktionalen Sicherheit (FuSi) die Risiken, die mit den zu implementierenden Funktionen verknüpft sind, ermittelt und so weitere Gefahrenquellen reduziert.

In der Fahrzeugentwicklung wird das Toleranzmanagement als präventive Qualitätsmethode angewendet, um optischen und funktionellen Anforderungen gerecht zu werden. Dadurch können ebenfalls potenzielle Fehler vermieden werden, bevor sie entstehen. Das übergeordnete Ziel des Toleranzmanagements ist eine hohe Produktqualität ohne Nacharbeit. Dazu dienen zusammen mit einem Referenzpunktsystem (RPS) genaue Vorgaben zu Funktionsmaßen und Fugenplan. Abgerundet wird dies durch Toleranzberechnungen und



eine dreidimensionale Toleranzsimulation (siehe auch Porsche Engineering Magazin 1/2013: „Toleranzmanagement in der Fahrzeugentwicklung“).

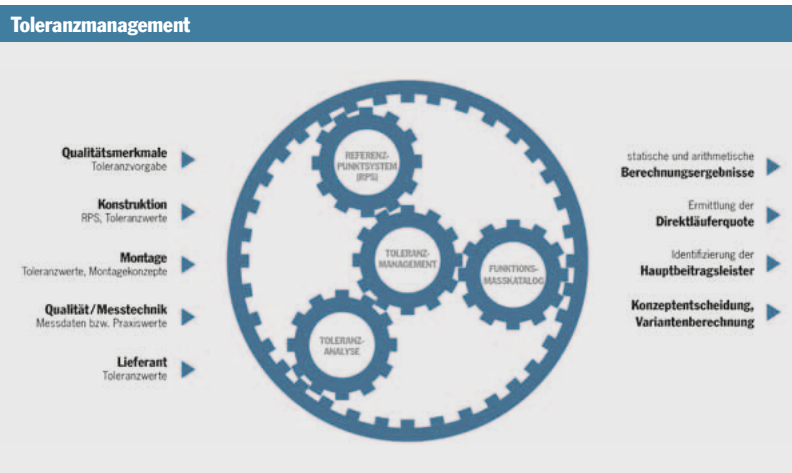
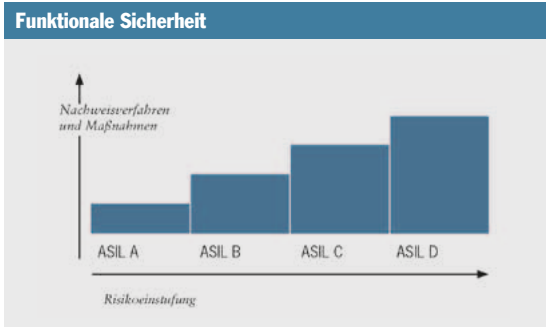
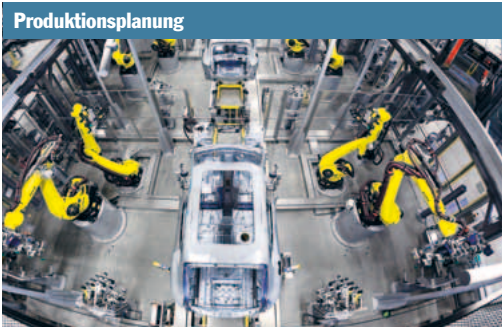
Mit den Forderungen von Gesetzgebern und Märkten nach immer verbrauchs- und emissionsärmeren Fahrzeugen wächst die Bedeutung eines effektiven Gewichtsmanagements. Mit dem intelligenten Leichtbau der aktuellen Sportwagenengenerationen ist Porsche einmal mehr die Referenz. Die optimale Gewichtsbeurteilung setzt beispielsweise die Erfassung und Auswertung von Fahrzeugmasse- und Schwerpunktdaten voraus. Es gilt, Chancen und Risiken abzuwägen und während der Entwicklung die Einhaltung der Gewichtsziele kontinuierlich zu überprüfen.

Durch die zunehmende Vielfalt an Varianten und Derivaten in der Fahrzeugentwicklung steigen auch die Anforderungen an die Informationssysteme. Die Ingenieure kennen diese Anforderungen aus unterschiedlichsten Baukasten- und Modulentwicklungen und begegnen ihnen mit innovativen und schlanken Lösungen beispielsweise für Produktdatenmanagement, Stücklistensysteme und Freigabewesen.

Entwicklungen müssen nicht nur technischen Anforderungen und funktionalen Ansprüchen gerecht werden, sondern auch weitere gesetzliche Vorgaben einhalten. Porsche Engineering stellt nicht nur die Expertise bereit, dass die Produkte in Herstellung und Eigenschaften regelkonform sind, sondern deckt zudem auch Schutz- und Patentrechte für die Entwicklungen ab.

Mit dem Rückgriff auf die Erfahrungen aus der Serienentwicklung übernimmt Porsche Engineering im Auftrag auch das Freigabemanagement. Unabhängig davon, in welchem Schritt des Entwicklungsprozesses sich das Produkt befindet, umfasst dies die Freigabeterminplanung und -verfolgung und damit die Steuerung der Freigabe von Bauteilen und Meilensteinen.

Porsche-Kunden erwarten neben höchster Qualität zudem beste Serviceleistung. Die Marke ist demnach hoher Maßstab für Vertriebs- und After-Sales-Planung. Das bedeutet, dass bei jeder Entwicklung bereits in der Anfangsphase entsprechende Servicekonzepte berücksichtigt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Kunden des Auftraggebers auch im Servicefall mit dessen Entwicklungen zufrieden sind. ■



IMPRESSUM

Porsche Engineering MAGAZIN

AUSGABE 1/2015



HERAUSGEBER

Porsche Engineering Group GmbH
Porschestraße 911
71287 Weissach
Tel. +49 711 911 0
Fax +49 711 911 8 89 99
Internet: www.porsche-engineering.de

REDAKTIONSLEITUNG

Frederic Damköhler

REDAKTION | KOORDINATION

Nadine Guhl

ANZEIGEN

Frederic Damköhler

GRAFISCHE GESTALTUNG

VISCHER&BERNET, Stuttgart

ÜBERSETZUNG

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

GESAMTHERSTELLUNG

Kraft Druck GmbH
76275 Ettlingen

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Herausgebers. Für die Rücksendung unverlangt eingegangener Fotos, Dias, Filme oder Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden. Porsche Engineering ist eine 100%ige Tochtergesellschaft der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.



40 Jahre zukunftsweisende Erprobungen

— Dem Nardò Technical Center gelingt es wie kaum einem anderen Testgelände, Tradition und Zukunft auf ideale Weise miteinander zu vereinen. Ohne seine Ursprünglichkeit zu verlieren, wird seit jeher vorausgedacht und ausreichend Raum geschaffen für Neuerungen. Hier werden Erprobungen für Höchstleistungen erbracht. Für die ganze Fahrzeugindustrie. Innovativ und zukunftsfähig.

Begeben Sie sich mit uns auf eine Reise nach Süditalien!

The logo is a circular emblem with a double-lined border. Inside the circle, the text "Nardò" is written in a large, bold, blue sans-serif font. Below it, "Technical Center" is written in a smaller, blue sans-serif font. At the bottom, "40 YEARS" is written in a bold, blue sans-serif font, followed by a vertical line and the years "1975" and "2015" in a large, grey sans-serif font.

Nardò
Technical Center
40 | 1975
YEARS | 2015

Individuell, vernetzt, effizient

Ein Blick auf den chinesischen Automobilmarkt der Zukunft

China stellt für die Automobilindustrie einen der größten und interessantesten Absatzmärkte dar. Um den Anforderungen und Bedürfnissen der chinesischen Kunden gerecht zu werden, sind fundierte Marktkenntnis, Innovationsfähigkeit und neue Technologien von größter Bedeutung. Porsche Engineering arbeitet seit über 20 Jahren für chinesische Kunden und hat jüngst mit der Gründung einer Tochtergesellschaft in Shanghai die Aktivitäten vor Ort weiter bestärkt. Wir unterhielten uns mit dem Automobil-experten Prof. Dr. Zhuoping Yu von der dortigen Tongji-Universität und Jianying Wang, Standortleiterin von Porsche Engineering Shanghai, über Trends und Technologien auf dem chinesischen Markt.

