Porsche Engineering
MAGAZIN

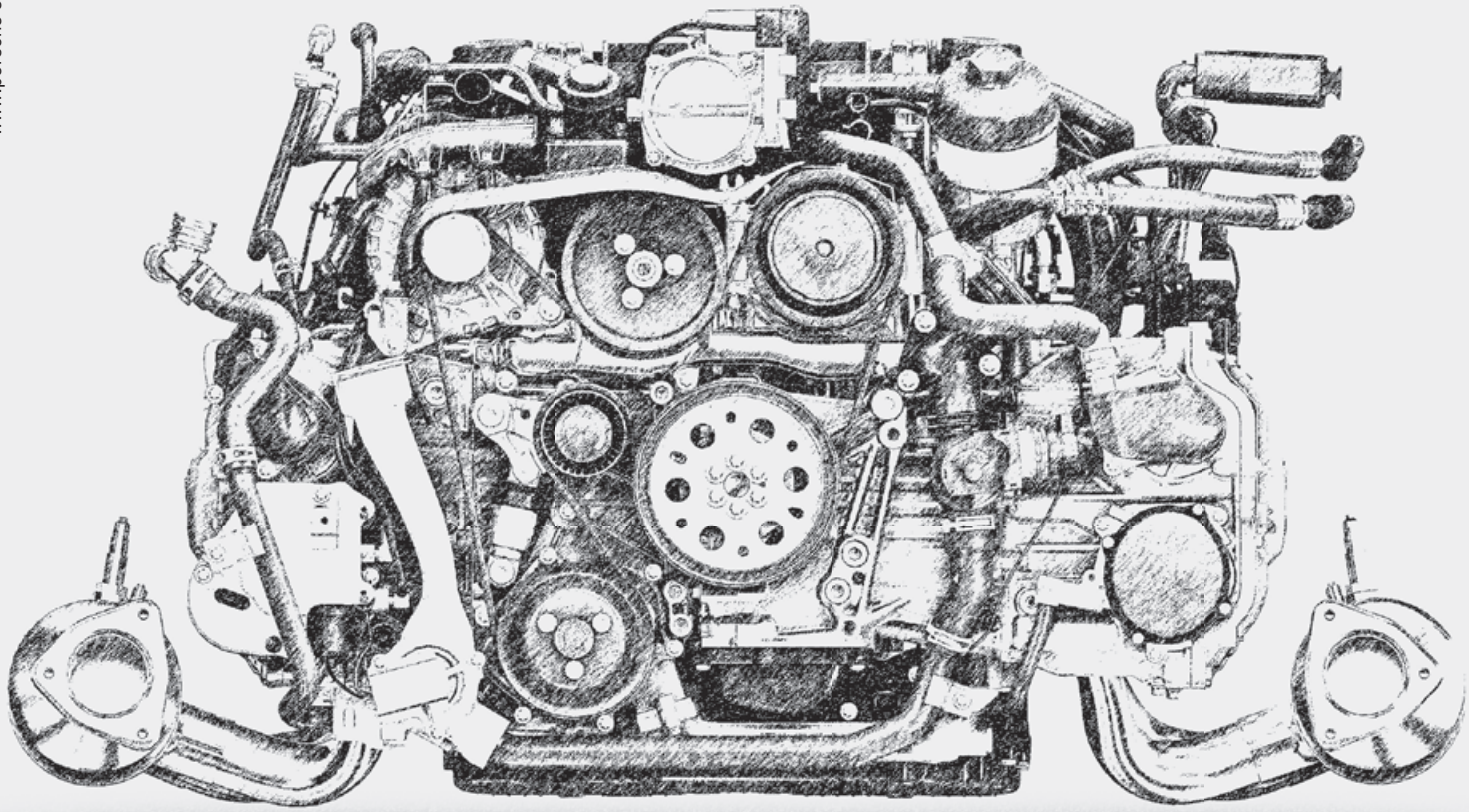
KUNDEN & MÄRKTE Scania und Porsche Engineering – eine Kooperation der besonderen Art
PORSCHE HAUTNAH Ein wahrer Kurvenkünstler: der neue Cayman
ENGINEERING INSIGHTS Effizientere Softwareentwicklung durch Rapid Control Prototyping

AUSGABE 1/2013

www.porsche-engineering.de

FACETTENREICH

Motorenentwicklung für die Zukunft



Complete Vehicle · Styling · Body & Safety · Engine · Drivetrain · Chassis · Electrics & Electronics · Testing · Industrial Engineering · Production Engineering

Das vielleicht wichtigste Technologiezentrum
bei Porsche Engineering:
die Köpfe unserer Ingenieure.

Porsche Engineering
driving technologies

PORSCHE

Malte Radmann und Dirk Lappe,
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

_____ Porsche und Motor – ein Synonym. Am Beispiel des 911 kann man erkennen, welche Entwicklung ein Aggregat, in diesem Fall ein Sechszylinder-Boxer-Motor, in 50 Jahren durchläuft. Über all die Jahre hinweg und bis heute stellten und stellen sich die Motorenentwickler die Frage, wie weit sich ein traditioneller „Verbrenner“ noch weiterentwickeln lässt. Das Porsche Engineering Magazin legt in dieser Ausgabe einen Schwerpunkt auf dieses immer wieder spannende Thema und zeigt, dass wir in der Motorenentwicklung noch lange nicht am Ende angekommen sind.

Zum einen ist es der ungebrochene Ansporn unserer Ingenieure, der sie jeden Tag von Neuem an technischen Herausforderungen im Bereich Motorenentwicklung tüfteln lässt. Zum anderen haben natürlich auch die sich verändernden Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel die CO_2-Gesetzgebung, und veränderte gesellschaftliche Anforderungen, die sich aus einer sozialen Akzeptanz von Fahrzeugen und Sportwagen im Spezifischen ergeben, einen Einfluss auf unsere Entwicklungsarbeit.

Wir können aber nicht nur Auto, sondern begeben uns immer wieder sehr gerne auch in andere Bereiche. In dieser Ausgabe berichten wir über unsere Entwicklungskooperation mit dem Nutzfahrzeughersteller Scania.

Freuen Sie sich darüber hinaus auf technologische Details aus der Entwicklung des neuen Porsche Cayman sowie Engineering-Insights zur „Rapid Control Prototyping“-Methodik, die dabei hilft, den modellbasierten Softwareentwicklungsprozess effizient und flexibel zu gestalten. Insgesamt werden Trends und Technologien von uns kontinuierlich beobachtet: Erfahren Sie mehr über aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen im Bereich Aerodynamik/Thermomanagement sowie den kontinuierlichen Einsatz von Toleranzmanagement als präventive Qualitätsmethode.

Wir wünschen viel Spaß beim Lesen dieser Ausgabe unseres Porsche Engineering Magazins!

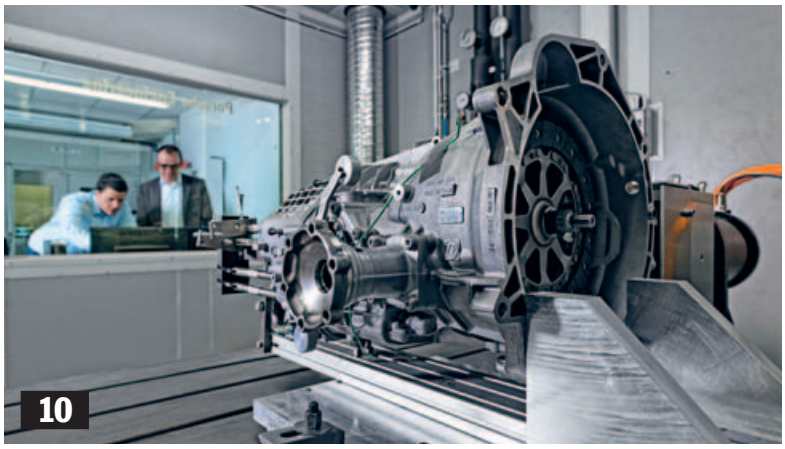
Über Porsche Engineering

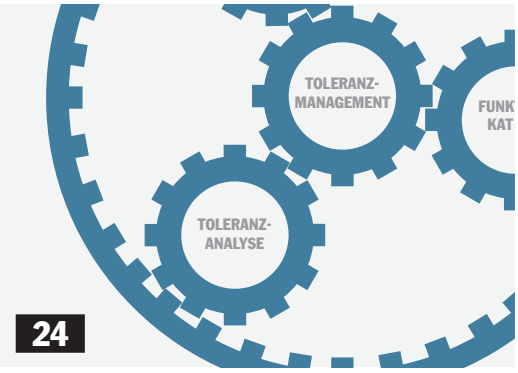
Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere Kunden durchführen, verpflichtet.

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.

GEWÖHNLICH AUSSERGEWÖHNLICH

Was passiert, wenn Nutzfahrzeughersteller und Sportwagenentwickler zusammenarbeiten? Erfahren Sie mehr darüber im Kundeninterview mit Scania.