Interview: Frederic Damköhler und Nadine Gubl



Prof. Dr. Zhuoping Yu

Neben seinen Funktionen an der Tongji-Universität in Shanghai als Assistent des Präsidenten sowie als Dekan der Fakultät Automotive ist Prof. Dr. Yu Direktor der Shanghai Automotive Industry Corporation (SAIC). An der Tongji-Universität fungiert er außerdem als Vorsitzender des "Collaborative Innovation Center for Intelligent New Energy Vehicle".



Jianying Wang

Nach ihrem Studium der Fahrzeugtechnik an der Tongji-Universität arbeitete Jianying Wang zunächst in der chinesischen Automobilindustrie. 1995 kam sie zu Porsche und war seitdem für den Vertrieb der Kundenentwicklungen auf dem chinesischen Markt zuständig. Seit Januar 2015 leitet sie den neu gegründeten Standort Porsche Engineering (Shanghai) Co., Ltd.

Welche Erwartungen haben die chinesischen Kunden an die Mobilität der Zukunft?

Prof. Dr. Zhuoping Yu Genau wie in Europa und in den USA gewinnt die individuelle Mobilität für Chinesen immer mehr an Bedeutung. Momentan verfügen circa 100 von 1000 Einwohnern über ein eigenes Fahrzeug. Diese Zahl wird sich jedoch in den nächsten Jahren auf rund 300 erhöhen. Diese enorme Steigerung an Fahrzeugen erfordert eine entsprechende Infrastruktur. Aufgrund von bekannten Problemen hinsichtlich Emissionen und Platz ist es nicht einfach damit getan, neue Straßen und Parkplätze zu bauen, es werden intelligente Verkehrssysteme oder eine Art neue Verkehrsorganisation benötigt. Hierzu existieren Ideen für eine eingeschränkte Nutzung von Autos – bestimmte Kennzeichen fahren nur noch an bestimmten Tagen – und zu unterschiedlichen Carsharing-Modellen.

Jianying Wang Ich denke, die chinesischen Kunden erwarten vor allen Dingen Sicherheit und Fahrkomfort. Dabei sind niedrige Emissionen und erschwingliche Preise weiterhin sehr wichtig. Um dies zu gewährleisten, kann die Verknüpfung der individuellen Mobilität mit den öffentlichen Verkehrsmitteln eine vielversprechende Lösungsmöglichkeit darstellen.

Welche Technologien werden die Automobilindustrie in den nächsten Jahren besonders prägen?

Yu Ich sehe Elektromobilität, Leichtbau und intelligente Techniken zur Fahrerentlastung als wichtige Themen der Zukunft. Mobilität ist in unserem Land noch keine Selbstverständlichkeit. Immer mehr Menschen können und wollen sich heutzutage ein eigenes Fahrzeug leisten, da dies eine neue Art von Flexibilität und Freiheit eröffnet. Diese Entwicklung stellt uns jedoch vor neue

Herausforderungen bei Verkehr und Umwelt. Um Energieverbrauch und Umweltverschmutzung zu reduzieren, ist die Weiterentwicklung von alternativen Antriebskonzepten ein Muss. In Bezug auf Verkehrssicherheit gewinnen intelligente Technologien wie zum Beispiel Fahrerassistenzsysteme zunehmend an Bedeutung.

Wang Das Thema Leichtbau wird in Zukunft eine noch wichtigere Rolle einnehmen, insbesondere im Zusammenhang mit Verbrauchsreduktion und Elektrofahrzeugen. Hier stehen wir jedoch aktuell noch vor den Herausforderungen von hohen Produktionskosten und dem Thema Fahrzeugsicherheit. Es bedarf der Weiterentwicklung verschiedener Technologien und Techniken, um unterschiedliche Materialien im Fahrzeug verlässlich miteinander zu verbinden. Wir bei Porsche Engineering treiben hierfür unterschiedliche Konzepte voran. ➤



Das Thema Leichtbau wird in Zukunft eine noch wichtigere Rolle einnehmen, insbesondere im Zusammenhang mit Verbrauchsreduktion und Elektrofahrzeugen.

Jianying Wang

Worauf wird es in Zukunft bei den Entwicklungsprozessen ankommen?

Wang Die einzelnen Entwicklungszyklen und damit die Gesamtdauer von Entwicklungsprozessen wird mehr und mehr verkürzt, alles wird noch schnell-

lebiger. Eine kontinuierliche Marktbeobachtung ist wichtiger denn je, gleichermaßen jedoch immer schwieriger. Was heute noch als Neuigkeit gilt, ist morgen bereits veraltet. Daraus entstehen neue organisatorische Anforderungen. So werden stetig neue Tools oder

Frontloading-Maßnahmen etabliert, um mit den Geschwindigkeiten mithalten zu können.

Yu Die Entwicklungsprozesse werden in Zukunft mehr denn je von Zulieferindustrien und anderen Industriezweigen beeinflusst. Ein Automobilhersteller wird sich noch ausschließlicher auf den Kernprozess der Entwicklung konzentrieren. Radnabenantriebe für Elektrofahrzeuge beispielsweise oder die Batterie zählen nicht zum Kerngeschäft eines Automobilherstellers. Entwicklungsprozesse werden weiter unterteilt und Teilprozesse an Dienstleister vergeben. Auch der Vertrieb beziehungsweise die Verkaufssysteme werden sich verändern. Das Nutzen eines Fahrzeugs bedeutet nicht gleichermaßen dessen Kauf. Eine solche Denkweise erfordert durchdachte Nutzungs- und IT-Systeme, was den Entwicklungsprozess beeinflusst und von Beginn an berücksichtigt werden muss. Die erfolgreiche

Integration von Systempartnern, sprich Zusammenarbeit und Kommunikation, bildet die Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Abwicklung von Entwicklungsprozessen.

Non-automotive Firmen, vor allem Technologiefirmen wie Google und Apple, haben den Automobilmarkt betreten. Was bedeutet das für die Weiterentwicklung der Branche?

Wang Es entsteht eine neue Wettbewerbssituation. In Zukunft können Kooperationen mit Technologiefirmen dieser Art hilfreich sein, um gemeinsam bestmöglich von den jeweiligen Erfahrungen und Entwicklungen zu profitieren.

Yu Meiner Meinung nach werden die Rollen neu verteilt. Google wird in Zukunft ein wichtiger Zulieferer und Kooperationspartner sein. Die Automobilhersteller stehen vor großen Anstrengungen, um die vorherrschende gute Marktposition durch diese aufstrebenden Technologieunternehmen nicht zu verlieren.

Herr Professor Yu, inwieweit beeinflusst die Nachfrage nach nachhaltiger Mobilität Ihre Arbeit an der Universität?

Yu Unsere Universität beziehungsweise unser Studien- und Lehrangebot entwickelt sich gemäß den Anforderungen weiter, die die Themen rund um nachhaltige Mobilität mit sich bringen. Im Jahr 2010 wurde ein Arbeitskreis für E-Mobilität ins Leben gerufen, an dem neben der Universität Tongji und der Technischen Universität München zwei weitere chinesische Universitäten sowie die Shanghai Automotive Industry Corporation (SAIC) beteiligt sind. Infolgedessen wurde bereits ein Kooperations- und Integrationszentrum für Elektrofahrzeuge gegründet. Ziel ist es, die Vorentwicklung von Innovationen

zu diesem Themenfeld voranzutreiben. Es gilt, das Thema der Nachhaltigkeit in das Ausbildungssystem zu integrieren. Im Rahmen von Elektromobilität ist an der Universität auch die intelligente Verkehrssteuerung als wichtiges Thema der Zukunft zu bearbeiten.

Wie unterscheidet sich die Tongji-Universität von anderen Universitäten?