MOTORENENTWICKLUNG

10 Härtetest: Praxis
Motorenerprobung für unterschiedlichste Anforderungen

16 Downsizing
Kraftstoffeinsparung ohne Verzicht auf Höchstleistung

22 Der Mix macht's
Interview mit Klaus Fuoss, Leiter des Fachbereichs Motorenentwicklung

TRENDS & TECHNOLOGIEN

24 Toleranzmanagement in der Fahrzeugentwicklung
Eine präventive Qualitätsmethode

KUNDEN & MÄRKTE

30 Gewöhnlich außergewöhnlich
Die Kooperation mit dem Nutzfahrzeughersteller Scania

PORSCHE HAUTNAH

36 Kurvenkünstler in dritter Generation
Der neue Porsche Cayman

40 Passion für Sicherheit und Ästhetik
Passive Fahrzeugsicherheit im Innenraum des neuen Porsche Cayman

ENGINEERING INSIGHTS

42 Rapid Control Prototyping
Effizienzsteigerung im Software-Entwicklungsprozess

48 Aerodynamik und Thermomanagement
Steigende Anforderungen fordern intelligente Lösungen

03 Editorial
06 News
52 Impressum

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

CAYMAN: Kraftstoffverbrauch kombiniert 8,8–7,7 l/100 km; CO_2-Emission 206–180 g/km

News

INTEGRATION IN VOLLEM GANGE

___ Schritt für Schritt werden Maßnahmen und Veränderungen durchgeführt, um die Integration des Nardò Technical Centers in Süditalien in den Porsche-Konzern weiter voranzutreiben. Abgesehen von langfristigen Erweiterungen und Optimierungen der Einrichtungen und Strecken sind bereits heute kleinere und größere Veränderungen vor Ort erkennbar. Aktuell kann die Ernennung eines Technischen Geschäftsführers für das Nardò Technical Center als weiteren wichtigen Meilenstein im Integrationsprozess gesehen werden: Edmund Sander, langjähriger Leiter des Fachbereichs Antriebsstrang und Fahrwerk bei Porsche Engineering, wird zukünftig die technischen Bereiche verantworten und damit Francesco Nobile, den Vorsitzenden der Geschäftsleitung und zuständig für die kaufmännischen Bereiche, unterstützen. Das Nardò Technical Center wird somit noch stärker als es bereits heute ist zu einer zentralen Ressource für externe Kundenprojekte im Rahmen der Porsche-Ingenieurdienstleistungen. ■

www.porsche-nardo.com

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

News

MOTIVIERTE MITARBEITER FÜR ENTWICKLUNGSPROJEKTE

MITARBEITERBEFRAGUNG

___ Die hohe Motivation der Porsche Engineering-Mitarbeiter, sich anspruchsvollen Kundenprojekten zu widmen, ist ein entscheidender Erfolgsfaktor von *Porsche Intelligent Engineering*. Eine kürzlich durchgeführte Befragung unter den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von Porsche Engineering bestätigte die positiven Ergebnisse der vergangenen Umfragen: Sie sind sehr motiviert und leistungsbereit und halten ihre Arbeit darüber hinaus für sinnvoll, interessant und vielseitig. Auch die Identifikation der Ingenieurinnen und Ingenieure mit ihrem Arbeitgeber ist im Vergleich zur vorherigen Umfrage noch einmal gestiegen. Ein unabhängiges Unternehmen führte die Umfrage im Auftrag von Porsche Engineering durch und konnte eine äußerst hohe Rücklaufquote verzeichnen – ein Beleg für die gute und partizipative Unternehmenskultur. ■

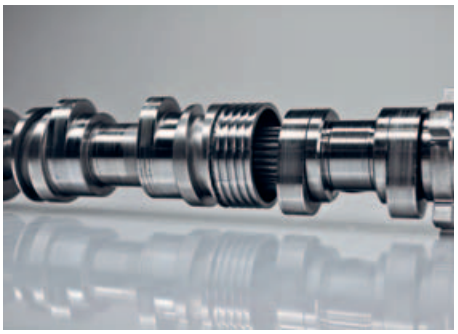
„ELEKTRONIK IM FAHRZEUG“ UND „TESTING EXPO“

MESSEPRÄSENZ

___ Auch im Jahr 2013 ist Porsche Engineering auf Kongressen und Messen präsent, um in den direkten Dialog mit Vertretern aus der Automobilbranche und darüber hinaus zu treten. So werden beispielsweise die vielfältigen Lösungsmöglichkeiten des Porsche-Ingenieurdienstleisters im Bereich Elektrik/Elektronik auf der VDI-Tagung in Baden-Baden vorgestellt: Am 16. und 17. Oktober dreht sich dort alles um die „Elektronik im Fahrzeug“. Das Nardò Technical Center war vom 4. bis 6. Juni auf der Automotive Testing Expo Europe in Stuttgart vertreten, um das Prüf- und Testgelände mit all seinen Möglichkeiten in Bezug auf Entwicklungs- und Erprobungsleistungen vorzustellen. Ebenso ist Porsche Engineering wie gewohnt auf zahlreichen Personal- und Hochschulmessen anzutreffen. Weitere Informationen hierzu auf: www.porscheengineering.com/peg/de/jobs/events ■

PORSCHE ENGINEERING ERWEITERT MESSPORTFOLIO

NEUES VERFAHREN

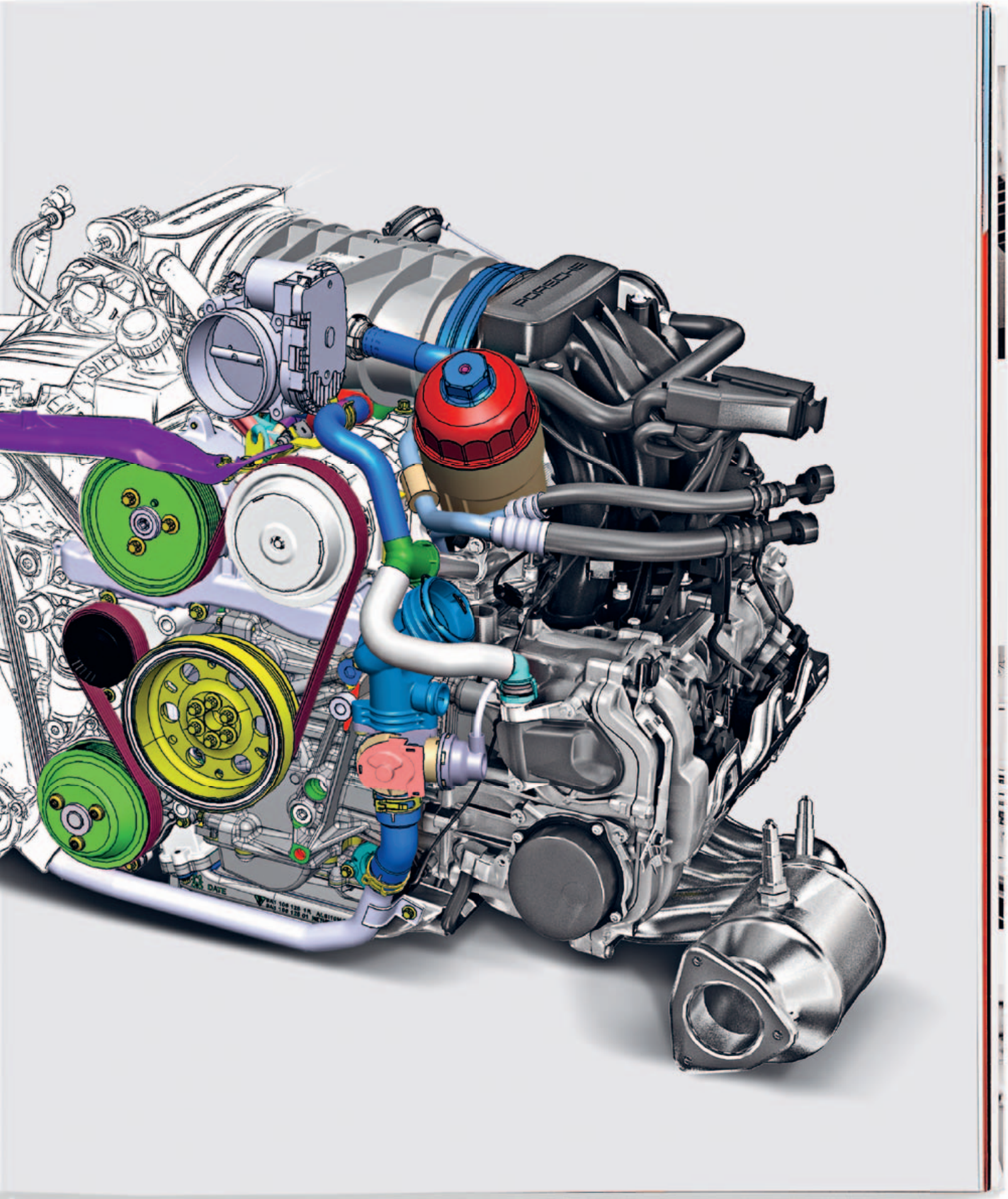


___ Porsche Engineering ergänzt sein Messportfolio im Bereich Motorenentwicklung um ein neuartiges Verfahren bei der Untersuchung von Zylinderkopfkonzepten. Immer höhere Anforderungen an Effizienz und Performance führen zu stetig steigenden Ansprüchen an die Ventiltriebe und deren Gestaltung im Hinblick auf Variabilität. Porsche Engineering setzt hier neue Maßstäbe in der Funktionsanalyse von mehrstufigen Schiebenockensystemen, welche optimierte Ventilhübe für unterschiedliche Betriebszustände ermöglichen. Neben der konventionellen Ventiltriebsdynamik steht dabei die Analyse des Verschiebewegs von einzelnen Nockensegmenten im Vordergrund. Der Verschiebeweg wird messtechnisch und optisch hochauflösend erfasst und die für die Verschiebung notwendige Aktuatorik wird über eine eigens entwickelte echtzeitfähige Ansteuerung realisiert. ■

Mo|tor *['moːtoːɐ̯]* Maschine, die durch Umwandlung von Energie Kraft zum Antrieb erzeugt.

Ent|wick|lung *[ɛntvɪklʊŋ]* die Schaffung von (technischen) Gegenständen durch gezielte Überlegungen, Versuche und Konstruktionen.