Yu Im Vergleich zu anderen chinesischen Universitäten pflegt Tongji intensive Beziehungen zu renommierten deutschen Hochschulen und Unternehmen. Bereits seit der Gründung im Jahr 1907 existieren enge Kontakte zu deutschen Hochschulen der Fachbereiche Medizin und Maschinenbau beziehungsweise Bauwesen. Ende der 1980er-Jahre wurde bei uns der Studiengang Fahrzeugtechnik gegründet. Zudem ist unser Studien- und Lehrangebot sehr praxisbezogen und zukunftsorientiert. Tongji hat seit jeher die industriellen Entwicklungen in China begleitet und das Studienangebot kontinuierlich an unternehmerische Bedürfnisse ange-

passt. Ebenso ist es Pflicht, im Rahmen des Studiums ein Praktikum zu absolvieren – wie dies auch in Deutschland häufig der Fall ist, um bereits im Studium Praxisbezug herzustellen. Die stetig steigende Zahl der Studenten und auch das Feedback, das wir von Unternehmensseite bekommen, bestätigen uns in dieser Vorgehensweise.

Wang Aus diesen Gründen kooperieren auch wir mit der Tongji-Universität und unterstützen insbesondere die Fakultät Fahrzeugtechnik. Erfahrene Mitarbeiter von Porsche Engineering halten Gastvorträge an der Hochschule und vergeben auch Themen für Studienarbeiten an die Studenten.

Zum Abschluss noch eine ganz andere Frage, Herr Professor Yu: Angenommen, Sie sollten eine Erprobungsfahrt im Rahmen der Porsche-Serienentwicklung durchführen. Welches Porsche-Modell würden Sie wählen?

Yu Einen Porsche Cayenne S E-Hybrid! Wann können wir starten? ■

Die Automobilhersteller stehen vor großen Herausforderungen, um die vorherrschende gute Marktposition nicht durch aufstrebende Technologieunternehmen zu verlieren.

Prof. Dr. Zhuoping Yu

CAYENNE S E-HYBRID – Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 3,4 l/100 km, CO₂-Emission: 79 g/km, Stromverbrauch: 20,8 kWh/100km, Effizienzklasse: A+



CAYMAN GT4

Verbrauch
innerorts: 14,8 l/100 km
außerorts: 7,8 l/100 km
kombiniert: 10,3 l/100 km
CO₂-Emission: 238 g/km
Effizienzklasse: G

Rebels, race on.

Der neue Cayman GT4:
Maximale Fahrdynamik,
gekoppelt mit
Alltagstauglichkeit

Das neue Mitglied der GT-Familie – der Porsche Cayman GT4 – feierte Anfang März diesen Jahres seine Weltpremiere auf dem Genfer Autosalon. Porsche präsentierte damit erstmals auf Basis des Cayman einen GT-Sportwagen, der Komponenten des 911 GT3 in sich trägt. Motor und Fahrwerk, Bremsen und Aerodynamik sind auf maximale Fahrdynamik ausgelegt, dennoch behält das Topmodell die typische Vielseitigkeit und Alltagstauglichkeit der zweisitzigen Porsche-Coupés.

Das Design: ein Aerodynamikpaket

Jedes Element des Exterieurs hat eine Funktion. So überzeugt der GT4 nicht nur mit seinem Design, sondern zeigt auch Bestleistung auf der Rennstrecke: Mit einer Rundenzeit von 7 Minuten und 40 Sekunden auf der Nürburgring-Nordschleife platziert sich der GT4 in einer Spitzenposition.

Die Front ist nicht nur für das Auge ein einschneidendes Erlebnis, sondern vor allem für den Wind. Die stark ausgeprägte Bugspoilerlippe zieht sich über die gesamte Breite des Bugteils und sorgt mit zusätzlichen Anspoilerungen vor den Radhäusern für aerodynamischen Abtrieb an der Vorderachse. Die großen Lufteinlässe ermöglichen eine gute Durchströmung der Wasserkühler. Der zentrale Lufteinlass lenkt zudem den Luftstrom durch die Abluftöffnung vor dem Kofferraumdeckel nach oben und unterstützt so den aerodynamischen Abtrieb vor Steinschlag. Die Porsche-typisch breit ausgeformten Kotflügel fassen die Bi-Xenon-Scheinwerfer mit schwarzem Innendesign ein.



Cayman GT4: die Aerodynamik

Auch die seitlichen Lufteinlässe hinter den Türen sind ein Musterbeispiel für performanceorientiertes Design: Sideblades mit geprägtem „GT4“-Schriftzug sorgen für zusätzlichen Staudruck. Das Ergebnis ist eine bessere Luftansaugung und effizientere Kühlung des Motors. Die Karosserie liegt im Vergleich zum Cayman 30 Millimeter tiefer. Somit rückt der neue Cayman GT4 noch näher an den Asphalt. Der Vorteil: ein tiefer Fahrzeugschwerpunkt für besonders sportliches Fahrverhalten. Für den optimalen Straßenkontakt sorgen die 20 Zoll großen, platinfarbenen Leichtmetallräder. Sie sitzen weit außen und füllen mit ihren großen Dimensionen die Radkästen nahezu vollständig aus. Das verbessert in Verbindung mit den serienmäßigen Sportreifen sowohl die Traktion als auch die Kurvenperformance. Das V-förmige Design der Radsterne findet sich auch an den serienmäßigen SportDesign-Außenspiegeln wieder.

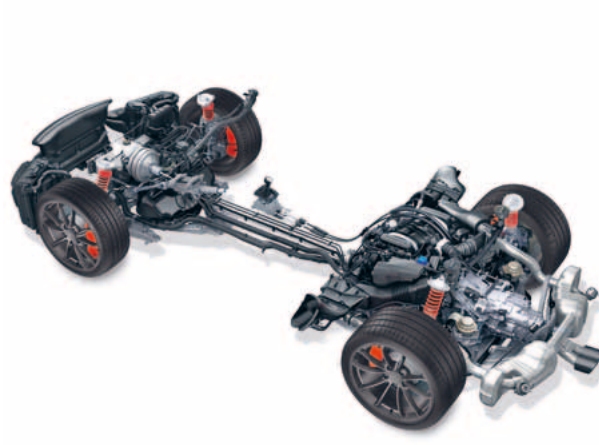
Am deutlichsten zeigt sich die Abstammung des neuen Cayman GT4 am Heck. Der fest stehende Flügel mit Stützen aus Aluminium steht für Motorsport in Reinkultur. In Kombination mit dem darunter liegenden Spoiler mit integrierter Abrißkante sorgt er für spürbaren Abtrieb an der Hinterachse. Die Sideplates des Flügels sind auf bestmögliche Aerodynamik abgestimmt – noch ein Beleg dafür, dass alle Details konsequent aufeinander ausgerichtet sind. Der kraftvolle Abschluss ist das schwarze Heckunterteil in Diffusor-Optik mit zwei zentral eingepassten Endrohren, ebenfalls in Schwarz. Der Sound bricht dank serienmäßiger Sportabgasanlage mit Gewalt vor.

Motor und Getriebe zu einer Antriebseinheit verschraubt

Im neuen Cayman GT4 trifft die Porsche-typische GT-Performance auf die hohe Agilität und Kurvendynamik eines überzeugenden Mittelmotor-Konzepts. Sein Triebwerk ist ein Sechszylinder-Boxermotor, der aus dem 911-Carrera-S-Aggregat abgeleitet wurde. Die Kraftübertragung übernimmt ein Sechsgang-Schaltgetriebe mit dynamischen Getriebelagern. Das exakt geführte und besonders leichte Schaltgetriebe bringt mit seinen speziell abgestimmten Übersetzungen die hohe Leistung des Motors auf die Straße. Der Motor verfügt über Benzindirekteinspritzung (DFI), VarioCam Plus und integrierte Trockensumpfschmierung. Obendrein sorgt eine variable Sauganlage mit schaltbarer Resonanzklappe für eine gute Beatmung des Motors. Aus 3,8 Liter Hubraum zieht er stolze 283 kW (385 PS) bei 7400/min. Das maximale Drehmoment von 420 Nm ist über einen Bereich von 4750 bis 6000/min verfügbar. Gemeinsam mit einem niedrigen Leistungsgewicht von 4,7 kg/kW (3,5 kg/PS) führt das zu einer regelrechten Leistungsexplosion, und einem 100-km/h-Spurt in nur 4,4 Sekunden. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 295 km/h.



Der GT4 überzeugt mit seinem wassergekühlten Sechszylinder-Boxermotor.



Das Fahrwerk ist auf bedingungslose Performance ausgelegt.

Das Fahrwerk: für hohe Agilität, Stabilität und Spurgenauigkeit

Das gesamte Fahrwerk ist auf die hohen Anforderungen im Rundstreckenbetrieb ausgelegt. Für hohe Agilität, Stabilität und Spurgenauigkeit kommt an der Vorderachse eine verstärkte McPherson-Federbeinachse mit rundstreckenerprobter Kinematik sowie einzeln an Längs- und Querlenkern aufgehängten Rädern zum Einsatz. Auch die Hinterachse ist durch zusätzliche Verstärkungen und spezifische Radträger an die sportliche Höchstleistung des neuen Cayman GT4 angepasst. Einzelne Kugelgelenke an beiden Achsen binden das Fahrwerk zudem besonders straff an die Karosserie an und ermöglichen damit eine noch präzisere Radführung. Höhe, Sturz und Spur wie auch die Stabilisatoren des Fahrwerks lassen sich für den Rundstreckeneinsatz individuell einstellen. Denn dort macht jeder Millimeter einen Unterschied – für weniger Hundertstelsekunden pro Runde. Und mehr Adrenalin im Blut.

Der Cayman GT4 verfügt über dynamische Getriebelager. Das elektronisch geregelte System minimiert einerseits die spürbaren Schwingungen und Vibrationen des gesamten Antriebsstrangs, insbesondere des Motors, andererseits passt es Dämpferkraft und Steifigkeit an Fahrweise und Fahrbahnbeschaffenheit an. So können sowohl die Vorteile einer harten als auch einer weichen Motorlagerung genutzt werden. Bei Lastwechseln und in schnellen Kurven wird das Fahrverhalten

merklich stabiler und präziser. Gleichzeitig werden die vertikalen Schwingungen des Motors bei einer Beschleunigung unter Volllast reduziert. Das Ergebnis ist eine gleichmäßigere und höhere Antriebskraft an der Hinterachse, höhere Traktion und eine bessere Beschleunigung. Und bei gemäßigter Fahrweise steigt dank weicherer Einstellung der dynamischen Getriebelager auch der Fahrkomfort.

Darüber hinaus verbessert das serienmäßige Porsche Torque Vectoring (PTV) inklusive Hinterachsquersperre nochmals die Fahrdynamik des GT4. Dabei ermöglicht die Hinterachsquersperre bei Lastwechseln in Kurven und beim Spurwechsel eine höhere Traktion sowie eine deutlich gesteigerte Querdynamik und Fahrstabilität. Des Weiteren erfolgen bei dynamischer Fahrweise bereits mit dem Einschlagen der Lenkung gezielte Bremsengriffe am kurveninneren Hinterrad – dies sorgt für einen zusätzlichen Drehimpuls in die eingeschlagene Richtung.

PSM und PCCB für optimale Bremsperformance

Das Porsche Stability Management (PSM) ist ein automatisches Regelsystem zur Stabilisierung im fahrdynamischen Grenzbereich. Neben dem Antiblockiersystem (ABS) umfasst es die Regelsysteme Electronic Stability Control (ESC) und Traction Control (TC). Sensoren ermitteln permanent

Fahrtrichtung, Fahr- und Giergeschwindigkeit sowie Querbeschleunigung. Daraus errechnet das PSM die tatsächliche Bewegungsrichtung. Weicht sie von der gewünschten Spur ab, initiiert es gezielte Bremsvorgänge an einzelnen Rädern. Das Besondere am PSM des neuen Cayman GT4 ist die sportliche Abstimmung mit äußerst sensiblen und präzise dosierten Regeleingriffen. Außerdem lassen sich die Systeme in zwei Stufen komplett abschalten.

*Der Cayman GT4 verkörpert
die emotionalste Verbindung
zwischen Alltag und Rennstrecke.*

Mit ihren besonders großen Bremsscheibendurchmessern, 410 Millimeter vorn und 390 hinten, bietet die optionale Keramikbremsanlage eine noch höhere Bremsleistung. Der entscheidende Vorteil der Porsche Ceramic Composite Brake (PCCB) ist das extrem niedrige Gewicht. Die Bremsscheiben sind etwa 50 Prozent leichter als Graugusscheiben vergleichbarer Bauart und Dimensionierung. Das macht sich nicht nur bei Fahrleistung und Verbrauch positiv bemerkbar, sondern reduziert auch die ungefederten und rotatorischen Massen, was eine bessere Bodenhaftung sowie gesteigerter Fahr- und Abrollkomfort vor allem auf unebenen Straßen bewirkt.

Fazit

Der neue Cayman GT4 existiert nicht für den Stillstand, sondern für die volle Fahrt. Die Aerodynamik ist abtriebsorientiert, die Motorleistung gesteigert. Fahrwerk und Bremse sind auf bedingungslose Performance ausgelegt. Als GT-Sportwagen von Porsche verkörpert der Cayman GT4 die emotionalste Verbindung zwischen Alltag und Rundstrecke und damit den sportlichen Kern der Marke: Intelligent Performance. ■



Optische Messung der Ventiltemperatur

Die moderne Motorenentwicklung verlangt nach immer flexibleren und dynamischeren Prozessen. Kernpunkte sind dabei Schnelligkeit und Präzision der Messmethoden. Porsche Engineering hat ein Verfahren zur berührungslosen transienten Online-Messung von Bauteiltemperaturen entwickelt, das direkt am Motorprüfstand oder im Fahrzeug einsetzbar ist. Das neue Werkzeug bildet eine wesentliche Grundlage für weitere Steigerungen der spezifischen Motorleistung und für zukünftige CO₂- und Verbrauchsoptimierungen.

Von Johannes Wüst und Maximilian Fischer

Gesetzliche Anforderungen und der Kundenwunsch nach verbrauchsärmeren Fahrzeugen führten in den vergangenen Jahren zu starken Veränderungen bei der Motorisierung neuer Fahrzeuggenerationen. Drei wesentliche Tendenzen prägten dabei die technologische Entwicklung: erstens die Einführung der Kraftstoff-Direkteinspritzung, die in Europa praktisch flächendeckend abgeschlossen ist. Hier stellt sich den Entwicklern aktuell die Frage nach der Erfüllung der zukünftigen Euro-6-Emissionsgrenzwerte zu möglichst geringen Produktmehrkosten. Zweitens werden Otto-Saugmotoren zunehmend durch hubraumkleinere aufgeladene Motoren ersetzt, was unter dem Oberbegriff Downsizing beschrieben wird. Drittens hielten weitere Optimierungen wie beispielsweise Thermomanagement, Start-Stopp-Funktion, Hybridisierung und Reibungsreduktion Einzug.

Insbesondere Direkteinspritzung und Downsizing führten zu einer steigenden spezifischen Motorleistung. Werte um 90 bis 100 kW/l sind heute Stand der Technik und werden in naher Zukunft

aufgrund der stetigen Weiterentwicklung im Abgasturboladerbereich, der Einspritztechnologien sowie der Brennverfahrensentwicklung weiter wachsen.

Diese Leistungsverdichtung führt zu einer deutlichen Steigerung der spezifischen Wärmeenergie, wodurch auch die thermische Belastung vieler Motorkomponenten steigt. Betroffen sind vor allem die Kolben, die Ladungswechselventile, der Zylinderkopf, der Abgaskrümmen und der Turbolader. Die gängigen Gegenmaßnahmen sind Anpassung der Motorkühlung, konstruktive Mittel wie etwa integrierte Abgaskrümmen oder Kolbenkühlung oder auch höherwertige Werkstoffe. In aller Regel entstehen dadurch jedoch Mehrkosten.