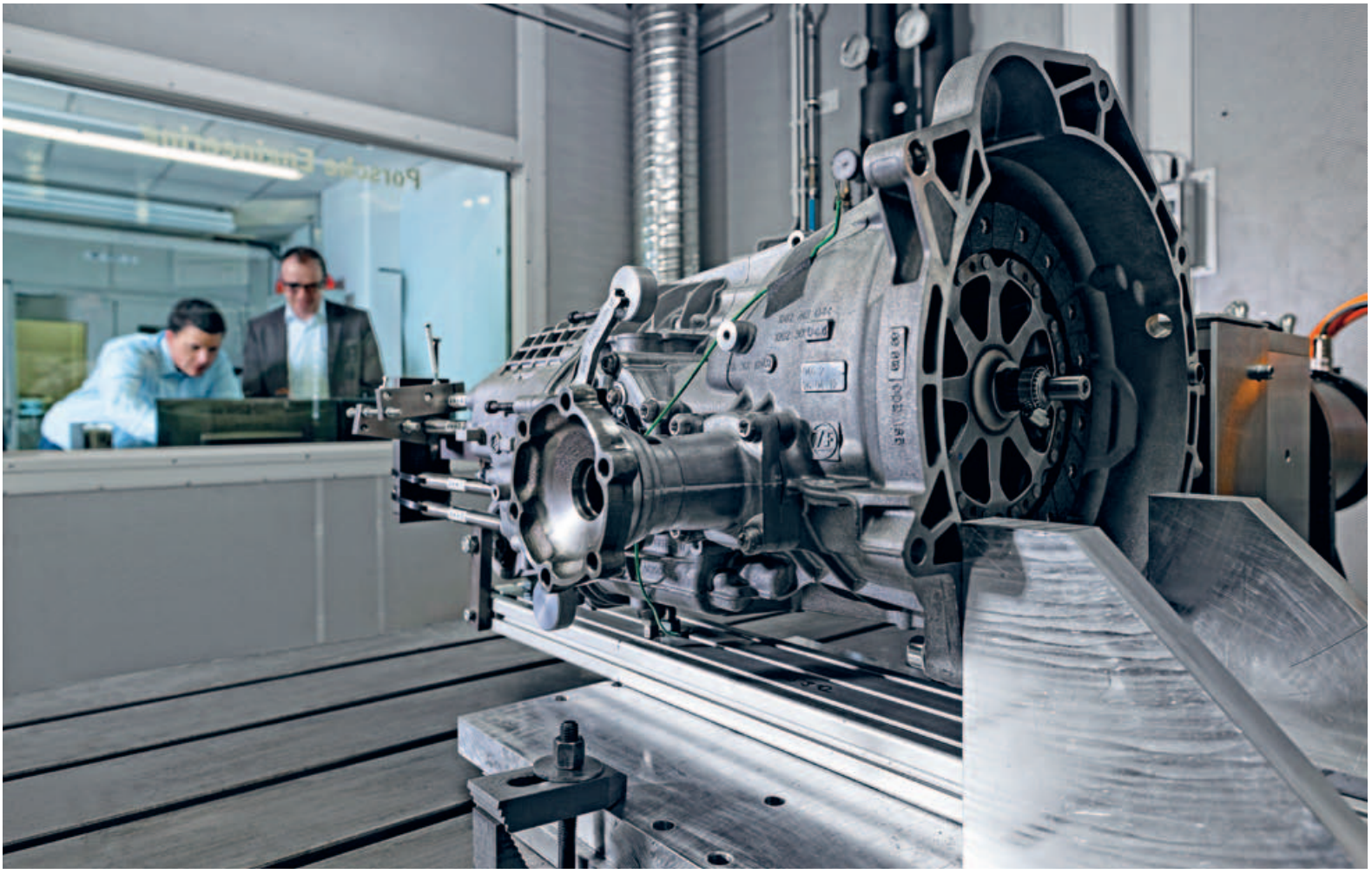
Zwei Wörter – eine Leidenschaft. Erst recht in der Kombination. Motorenentwicklung für die Zukunft ist eine der zentralen Aufgaben der Ingenieurinnen und Ingenieure bei Porsche Engineering. Ein Ansatz hierbei: Downsizing – Verbrauchsreduktion, ohne dabei auf Höchstleistung zu verzichten. Und nicht nur das Know-how zur Entwicklung, sondern auch umfassende Test- und Prüfeinrichtungen sind nötig, um die Mobilitätsherausforderungen der Zukunft zu bewältigen. Wo diese Reise schließlich hingeht? Klaus Fuoss, Leiter des Bereichs Motorentwicklung bei Porsche Engineering, nimmt Stellung zur Zukunft des Verbrennungsmotors.


PORSCHE

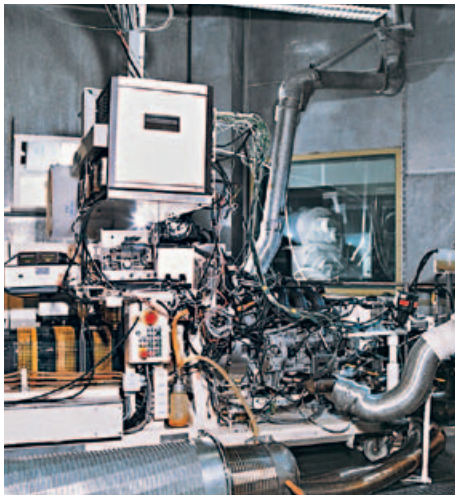
Härtetest: Praxis

____ Eine Entwicklung schafft erst dann den entscheidenden Mehrwert, wenn sie sich in der Praxis bewährt. Der Erprobung von Motorenentwicklungen für unterschiedlichste Kundenprojekte kommt somit eine große Bedeutung zu.

Text: Dr. Matthias Bach, Johannes Wüst, Robert Kerres
Fotos: Jörg Eberl, Gabriele Torsello, Archiv



Erprobung im Entwicklungszentrum Weissach: Blick in einen Motorschallmessraum (links), ein Motor auf einem Prüfstand (rechts)



Seit jeher widmet sich Porsche neuesten Trends und Technologien im Bereich der Motorenentwicklung – sowohl bei Sportwagen als auch bei Projekten für externe Kunden. Doch erst, wenn sich die Theorie in der Praxis bewährt, entsteht der entscheidende Kundennutzen.

Ein breites Spektrum an Motorprüfständen

Für das effiziente Erproben unterschiedlichster Motoren verfügt Porsche über ein umfangreiches Spektrum an Prüfständen. An allen Porsche-Standorten wird kontinuierlich investiert, um stets auf dem neuesten Stand der Technik zu sein, denn durch die zunehmende Produktkomplexität und veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen steigen die Anforderungen an die Motorenerprobung und an die dafür erforderlichen Prüfstände. Von Kleinprüfständen zum Testen von Komponenten und Systemen über Standardmotorenprüfstände bis hin zu Hochleistungsprüfständen, wie sie beispielsweise für den Rennsport benötigt werden, ist bei Porsche alles zentral an einem Ort verfügbar. Es lassen sich alle unterschiedlichen Antriebsvarianten betreiben, von Front- über Heck- bis hin zu Allradmotoren. Auch für Hybrid- oder Elektromotoren sind die Voraussetzungen für effizientes Prüfen gegeben.

Unterschiedlichste Umgebungen und kurze Wege

Zur Simulation aller unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, denen ein Motor ausgesetzt sein kann, stehen beispielsweise die Motorklimadruckkammer oder der dynamische Hochleistungsantriebsstrangprüfstand zur Verfügung. Hier lassen sich unterschiedliche Temperaturen und Drücke simulieren, um sicherzustellen, dass die Motoren den unterschiedlichsten Umweltsituationen standhalten. Neben den diversen Prüfständen und -möglichkeiten sind insbesondere die kurzen Wege zu den Fachabteilungen anderer Bereiche oder auch zu Werkstätten ein wichtiger Faktor. Kurze Kommunikationswege gewährleisten einen direkten Kompetenz- und Wissensaustausch.

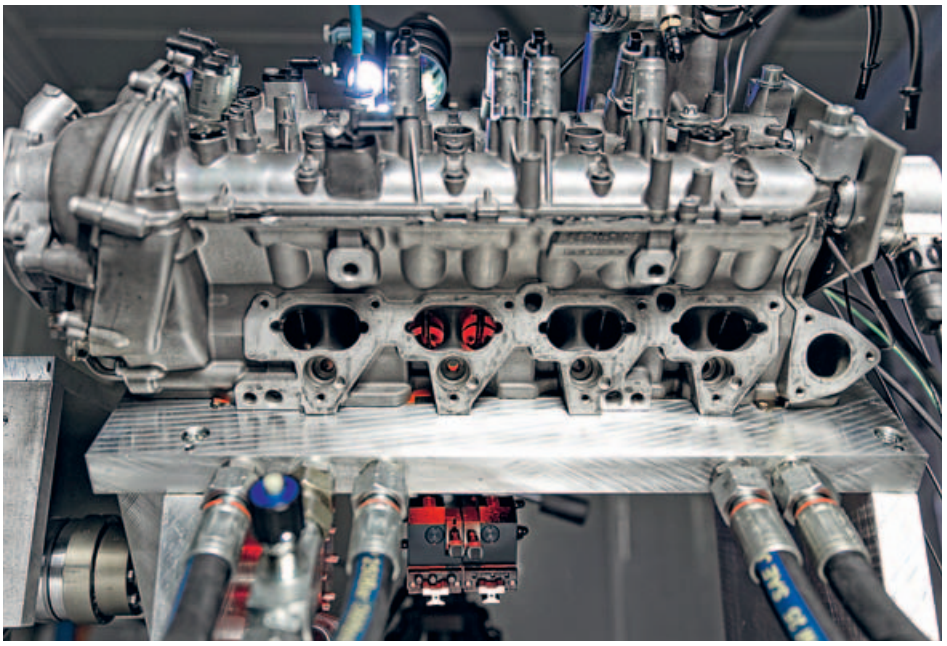
Kundenspezifisch und multifunktional

Porsche Engineering verwendet die Prüfstände auch, um Kundenprojekte spezifisch und effizient umzusetzen. Insbesondere die Einzelkomponentenprüfstände bieten hier die Möglichkeit, gezielt auf die Kundenanforderungen sowohl aus der Automobilindustrie als auch aus anderen Branchen einzugehen.