Jede Motorenentwicklung steht daher vor dem Zielkonflikt zwischen technischen Maßnahmen, zum Beispiel zur Verbrauchsreduktion, und der Vermarktbarkeit, also Kostengrenzen. Ein typischer Fall ist die Werkstoffwahl und die konstruktive Ausführung von Auslassventilen: Einerseits besteht die Möglichkeit, durch Gemischanreicherung im

oberen Lastbereich die Abgastemperaturen zu begrenzen und damit die Bauteiltemperaturen der Auslassventile zu reduzieren. Dadurch können kostengünstigere Werkstoffe für die Auslassventile eingesetzt werden, allerdings steigt der Kraftstoffverbrauch in diesen Lastbereichen an. Andererseits kann man höherwertige Werkstoffe verwenden, etwa durch das Ersetzen einer gängigen Stahllegierung wie X50 durch Nimonic, oder natriumgekühlte Ventile einsetzen. Beides führt aber zu einer deutlichen Erhöhung der Teilepreise. Generell steht jedoch im Vordergrund, das thermomechanische Potenzial des eingesetzten Werkstoffs und der konstruktiven Ausführung voll auszuschöpfen.

Der Stand der Technik beim Messen der Ventiltemperaturen

Zur Bestimmung der Ventiltemperaturen werden seit vielen Jahren thermometrische Ventile eingesetzt, bei denen aus Änderungen der Materialhärte auf die Ventiltemperatur geschlossen werden kann. Dieses Verfahren ist etabliert,

allerdings liegen die Messergebnisse erst mit deutlicher Verzögerung vor: Der Motor muss erst zerlegt und die Ventile im Labor analysiert werden, was sich zeitlich nur schlecht in heutigen dynamischen Entwicklungsprozessen einbinden lässt. Weiterhin können nur bestimmte Werkstoffe verwendet werden, weshalb die Messventile möglicherweise nicht den Realzustand widerspiegeln. Das Ergebnis lässt auch nur auf die maximale Temperatur schließen, die mit dem verwendeten Applikationsstand in einem gemessenen Betriebspunkt am Ventil herrschte. Informationen über die Ventiltemperatur in anderen Lastpunkten oder mit anderer Applikation gibt es mit einer einzigen Messung nicht.

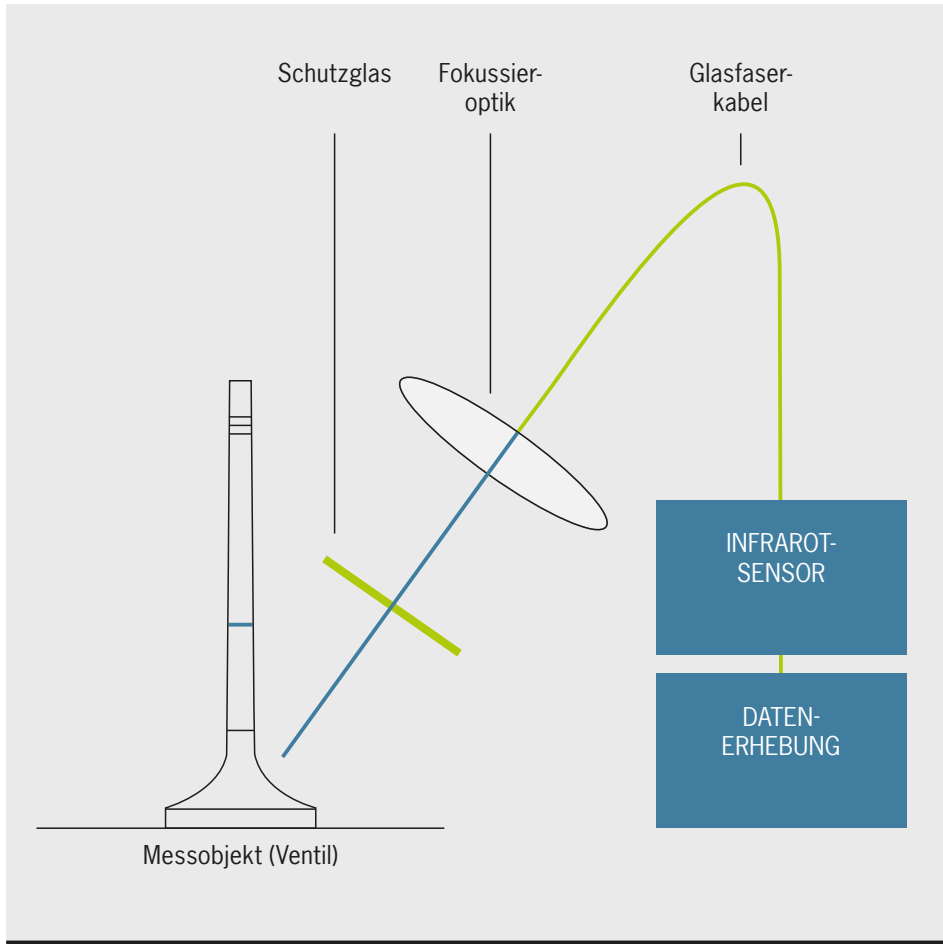
In Sonderfällen werden auch Thermoelemente in die Ventile integriert und mit telemetrischer Signalübertragung überwacht. Dieses Verfahren ist aufwendig und bezüglich der Zuverlässigkeit kritisch, es hat sich daher nicht als Standard durchgesetzt.

Die Anforderungen und die Motivation

Im Fokus der Entwicklung von Porsche Engineering stand das Generieren eines Messsignals, das dem Versuchingenieur am Prüfstand oder im Fahrzeug in Echtzeit zur Verfügung steht. Die Effizienz des Entwicklungsprozesses sowohl in der Mechanik als auch in

der Applikation kann dadurch wesentlich gesteigert werden. Dabei wurde im Lastenheft definiert:

- > Messbereich bis rund 500 Grad Celsius für Einlassventile und bis circa 900 Grad Celsius für Auslassventile; Sensorumgebungstemperatur bis maximal 125 Grad Celsius
- > Messgenauigkeit vergleichbar mit thermometrischen Ventilen oder besser (<10 Kelvin)
- > hohe Signaldynamik und Verfügbarkeit des Messsignals in Echtzeit
- > Unempfindlichkeit gegen Reflexionen und leichte Verschmutzung
- > geringer Bauraumbedarf