Da sich die Anforderungen an das Testequipment in der Entwicklung für externe Kunden je nach Projekt stark ändern können, ist es notwendig, das Prüffeld möglichst variabel zu gestalten. Dementsprechend ist das Prüffeld multifunktional ausgestattet und zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus. Somit lassen sich Projekte aus den verschiedensten technologischen Fachgebieten effizient bearbeiten. ›

Porsche-Messtechnik

Zur Erfassung prüflingsbezogener Messgrößen kommt in allen Prüfständen die von Porsche entwickelte Messtechnik (PMT) zum Einsatz, welche aktuell in der fünften Generation ihren Rollout erfährt. Diese bietet die Möglichkeit, verschiedene Messmodule für Drücke, Temperaturen, Spannungen oder andere Messgrößen beliebig miteinander zu kombinieren. Die Messmodule selbst sind mobil und können auch für Messungen im Fahrzeug eingesetzt werden. Wartungs- und Kalibrieraufgaben werden zentral im Entwicklungszentrum in Weissach durchgeführt.



Das Laser-Doppler-Vibrometer erfasst Hub und Geschwindigkeit.

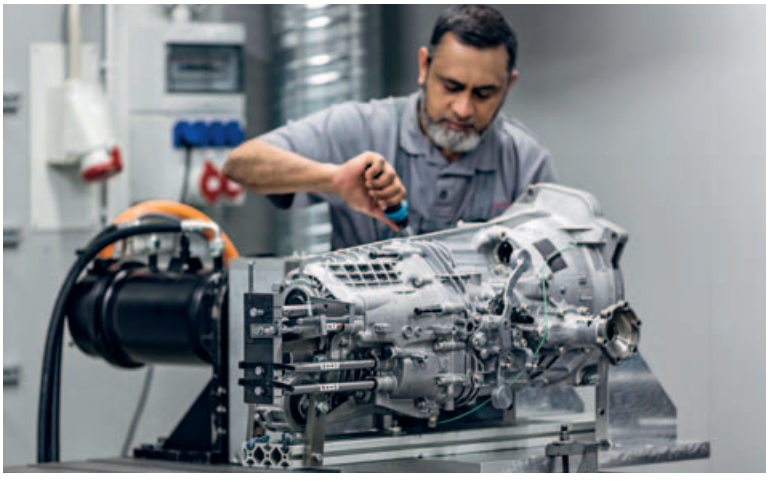
Intelligente Prüfstandssteuerung

Die Prüfstandssteuerung ist in der Lage, auch solche Motorfunktionen von Steuergeräten zu simulieren, die erst Jahre später im Seriensteuergerät umgesetzt werden. Ein Beispiel ist die Ventilhubumschaltung, die in Echtzeit und mit einer Auflösung kleiner ein Grad Kurbelwellenwinkel Ventilhubumschaltungen an Motorattrappen steuert.

Bei diesen hochdynamischen Anwendungen kommt einer extrem schnellen Messung des Prüflings höchste Bedeutung zu: Mechanische Schäden oder Fehlfunktionen müssen innerhalb kürzester Zeit detektiert werden. Porsche Engineering hat für einige Parameter Überwachungsfunktionen entwickelt, die innerhalb fünf Grad Kurbelwellenwinkel eine Fehlfunktion feststellen, einen Notstopp auslösen und dadurch mögliche Folgeschäden minimieren können.

Dynamische Ventiltriebsmessung

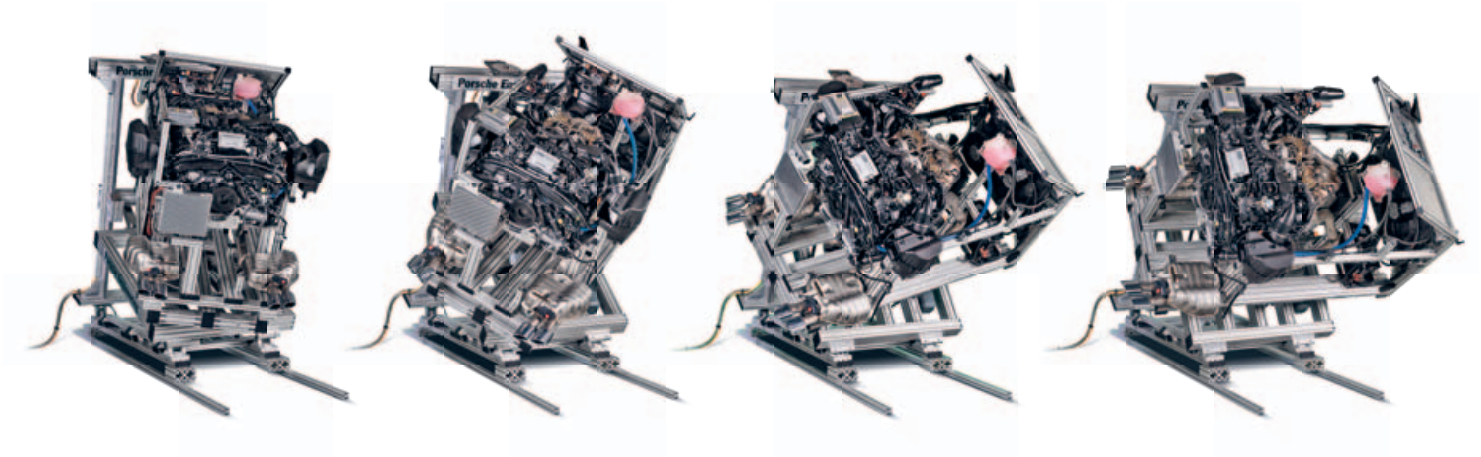
Um die dynamischen Eigenschaften von Ventiltriebskomponenten effizient zu messen, verwendet Porsche Engineering einen entsprechenden Prüfstand zur Messung an Zylinderkopfattrappen. Dazu wird der Zylinderkopf inklusive Steuertrieb von einem leistungsfähigen Asynchronmotor angetrieben. Als Messtechnik dient in erster Linie ein Laser-Doppler-Vibrometer, welches den Hub und die Geschwindigkeit der Ladungswechselventile erfasst. Aus den daraus erfassten Größen mit einer Speicherfrequenz bis zu 400 000 Hertz können durch Auswertung und Weiterverarbeitung Rückschlüsse auf maximal zulässige Drehzahlen, Geräuschentwicklung, Verschleiß sowie Bauteilbelastungen geschlossen werden. Weitere Messgrößen wie Öldrücke, Temperaturen, Drehschwingungen sowie die Signale von mit Dehnmessstreifen applizierten Bauteilen werden unterstützend eingesetzt.



Ein Getriebe wird auf dem Prüfstand montiert.

High-Speed-Analysen

Bei vielen Versuchsanwendungen kommt eine High-Speed-Videokamera zum Einsatz. Mit diesem System können dynamische Effekte wie zum Beispiel Schwingungsformen von Ketten, Ventilfedern oder auch axiale Bewegungen von Nockensegmenten bei Ventiltrieben mit



Der Schwenkprüfstand ermöglicht eine zweiachsige Rotation um bis zu 60 Grad gegenüber der Horizontalen in alle Richtungen.

Hubumschaltung visualisiert und anschließend mit einer Bildverarbeitungssoftware vermessen werden.

Aufgrund des modularen Aufbaus des Prüfstandes sind neben den Ventiltriebsfunktionsmessungen auch Reibleistungsmessungen an geschleppten Motoren, Motorkomponenten oder Getrieben möglich. Dabei finden hochgenaue Drehmomentmessflansche und eine Ölkonditionierung mit besonderer Regelgüte Anwendung.

Hybrid- und Elektromotorentests

Die Rückspeisefähigkeit des Asynchronmotors erlaubt in Verbindung mit einer mobilen 60-kW-DC-Power-Supply auch Versuche an elektrischen Antrieben wie zum Beispiel einem Riemenstartergenerator, von welchem sowohl das wichtige Losbrechmoment bei Drehzahl null als auch der Wirkungsgrad im generatorischen Betrieb ermittelt wird.

Im Rahmen der zunehmenden Hybridisierung beziehungsweise Elektrifizierung der Fahrzeuge sind die für ein effizientes Testen erforderlichen Batteriesimulationssysteme bereits im Einsatz. Zudem steht eine zusätzliche Belastungsmaschine zur Verfügung. Eine DC-Power-Supply mit 250 kW versorgt die Elektromotoren mit dem nötigen Gleichstrom beziehungsweise speist im generatorischen Betrieb den erzeugten Strom zurück ins Netz. Zur Konditionierung des Elektromotors und der dazugehörigen Leistungselektronik kommt ein Konditioniergerät zum Einsatz, welches beide Systeme getrennt voneinander auf unterschiedliche Temperaturen zwischen –40 Grad Celsius und +120 Grad Celsius konditionieren kann. Um den Wirkungsgrad der Prüflinge zu ermitteln, wird ein entsprechendes Leistungsmessgerät verwendet.

Schwenkprüfstand

Für die Simulation von Kurvenfahrten oder von Beschleunigung und Abbremsen können die Motoren auf einem Schwenkprüfstand bis zur Drehzahlgrenze betrieben und um bis zu 60 Grad gegenüber der Horizontalen in alle Richtungen geschwenkt werden. Der Schwenkprüfstand selbst ist dabei auf einem luftgefederten Bremsenbett mit Niveauregulierung geschraubt, welches im abgesenkten Zustand von Platten abgedeckt wird und so einen ebenen Boden ermöglicht. Bei diesen Schwenkversuchen wird der Qualität von Ölverschäumungsmessungen besondere Beachtung geschenkt.

Vermessung von Industriemotoren

Beim Prüfen von Industriemotoren spielt die thermodynamische Vermessung eine wichtige Rolle. Motoren für ›

ADA-Prüfstand zur Überprüfung des Schadstoffaussstoßes

Notstromaggregate, Rasenmäher oder handgeführte Forstgeräte erfordern beispielsweise eine besondere Art der Vermessung, was Auswirkungen auf die Vorbereitung der Prüfstände und das Abfahren der Messungen hat. Die Hubräume können dabei von 25 cm³ bis circa 500 cm³ variieren. Für die Erfassung des Motordrehmoments werden Wirbelstrombremsen eingesetzt, der Kraftstoffverbrauch wird gravimetrisch ermittelt.

Abgassensorik

Zur Analyse der Abgase stehen entsprechende Abgasmessanlagen zur Verfügung. Diese entnehmen dem Prüfling nur sehr geringe Probemengen, die den Ladungswechsel, insbesondere von Zweitaktmotoren, nicht beeinflussen.

Um sicherzustellen, dass die Motorenentwicklungen auch den kundenspezifischen und gesetzlichen Anforderungen in Bezug auf Abgase und Emissionen entsprechen, kann auf eine umfangreiche Abgassensorik zurückgegriffen werden. Im Messzentrum für Umweltschutz von Porsche Engineering werden Fahrzeuge umfassend auf deren Schadstoffausstoß hin überprüft. In diesem Zusammenhang existiert eine mittlerweile langjährige Kooperation mit dem Abgaszentrum der Automobilindustrie (ADA), Porsche betreibt spezielle Prüfstände in dessen Auftrag. Dazu gehören beispielsweise auch ein Wasserschlagprüfstand, mit dem Schutzrohre von Lambda- und NOx-Sonden bewertet werden, und ein Prüfstand speziell zur Bewertung von Partikelsensoren.

Herausforderungen: Willkommen!

Die Besonderheit des Porsche-Motorenprüffeldes liegt in seiner breiten Verwendbarkeit: Sowohl in Bezug auf Leistung als auch in Bezug auf den flexiblen Aufbau sind die Voraussetzungen für effizientes Erproben gegeben. Aufgrund der flexiblen Gestaltung der Prüfstände und der für neue Aufgaben schnell konfigurierbaren Messtechniken ist eine Realisierung unterschiedlichster Versuche möglich – egal ob bei Sportwagen oder bei anderen, herausfordernden Kundenprojekten. Und wenn sich die Entwicklung bei der Erprobung als erfolgreich herausgestellt hat, wartet nur noch eins: die erste Testfahrt auf der Strecke …

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

… AB AUF DIE STRECKE!

Das im April 2012 von Porsche übernommene Nardò Technical Center in Süditalien bietet für die Motorenerprobung auf der Strecke und darüber hinaus ideale Rahmenbedingungen. Aufgrund der besonderen klimatischen Verhältnisse können problemlos das ganze Jahr über Standarderprobungen (beispielsweise zu Ölhaushalt, Motorentlüftung und Motorkühlung) im stationären und im dynamischen Fahrbetrieb durchgeführt werden. Das Prüf- und Testgelände ermöglicht die Durchführung von umfassenden Dauerläufen sowie die Untersuchung von Grenzbetriebsbedingungen. Insbesondere im Sommer, wenn vor Ort in Apulien extreme Temperaturen vorherrschen, wird den Entwicklungen Besonderes abverlangt. Auch Applikationsuntersuchungen wie beispielsweise im Hochgeschwindigkeitsbereich, die Überprüfung der Grundmotorapplikation oder Klopfregeldynamiktests und On-Board-Diagnosen sind in Nardò ganzjährig möglich. Zudem sind für Sondermessungen im Fahrzeug, Drehmoment- und Drehschwingungsmessungen oder für die berührungslose Messung der Auslassventiltemperatur alle nötigen Voraussetzungen gegeben. Hat der Prüfling dann am Ende auch der Erprobung in Nardò erfolgreich standgehalten, ist der Abschluss des Entwicklungsprozesses und schließlich der Schritt auf die Straße nicht mehr weit entfernt. ■

DOWNSIZING

_____ Hohe spezifische Leistung, breites Drehzahlband mit maximalem Drehmoment und ein gutes Transientverhalten – dies sind die wesentlichen Punkte, die moderne Downsizing-Motoren auszeichnen. Zukünftig ist eine Reduktion der Anfettung erforderlich, um weitere Kraftstoffeinsparungen im kundenrelevanten Betrieb zu erreichen. Hierfür setzen die Ingenieurinnen und Ingenieure von Porsche Engineering verschiedene Simulationsstudien ein, um den Verbrauch zu reduzieren, ohne dabei auf Fahrzeughöchstleistung zu verzichten.

Text: Eric Jacobs, Vincenzo Bevilacqua, Gerd Grauli

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

Im Laufe der mehr als 35-jährigen Geschichte der Porsche-Turbo-Fahrzeuge konnten die Porsche-Entwickler dank unterschiedlichster Maßnahmen (wie zum Beispiel der Optimierung des Ladungswechsels durch den Technologieeinsatz von VarioCam Plus sowie der Einführung einer Benzindirekteinspritzung) die Motorleistung und das maximale Drehmoment verdoppeln und gleichzeitig den Verbrauch deutlich reduzieren.

Downsizing in der Motorenentwicklung

Schon seit langer Zeit widmet sich Porsche Engineering der Entwicklung verbrauchsärmerer und effizienterer Motoren. Hierbei stellt die Reduzierung des Hubraumes bei fremdgezündeten Aggregaten eine wirkungsvolle Möglichkeit zur Effizienzsteigerung dar. Dieser Trend wird besonders bei Betrachtung der momentan am Markt vorhandenen Triebwerke erkennbar.

Mit steigender Last sinken die Pumparbeit und der prozentuale Anteil an Reibung. Eine Analyse aktueller Motoren zeigt, dass sich der Hubraum bei gleichbleibender Fahrdynamik und Leistung zurzeit um circa 25 Prozent verkleinern lässt und dabei eine Kraftstoffeinsparung von rund 20 Prozent möglich ist. Die Verbesserung des Transientverhaltens in Kombination mit hoher Leistung, einem breiten Drehzahlband mit maximalem Drehmoment, einer Reduktion des Verbrauchs nach dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) und im kundenrelevanten Betrieb stellen die Ziele moderner Motorenentwicklung dar.

Die Problematik

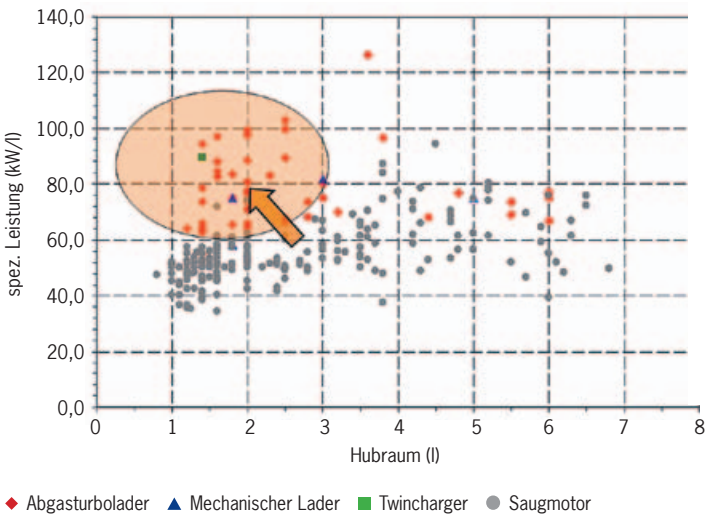
Die Anforderungen an aufgeladene Ottomotoren führen zu einem Zielkonflikt bei der Auslegung des Abgasturboladers. Einerseits soll eine hohe Nennleistung mithilfe eines größeren Abgasturboladers realisiert werden, andererseits soll das maximale Drehmoment schon bei niedrigen Motordrehzahlen anliegen, ohne dass der Eindruck eines Turbolochs entsteht.

Zur Realisierung des frühen, dynamischen Ansprechverhaltens sind kleine Turbolader notwendig. Diese besitzen einen erhöhten Abgasgegendruck im Nennleistungsbereich. Die erhöhte Klopfneigung von aufgeladenen Motoren aufgrund der höheren Temperatur- und Druckwerte im Brennraum wird durch den größeren Restgasgehalt weiter verstärkt. Die Folge ist eine spätere Schwerpunktlage der Verbrennung, welche eine erhöhte Abgastemperatur nach sich zieht.

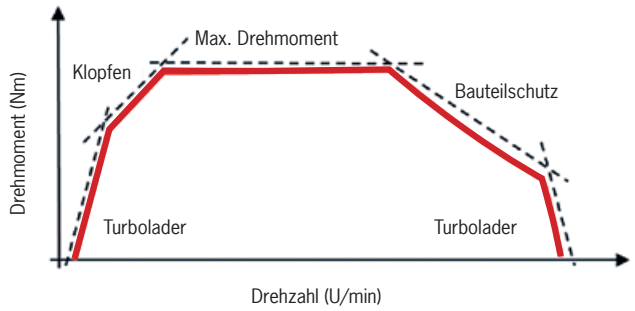
Das Klopfen sowie der thermische Bauteilschutz schränken die Abgasturboaufladung ein. Zur Ausdehnung dieser Grenzen hat sich die Verwendung der Anfettung in modernen, turboaufgeladenen Aggregaten etabliert.