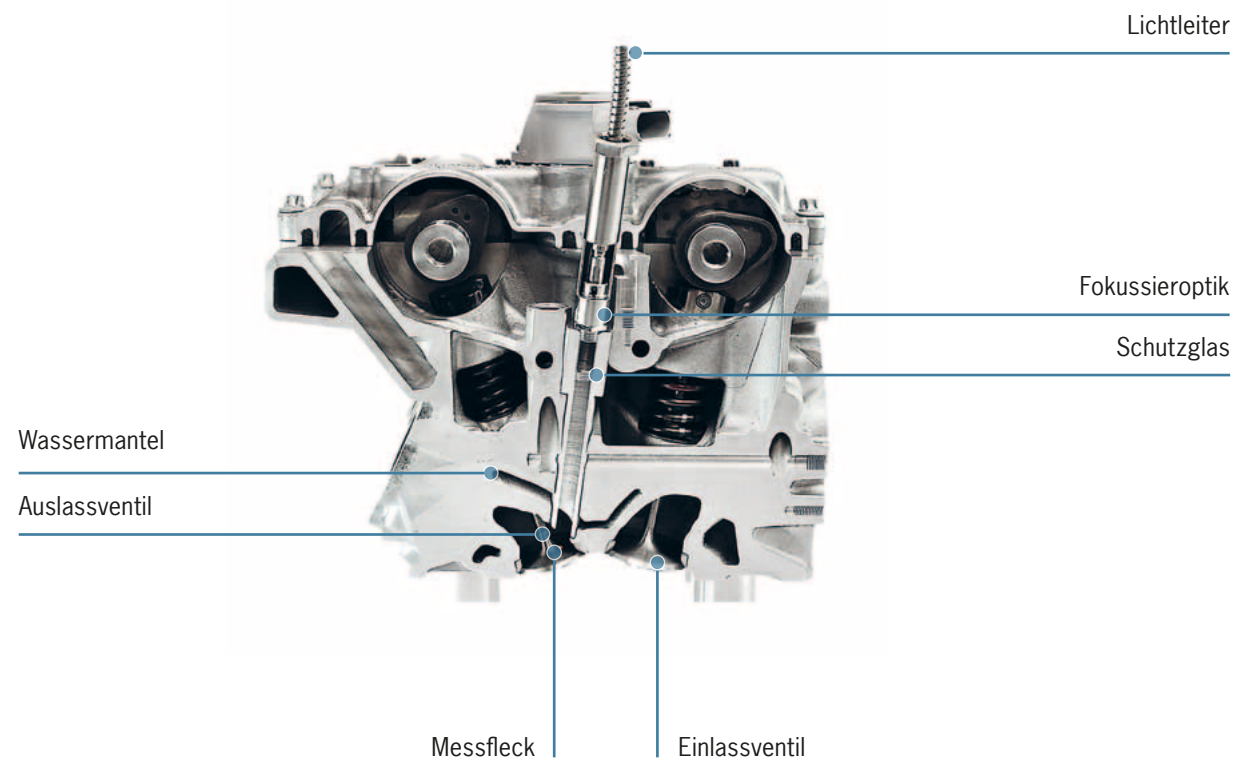
Messtechnischer Aufbau

Von den ersten Überlegungen bis zur Markteinführung im Jahr 2013 durchlief das Projekt mehrere Entwicklungsschleifen. Seither wurde das Messverfahren in einigen Kundenprojekten erfolgreich eingesetzt. So diente es beispielsweise der Ursachenerforschung von Ventilschäden und von übermäßigem Verschleiß von Ventilsitzringen. Weitere Einsätze waren die Vergleiche unterschiedlicher Ventilausführungen mit und ohne Natriumfüllung sowie von unterschiedlichen Motorapplikationen, dabei ging es um die Auswahl des kostengünstigsten Ventilwerkstoffs für jede Applikationsvariante.

Aktuell ist das Entwicklungswerkzeug bei Porsche Engineering bereits in der vierten Evolutionsstufe im Einsatz.

Das Messsystem

Zentraler Punkt der Ventiltemperaturmessung ist ein pyrometrischer Infrarotsensor. In Vorversuchen wurden geeignete Sensortypen ausgewählt, die sich >



Sensoreinbau im Zylinderkopf eines Porsche-911-Motors

aufgrund ihrer Eigenschaften für diese Applikation eignen.

Die Messkette selbst besteht aus dem Infrarotsensor, einem Controller und einem Messrechner. Ein Saphirglas schützt den Sensor vor den hohen Abgastemperaturen und dem Abgasgegendruck. Das Messsignal kann ohne Probleme in die üblichen Systeme von Motorprüfständen eingebunden werden. Soll die Messung im Fahrzeug erfolgen, kann das Signal alternativ im Applikationsrechner erfasst werden, um direkte Reaktionen auf den Applikationsstand zu erkennen.

Die konstruktive Umsetzung muss für jeden Motortyp individuell geprüft werden. Dabei können der Anwendungszweck und der Grund der Messung

Einfluss auf die Einbaulage des Sensors nehmen.

Eine Herausforderung dieser Konstruktion – sofern sie nicht bei prototypischen Zylinderköpfen im Gussteil bereits vorgehalten werden kann – ist die Schaffung des Sensorzugangs durch den Ölraum und den Kühlwassermantel bis in den Auslasskanal. Problem Punkt war dabei das Abdichten der Hülse gegen das Kühlwasser, der mithilfe eines aufwendigen Schweißverfahrens gelöst werden konnte. Damit kann das Verfahren auch an bereits entwickelten Zylinderköpfen eingesetzt werden.

In der aktuellen Evolutionsstufe kommt ein weiterer Sensortyp zur Anwendung, der über ein Glasfaserkabel komplett

vom Motor getrennt verbaut werden kann. Neben einer noch höheren Dynamik ist dieser Aufbau noch unempfindlicher gegen thermische Belastungen, Verschmutzung und auch mechanische Sensorbelastungen. Mögliche optische Reflexionen werden durch mattschwarze Beschichtungen und möglichst günstige optische Einfallswinkel des Messstrahls vermieden.

Die Optikverschmutzung und deren Abhilfe

Ein neuralgischer Punkt ist die Verschmutzung des Schutzglases durch Ruß aus dem Abgas. Insbesondere wenn Ventiltemperaturmessungen über längere Versuchszeiten erfolgen, können die Ablagerungen bestimmter Länder

kraftstoffe die mögliche Messdauer massiv reduzieren. Zur Lösung dieser Problematik entwickelten die Ingenieure zwei unterschiedliche Abhilfemaßnahmen: eine konstruktive Ausführung mit schneller Reinigungsmöglichkeit des Schutzglases und die Nutzung eines Zweifarbpyrometers.

Das Prinzip der Zweifarbpyrometrie beruht auf der Verwendung von zwei Infrarotdetektoren, die in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen messen. Optik und Glasfaser nehmen das Signal weiterhin auf und leiten es im Sensorgehäuse durch ein Prisma auf die beiden Sensoren. Die spezifische Signalintensität jeder Wellenlänge analog zur Temperatur erlaubt es, die Signale im Controller durch Quotientenbildung abzugleichen. Dadurch steigt die Präzi

sion der Messung und eine gegebenenfalls vorliegende Signaldämpfung wird kompensiert. Darüber hinaus lassen sich dadurch der Intensitätsverlust und damit der Verschmutzungsgrad erkennen. Die Vorgabe einer maximal erlaubten Signalschwächung veranlasst den Controller beim Erreichen des Grenzwertes zum Abschalten des Sensors, die Optik muss dann gereinigt werden. Dieses Verfahren gewährleistet eine gleichbleibende Qualität der Messungen.