Bei großer Motorlast beziehungsweise bei Fahrzeugen mit hohen Fahrwiderstandsanteilen sinkt der Vorteil eines gesteigerten Downsizinggrades aufgrund der früheren und stärkeren Anfettung. Der positive Effekt des höheren Downsizinggrades kann sich in einem kundennahen Fahrprofil sogar umkehren. Die Erhöhung der Effizienz erfordert neue Technologien zur Ausweitung des Bereiches mit optimalem Luft-Kraftstoff-Verhältnis. ›

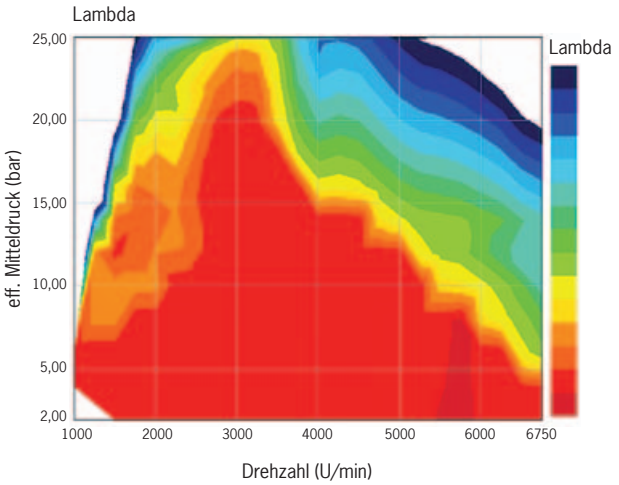
Marktübersicht aktueller Ottomotoren



Durch Motordownsizing werden hohe spezifische Leistungen bei reduziertem Hubraum möglich.



Grenzen der einstufigen Abgasturboaufladung



Lambdakennfeld eines 1,6-Liter-Turbomotors mit mechanischer Unterstützung

Das Simulationsmodell

Als Referenz dient ein Sechszylinder-2,9-Liter-Saugmotor, der eine Leistung von 195 kW mit einem Spitzendrehmoment von 300 Nm besitzt. Mithilfe der 1D-Ladungswechselsimulationen wird dieses Aggregat einem aufgeladenen Dreizylindermotor mit 1,6 Liter Hubraum gegenübergestellt. Die Leistung lässt sich durch einen Abgasturbolader wiederherstellen. Zur Verbesserung des Transientverhaltens aus niedrigen Motordrehzahlen kommt ein mechanisch unterstützter Lader zum Einsatz, dessen Eigenschaften in unterschiedlichen Fahrmanövern über eine gekoppelte Fahrzeug-Motor-Simulation analysiert werden. Bei gleichbleibender Fahrdynamik ist es möglich, den Verbrauch im NEFZ um bis zu 27 Prozent zu senken.

In Fahrzyklen mit höheren Lastanteilen kommt der negative Effekt der früheren und stärkeren Anfettung zum Tragen. Zum Beispiel fällt bei Betrachtung des Kundenzyklus A, der einem Überlandprofil entspricht, der Vorteil auf 14 Prozent. Im Kundenzyklus B, welcher die höchsten Lastanteile besitzt, beträgt der Verbrauchsgewinn nur noch 9 Prozent. Durch den Einsatz von hochtemperaturbeständigen Bauteilen, eines gekühlten Abgaskrümmers, der gekühlten Inertgasrückführung und der Wassereinspritzung soll die Anfettung zum Bauteilschutz sowie zur Vermeidung von Klopfen reduziert werden.

Gekühlte Abgasrückführung

Die gekühlte Abgasrückführung befindet sich bei Dieselmotoren im Serieneinsatz. In der durchgeführten Simulation kommt es zur Analyse von zwei unterschiedlichen Konzepten. Bei der Niederdruckabgasrückführung (ND-AGR) wird das Abgas nach dem Turbinenrad entnommen und vor dem Verdichterrad zurückgeführt. Im Falle einer Hochdruckabgasrückführung (HD-AGR) findet die Entnahme des Abgases vor dem Turbinenrad, die Rückführung nach dem Verdichterrad statt.

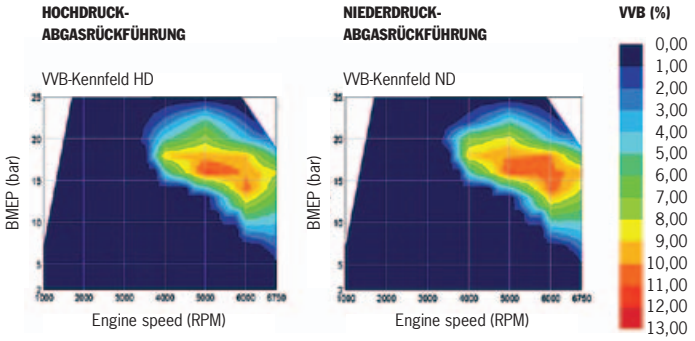
Die Verwendung der Niederdruckabgasrückführung zeigt leichte Vorteile gegenüber der Hochdruckabgasrückführung. Insgesamt lassen sich mit beiden Konzepten Verbrauchseinsparungen von maximal 12 Prozent bei dem verwendeten Motor erzielen. Eine Verringerung der Klopfneigung ist mithilfe der gekühlten Inertgasrückführung jedoch nicht möglich.

Gekühlter Abgaskrümmer

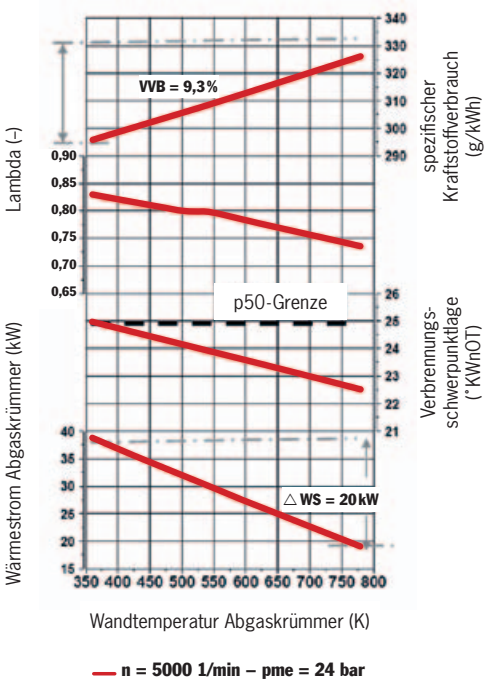
Ein gekühlter Abgaskrümmer kommt bei einigen aktuellen Turbo-Ottomotoren zum Einsatz. Die Simulationen mit dem aufgeladenen 1,6-Liter-Aggregat zeigen, dass eine Reduktion der Anfettung erreichbar ist. Ihre vollständige Vermeidung ist allerdings nur schwer realisierbar, da der Krümmer sehr ›

Analysen zeigen, dass bei aktuellen Motoren unter der Voraussetzung einer gleichbleibenden Fahrdynamik und Leistung eine Reduktion des Hubraumes um circa 25 Prozent möglich ist. Folglich kann eine Kraftstoffersparnis von rund 20 Prozent realisiert werden.

Einsparpotenziale im Verbrauch durch gekühlte Abgasrückführung und gekühlten Abgaskrümmer



Verbrauchsverbesserungen (VVB) der gekühlten Abgasrückführung



Potenzial eines gekühlten Abgaskrümmers

hohe Wärmeströme abführen müsste. Eine Kraftstoffeinsparung ist über die Ausdehnung des optimalen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses erkennbar. Aufgrund der verringerten Innenkühlung ist eine Verschiebung der Schwerpunktlage in Richtung spät durch die gestiegene Klopfempfindlichkeit erforderlich, was eine erhöhte Abgastemperatur nach sich zieht. Als weiterer Nachteil muss die verlorene Motoreffizienz über einen größeren Ladedruck mit einer höheren Turboladerdrehzahl kompensiert werden, um die gleiche Motorleistung zu erzeugen. Im unteren Drehzahlbereich ist keine Reduktion der Klopfneigung mit dem Einsatz dieser Technologie möglich.

Hochtemperaturfeste Materialien

Hochtemperaturfeste Materialien befinden sich bei aufgeladenen Ottomotoren in Serienherstellung. Diese Technologie gestattet höhere Abgastemperaturen. Daher kann die Anfettung in der Simulation zwar reduziert, jedoch nicht vermieden werden. Analog zum gekühlten Abgaskrümmer zeigt sich kein Vorteil bei der Klopfneigung im unteren Drehzahlbereich bei hohen Lasten. Die Problematik der geringeren Innenkühlung tritt auch bei diesem System auf. Die Verschiebung der Schwerpunktlage erfordert ebenfalls einen größeren Ladedruck durch eine höhere Abgasturboladerdrehzahl zur Kompensation des niedrigeren Motorwirkungsgrades. Die Verwendung von hochtemperaturfesten Materialien erlaubt die Ausdehnung des optimalen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses, führt aber genauso wie der gekühlte Abgaskrümmer indirekt zu einer schlechteren Verbrennungseffizienz.

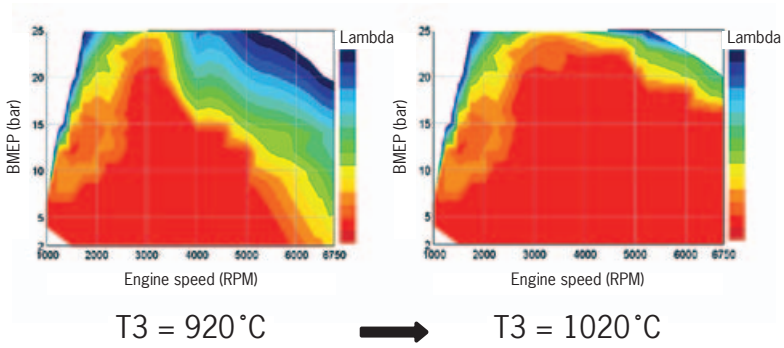
Wassereinspritzung

Die Verwendung einer Wassereinspritzung ist aus dem Motorsport bekannt, befindet sich aber momentan nicht in der Serienanwendung eines Turbomotors. Die Zufuhr des Wassers ist an verschiedenen Stellen des Motor-Turbo-Systems möglich.

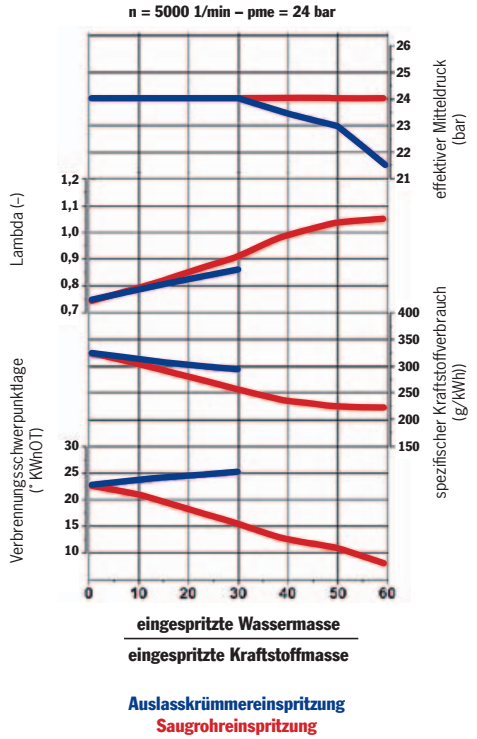
Im Simulationsmodell wird sowohl diese Einbringung des Wassers in das Saugrohr als auch die Einbringung des Wassers in den Abgaskrümmer analysiert. Letztere verringert den Anfettungsbedarf, kann ihn beim simulierten Motor aber nicht vollständig verhindern. Zusätzlich steigt der Bedarf an Wasser bei dieser Position. Durch die geringere Innenkühlung ergeben sich die gleichen Nachteile wie bei der Verwendung eines gekühlten Abgaskrümmers oder von hochtemperaturfesten Materialien. Die spätere Schwerpunktlage aufgrund der erhöhten Klopfneigung bringt den Lader näher an die Drehzahlgrenze und erhöht den Abgasgegendruck.

Bei einer Wassereinspritzung in das Saugrohr lässt sich im gesamten Anwendungsbereich ein stöchiometrisches Luft-

Höhere Abgastemperaturen werden durch hochtemperaturfeste Materialien ermöglicht. Die aus dem Rennsport bekannte Technik der Wassereinspritzung ermöglicht weitere Verbrauchseinsparungen.



Lambdakennfeld von hochtemperaturfesten Materialien



Potenzial der Wassereinspritzung

Kraftstoff-Verhältnis verwenden. Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Technologien kann der Motorwirkungsgrad mit einer optimalen Schwerpunktlage von circa acht Grad Kurbelwinkel gesteigert werden. Dies gilt sowohl für den klopfempfindlichen Bereich bei niedriger Motordrehzahl als auch in der Volllast bei hohen Motordrehzahlen. Der positive Effekt der bestmöglichen Verbrennung führt zu einer Entlastung des Turboladers, da dieser weniger Arbeit verrichten muss. Daraus resultiert eine Absenkung der Turboladerdrehzahl und des Abgasgegendruckes. Neben der Vermeidung der Anfettung erlaubt die optimale Verbrennungsschwerpunktlage hohe Verbrauchseinsparungen.

Ein erstes Fazit

Die Verwendung hochtemperaturfester Materialien, des gekühlten Abgaskrümmers sowie der Rückführung von gekühltem Restgas sind nicht in der Lage, die Klopfempfindlichkeit des Motors zu reduzieren. Der Vorteil der hochtemperaturfesten Materialien und des gekühlten Abgaskrümmers besteht darin, dass diese Technologien bereits serienerprobt sind und momentan eine gute sowie einfache Möglichkeit darstellen, den Anfettungsbedarf im kundenrelevanten Bereich zu reduzieren.

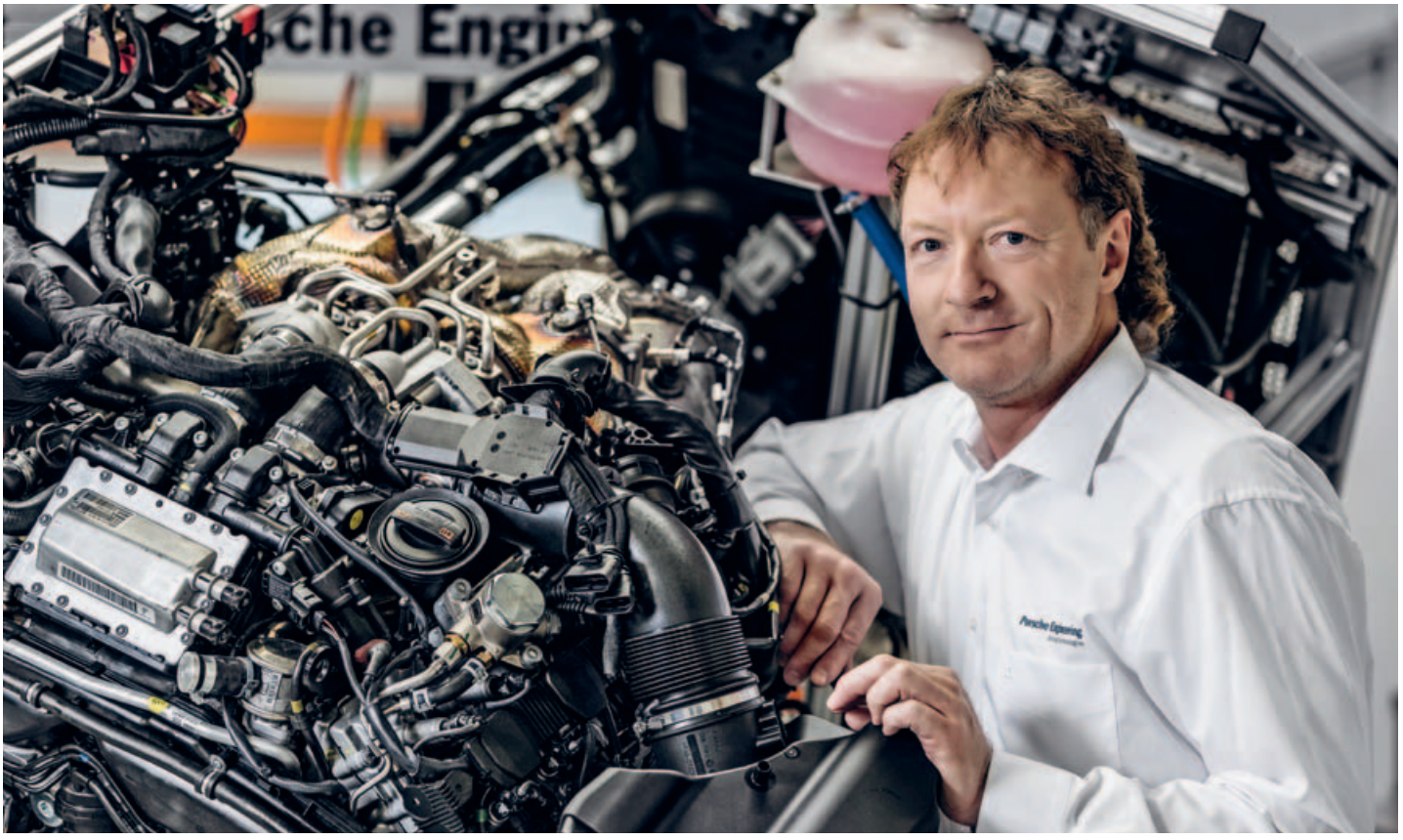
Großes Potenzial bietet die Technik der Wassereinspritzung in das Saugrohr. Diese Technologie ist in der Lage, ein stöchiometrisches Luft-Kraftstoff-Verhältnis im kompletten Betriebsbereich und eine optimale Verbrennungsschwerpunktlage zu verwenden, um somit den Motorwirkungsgrad zu erhöhen. Zusätzlich zu einer weiteren Verbrauchsreduktion senkt dieser Effekt auch die benötigte Verdichterarbeit des Turboladers, wodurch sich der Hubraum weiter reduzieren lässt. Bis zum Erreichen der Serienreife für diese Technik gilt es jedoch, noch einige Herausforderungen zu bewältigen, zum Beispiel die Dauerhaltbarkeit, die Sicherstellung der Wasserversorgung unter allen Betriebsbedingungen oder die Funktion des Systems bei sämtlichen klimatischen Bedingungen.

Der Trend zur Verbrauchsreduktion im kundenrelevanten Betriebsbereich stellt die Herausforderung der zukünftigen Motorenentwicklung dar. Technologien, die eine Reduktion der Ansaugtemperatur nach sich ziehen, besitzen dabei besonders großes Potenzial. Neben einer Absenkung des Anfettungsbedarfs steigt die Effizienz des Motors. ■

Der Mix macht's

_____ Ist der Motor – insbesondere der Verbrennungsmotor – auch in Zukunft das Herz eines jeden Fahrzeugs? Um herauszufinden, wie ein leidenschaftlicher Motorenentwickler zu dieser Thematik steht und welche Herausforderungen, Trends und Technologien in Zukunft relevant sein werden, haben wir uns mit Klaus Fuoss, Leiter des Fachbereichs Motorenentwicklung bei Porsche Engineering, unterhalten.

Interview: Frederic Damköhler, Nadine Guhl Foto: Jörg Eberl



Porsche Engineering *Herr Fuoss, bei all den Prognosen zum Thema Elektromobilität – wie sehen Sie die Zukunft des Verbrennungsmotors?*

Fuoss Der Verbrennungsmotor lebt. Er wird noch über lange Zeit hinweg die Hauptantriebsquelle unserer Fahrzeuge bleiben. Jedoch werden Biokraftstoffe und Erdgas als zusätzliche Energiequelle eine stärkere Rolle einnehmen. Ich denke, ein gesunder Mix aus den heute gängigen Kraftstoffen, Biokraftstoffen und Erdgas wird sich auf lange Sicht etablieren, wobei die tatsächliche Entwicklung und Durchsetzung der Biokraftstoffe letzten Endes sehr stark abhängig sein wird von entsprechenden politischen Rahmenbedingungen. Was die Verbrauchsentwicklung der heutigen Fahrzeuge anbelangt, so sind im Zusammenhang mit Hybridisierung, Downsizing und Energiemanagement beim Verbrennungsmotor noch beträchtliche Potenziale erzielbar. Auch die Themen Leichtbau und Reduktion der Reibwiderstände rücken speziell beim Motor immer stärker in den Fokus.