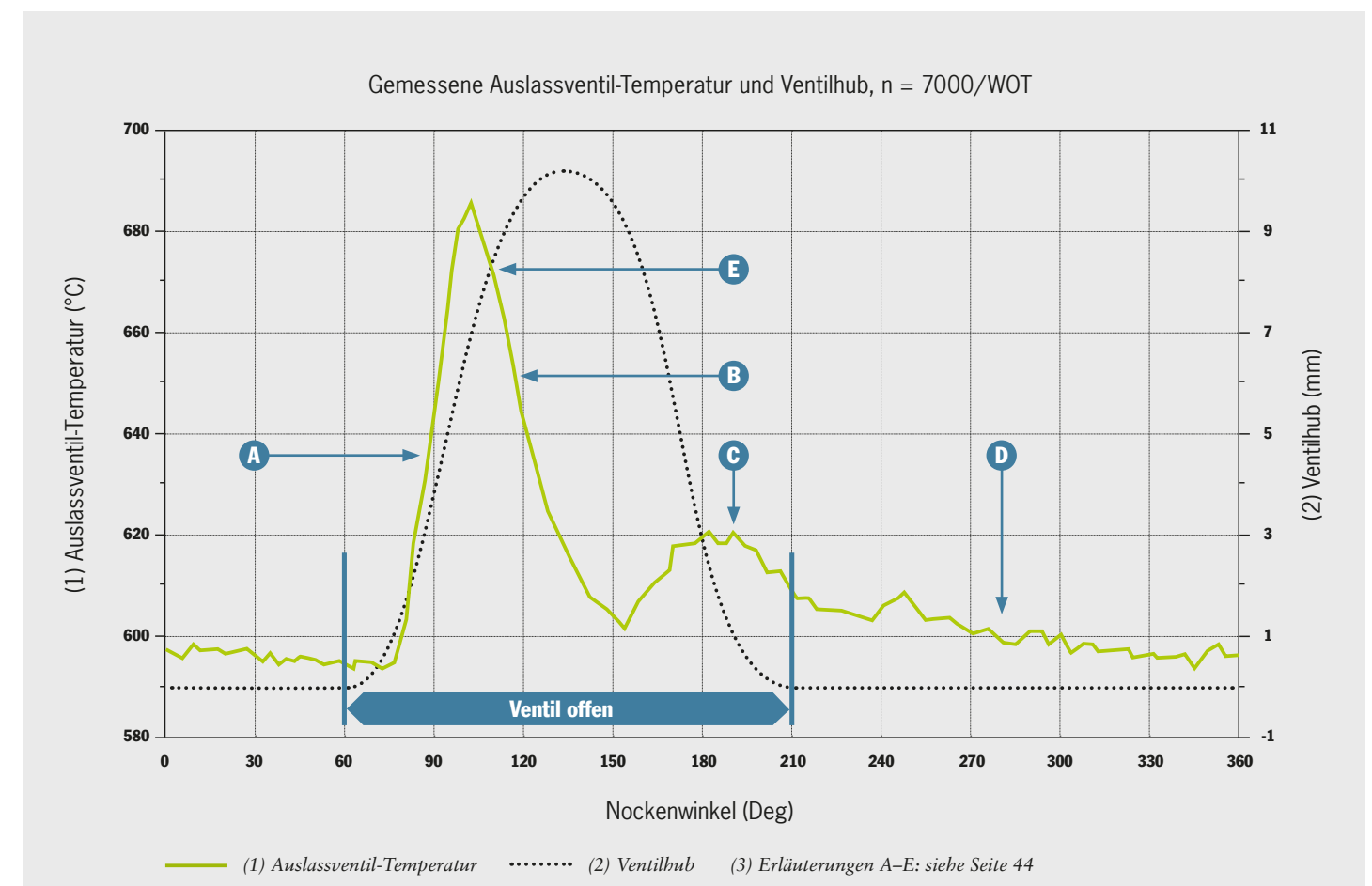
Die Konzeptvalidierung

Um die Möglichkeiten dieses Systems aufzuzeigen, startete Anfang 2014 in Nardò (Italien) eine umfangreiche interne Versuchsreihe mit zwei Versuchsfahrzeugen. Sowohl die zweitägige,

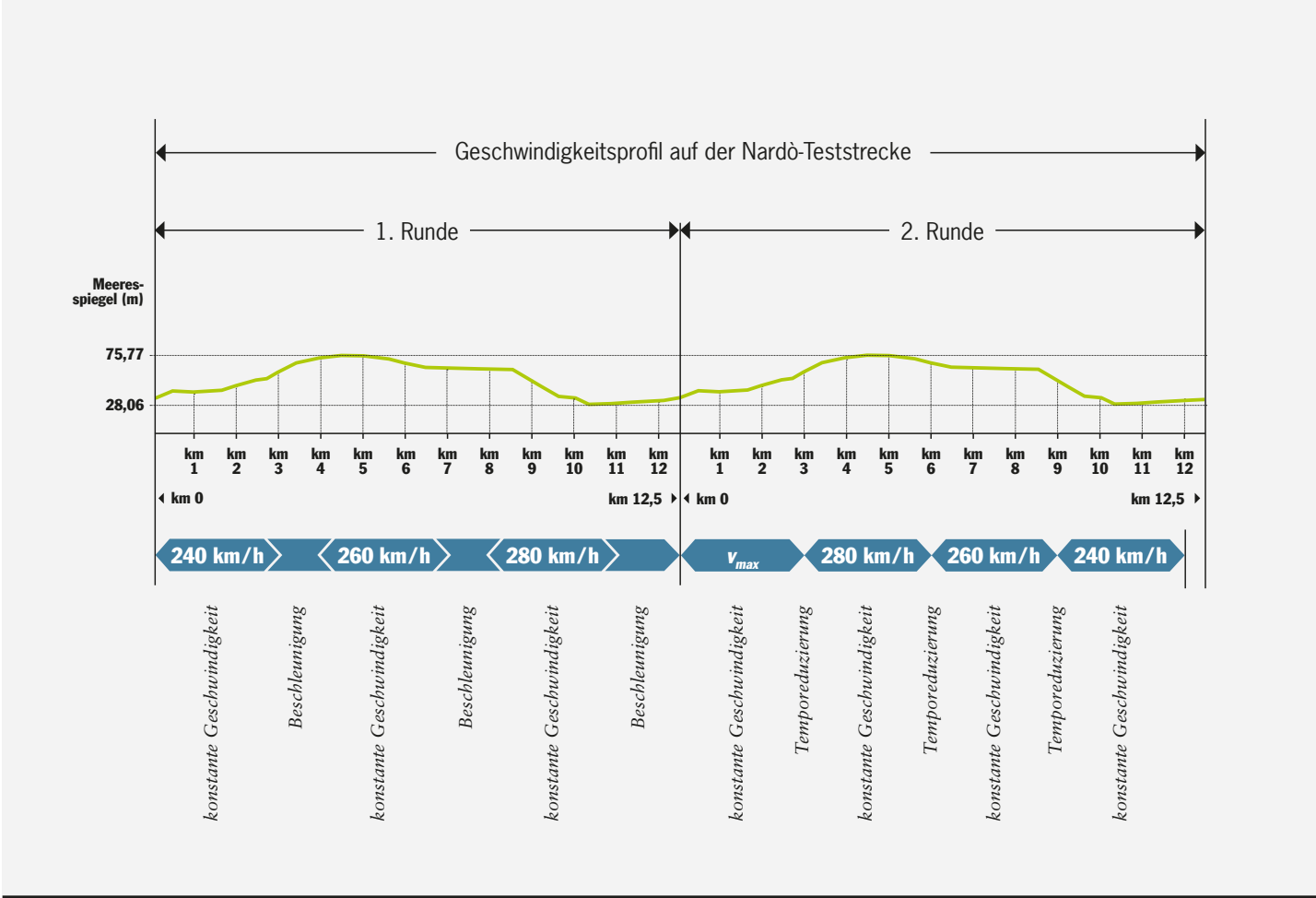
1600 Kilometer lange Anreise als auch die Rückreise absolvierten beide Fahrzeuge auf eigener Achse, um mit einem Langzeit-Datenlogging die Robustheit des Messsystems nachzuweisen.

Die Messungen im Nardò Technical Center von Porsche Engineering liefen im Rahmen eines umfangreichen Versuchsprogramms ab. Beide Versuchsfahrzeuge waren mit direkteinspritzenden Sechszylinder-Boxer-Saugmotoren in zwei unterschiedlichen Leistungsstufen ausgerüstet. Bei den zu untersuchenden Auslassventilen handelte es sich um Hohl schaftventile mit Natriumfüllung.

Variiert wurden die Kraftstoffsorte, das Fahrprofil, der Sensor sowie abwechselnd die Applikationswerte für Zündwinkel, Lambda, Abgasgegendruck >



Ventilhub und Ventiltemperatur bei 7000/min in der Volllast



Fahrgeschwindigkeitsprofil auf der Rundstrecke in Nardò

und Kühlmitteltemperatur. Schon der Umfang dieser Versuchsmatrix zeigt, welches Potenzial zur Datengewinnung in dieser Messtechnik steckt.

Die Resultate

Allein schon Auszüge aus den Ergebnissen vermitteln einen Eindruck von den Fähigkeiten des Messsystems. Ein Beispiel ist das hoch aufgelöste Temperatursignal. Die Abbildung auf Seite 43 zeigt einen Lastpunkt bei 7000/min in der Vollast, jedoch noch nicht in Beharung. Simultan zur Temperatur ist der Hub dieses Ventils dargestellt.

Erkennbar sind extrem hohe Temperaturgradienten, die nur mit masselosen

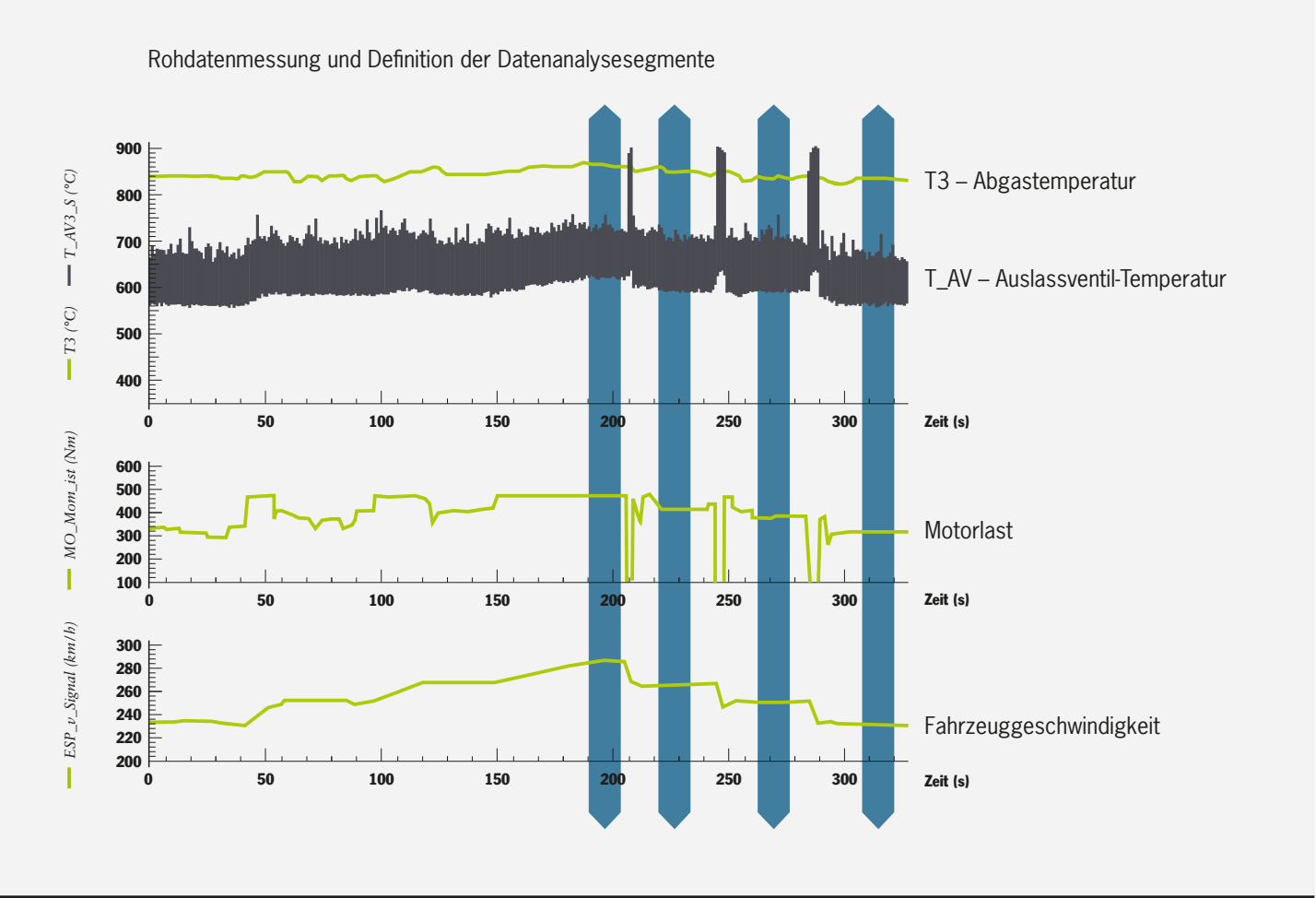
Messverfahren sichtbar werden. Die Interpretation dieser Temperaturverläufe ist allerdings nicht einfach. Die Kurve der lokal gemessenen Ventiltemperatur ist als Überlagerung von mindestens vier verschiedenen Effekten zu sehen:

- Aufheizen durch ausströmendes Abgas unter hohem Druck aus dem Brennraum (in der Abbildung auf Seite 43 Punkt A),
- scheinbare Abkühlung durch Bewegung des Messflecks in Richtung des kälteren Ventilschafts (B),
- Expansionseffekte und Gasdruckschwingungen im Auslasskanal (C),
- Abkühlung durch Wärmeübertragung von der Oberfläche ins Innere des Ventils, den Ventilsitz und die Ventilfehrung (D).

Als weiterer Effekt kommt gegebenenfalls ein Temperatur- und -abstieg durch Überfahren des heißesten Punktes am Ventil hinzu (E).

Zur Auswertung der Versuchsmatrix wurden die Datenmengen durch statistische Auswertungen von Mittel- und Maximalwerten stark komprimiert. Ein einheitliches Fahrprofil (Abbildung oben) stellte direkt vergleichbare Ergebnisse sicher. Für die statistischen Auswertungen zogen die Ingenieure jeweils eine Strecke von einem Kilometer der zweiten Messrunde heran (Abbildung rechte Seite).

Unter Last wurde bei dieser Versuchsreihe eine höchste gemessene Auslassventiltemperatur (T_AV) von 805,6 °C



Einzelmessung und Definition der statistischen Auswertebereiche, bezogen auf eine Strecke von 1 km

gemessen. Diese trat mit dem Schlechtkraftstoff in Verbindung mit einer leichten Applikationsänderung auf. Die höchste gemessene Abgastemperatur (T3) von 893,8 °C wurde über einen konventionellen Thermofühler beim Einsatz von Super Plus 100 in Verbindung mit einer leichten Applikationsänderung – einer Gemischabmagerung – ermittelt. Die insgesamt höchsten Auslassventiltemperaturen traten im befeuerten Schub auf. Hier ließen sich mit dem neuen trägheitslosen Messsystem Werte von über 900 Grad Celsius ablesen, dem für diese Versuchsreihe gewählten oberen Temperaturende der Sensorkalibrierung.

Zusammenfassung

Für die Entwicklung noch effizienterer und leichter, dabei leistungsstarker und robuster Motoren hat Porsche Engineering mit der neuen Messmethodik ein wertvolles Werkzeug geschaffen. Die Messergebnisse liegen unmittelbar während des Versuchs vor und der Effekt von Abhilfemaßnahmen kann im direkten Vorher-Nachher-Vergleich dargestellt werden. Dadurch verkürzen sich Entwicklungs- und Versuchszeiten signifikant.

Als weiterer Vorteil erschließt die berührungslose Messmethode zusätzliche Möglichkeiten zur CO₂- und Kraftstoffeinsparung, indem die thermomechanischen Grenzen der Ventile besser ausgeschöpft werden können.

Die Robustheit und Zuverlässigkeit des Messsystems hat sich bereits über eine Gesamteinsatzdauer von über 25 000 störungsfreien Kilometern bewiesen. Anfang 2014 wurde das Verfahren darüber hinaus erstmals erfolgreich bei der Temperaturmessung am Turbinenrad eines VTG-Laders angewandt. Als Weiterentwicklung kam dabei ein wassergekühlter Infrarotsensor zum Einsatz. ■

In Ihrem Auto lassen Sie ja auch nicht jeden hinters Steuer.
Warum sollte das bei Ihren Prozessen anders sein?



Mit MHP – Ihrem Prozesslieferanten – kommen Sie schneller und sicherer zum Ziel. Unser Antrieb ist dabei die perfekte Symbiose aus Management- und IT-Beratung. Kein Wunder, dürfen wir aktuell mit unseren 1.250 Mitarbeitern für 250 Kunden – darunter die Mehrheit der Top 50 Automobilunternehmen – beratend die Richtung mitbestimmen.

Mehr Informationen finden Sie unter: www.mhp.com

MHP
A PORSCHE COMPANY

Excellence in Management- and IT-Consulting for Automotive.

Deutschland | Schweiz | USA | China | Rumänien