Was sind in Zukunft die größten Herausforderungen im Rahmen der Motorenentwicklung?

Fuoss Zu den größten Herausforderungen zählen die Reduktion der Partikelemissionen und des CO_2-Ausstoßes. Beides unterliegt Gesetzen, die es entsprechend zu erfüllen gilt – und die Ansprüche sind hoch. Leichtbau ist längst nicht mehr nur als

Karosseriethema zu sehen, auch die Motorenentwicklung ist hiervon betroffen. So unterliegt auch der Motor Gewichtszielen, sodass bereits in der Konzeptphase auf die Mehrfachintegration von Funktionen beziehungsweise Bauteilen oder auf den entsprechenden Materialeinsatz geachtet werden muss. Während Downsizing grundsätzlich Chancen mit sich bringt, so gilt es gleichermaßen, der dadurch entstehenden höheren Belastung von Bauteilen entgegenzuwirken. Hierfür wird die Beherrschung höherer Einspritzdrücke sowohl beim Otto- als auch beim Dieselmotor weiter vorangetrieben. Außerdem wird es in Zukunft immer wichtiger, kostengünstige Lösungen für einen weltweiten Einsatz von Motoren im Allgemeinen zu entwickeln. Hierbei stehen wir vor der Herausforderung, Konzepte so auszuarbeiten, dass sie für unterschiedliche Märkte konform sind. Es gilt abzuwägen, wann eine globale Lösung Sinn macht und ab welchem Punkt gemäß unterschiedlicher lokaler Ansprüche differenziert werden sollte.

Wie wird die Motorenentwicklung bei Porsche Engineering vorangetrieben, um für diese zukünftigen Herausforderungen entsprechend gewappnet zu sein?

Fuoss Wir pflegen einen kontinuierlichen Kompetenzausbau in den entsprechenden Themengebieten wie beispielsweise Simulation von Ladungswechsel und Gemischaufbereitung. Auch im Bereich konstruktiver Leichtbau werden unsere Kompetenzen und Methoden konsequent ausgebaut. Als Entwicklungsdienstleister im Porsche-Konzern profitieren wir zudem enorm von der Einbindung in Serienentwicklungsprojekte. Wir betrachten damit stets jeden einzelnen Entwicklungsschritt aus OEM- bzw. Erstausrüstersicht und sind es gewohnt, stets weiterzudenken, sprich: immer das Fahrzeug als Ganzes zu sehen. In der Regel ist es genau das, was unsere Kunden schätzen.

Wie weit kann man Downsizing vorantreiben? Ist ein Ende der Fahnenstange in Sicht?

Fuoss Der Massenmarkt wird in der nächsten Stufe von Modellen mit Hubräumen zwischen 1,0 bis 1,5 Litern dominiert sein, bei gleicher Leistungsausbeute wie heutige 1,5- bis 2,0-Liter-Motoren. Weiteres Downsizing ist dabei nur bei verringerten Fahrzeugmassen sinnvoll. Des Weiteren wird eine Reduktion der Zylinderanzahl stattfinden, da das Einzelhubraumvolumen nicht beliebig reduziert werden kann – ich gehe insbesondere von Drei- und Zweizylindermotoren im Massenmarkt aus. Hierbei ist jedoch stets zu gewährleisten, dass dies keine kundenrelevanten Komforteinbußen mit sich bringt.

Wo bewegt sich die Leistungsentwicklung hin? Gibt es eine Grenze?

Fuoss Die Grenzen legt letztendlich der Kunde fest. Es wird vermutlich immer den Wunsch nach sehr leistungsstarken Fahrzeugen geben. Wenn wir vom Massenmarkt ausgehen – sagen wir 75 bis 110 PS –, wird dieses Leistungsniveau in etwa konstant bleiben. Wir müssen hier eher die Verbesserung in Richtung Verbrauchsreduktion bei gleichem Leistungsniveau anstreben, gerade auch in Bezug auf die CO_2-Ziele.

Was für einen Motor würden Sie gerne einmal entwickeln?

Fuoss Hier fällt mir die Antwort schwer, da ich tatsächlich schon an fast allen gängigen Motorkonzepten beziehungsweise Zylinderzahlen mitentwickeln durfte… Ein Hochdreher V12 könnte jedoch reizvoll sein. Genauso könnte ich mir aber auch einen Effizienzmotor, der „Best in Class“ ist, vorstellen.

Wie bewegen wir uns in 30 Jahren fort?

Fuoss In 30 Jahren werden wir wohl überwiegend mit hybridisierten Fahrzeugen unterwegs sein, mit Motoren, die wir erfolgreich dem Downsizing unterzogen haben. Wir sind zudem die Generation, welche die Elektrofahrzeuge zum Laufen bringt und lernt, mit dieser neuen Technologie richtig umzugehen, sodass unsere Folgegeneration dann keine Berührungsängste mehr haben wird. In Zukunft wird es einen Mix aus Brennstoffzellen- und Batteriefahrzeugen, Plug-in-Hybriden und Hybriden sowie Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor geben. Diese Fahrzeuge beziehen ihre Energie jedoch zunehmend aus CO_2-neutraler Elektrizität und CO_2-neutralen Kraftstoffen und sind somit erst dann wirklich nachhaltig.

Wenn Sie kein Motorenentwickler geworden wären, was wären Sie wohl dann?

Fuoss Das ist für mich schwer vorstellbar … Wahrscheinlich wäre ich jemand geworden, der den stetigen Wunsch hegt, einmal Motorenentwickler zu werden. ■

Klaus Fuoss

Als Sohn eines selbstständigen Fahrzeugmechanikers wurde in ihm bereits als Kind die Leidenschaft für Autos und Motoren geweckt. Nach seinem Studium an der Universität Stuttgart arbeitete der Diplom-Ingenieur mehrere Jahre in der Vorentwicklung der Audi AG in Neckarsulm, bevor er 1996 erstmals zu Porsche kam. Als Fachreferent in der Motorkonstruktion arbeitete er an zahlreichen Motorprojekten der Porsche AG mit und war darüber hinaus im Rahmen der Kundenentwicklung in das Projekt „Harley-Davidson V-Rod“ involviert. Im Jahr 2003 zog es Klaus Fuoss für vier Jahre in die USA zu Mercury Marine, wo er als Abteilungsleiter der Motorkonstruktion (Außenbordmotoren) tätig war. Zurück in Deutschland hat Klaus Fuoss im Oktober 2007 die Leitung des Bereichs Motorenentwicklung bei Porsche Engineering übernommen.

Toleranzmanagement in der Fahrzeugentwicklung

Eine präventive Qualitätsmethode

Text: Bernhard Mölzer, Michael Strobelt

____ In der Fahrzeugentwicklung wird Toleranzmanagement als präventive Qualitätsmethode angewendet, um optischen und funktionellen Anforderungen gerecht zu werden. Dadurch können potenzielle Fehler vermieden werden, bevor sie entstehen. Übergeordnetes Ziel des Toleranzmanagements ist es, eine hohe Produktqualität ohne Nacharbeit zu realisieren.

Bei Porsche Engineering ist die Methode Toleranzmanagement dem Leistungsbereich Production Engineering zugeordnet. Hier werden Prozessthemen für Fahrzeug- und Industrieprojekte projektübergreifend begleitet.

Warum Toleranzmanagement?

Die stetig steigenden Anforderungen an ein Produkt hinsichtlich Design, Optik und Funktionalität führten zur Entwicklung der präventiven Qualitätsmethode Toleranzmanagement, um frühzeitig die Funktions- und Fertigungsfähigkeit von Konstruktionen abzusichern. Mithilfe des Toleranzmanagements können Fehler vermieden werden, bevor sie entstehen. Geforderte Qualitätsmerkmale (Fugenplan) können eingehalten sowie Engstellen und Funktionen abgesichert werden.

Die drei zentralen Bestandteile

Das Toleranzmanagement setzt sich im Wesentlichen aus den drei zentralen Bestandteilen „Vorgaben – Funktionsmaße und Fugenplan“, „Referenzpunktsystem“ und „Statistische Toleranzanalyse“ zusammen.

Vorgaben – Funktionsmaße und Fugenplan

Bauteile und Module sind hinsichtlich der Erfüllung von übergeordneten Qualitäts- und Funktionsmerkmalen in Abstimmung zu bemaßen. Die dabei abgeleiteten Werte nennt man Funktionsmaße. Für das Produkt werden die relevanten Merkmale in einem Anforderungskatalog – zum Beispiel in einem sogenannten Fugenplan- oder Funktionsmaßkatalog – zusammengefasst. Dieser dient der Fertigung in der Produktion zur statistischen Prozesssteuerung (SPC) und Fehleranalyse.

Funktionsmaße für Einzelteile oder Baugruppen werden in den entsprechenden Zeichnungen dokumentiert. Speziell bei der Festlegung der Funktionsmaße gilt es, den Grundsatz des Toleranzmanagements *So genau wie nötig – so ungenau wie möglich* zu beachten. Die richtige Balance zwischen Restriktion und Freiraum ist nötig, um in der Produktion ein fehlerfreies Produkt im angemessenen Kostenrahmen herzustellen. Zudem ist auch die Prüfbarkeit von Funktionsmaßen zu beachten, da die technisch umsetzbare Praxis oft die wünschenswerte Theorie einschränkt.

Wenn zum Beispiel eine gekrümmte Fläche oder eine schwer erreichbare Kante involviert ist, könnte das Funktionsmaß in der Realität nicht oder nur schwer reproduzierbar messbar sein. Die Folge sind hohe Ausschussquoten. Dies zieht eine Fehlersuche, Eingriffe in laufende Prozesse und weitere Maßnahmen nach sich, die gerade im Produktionsbereich hohe Kosten verursachen. Durch intelligente Festlegung von Funktionsmaßen kann dies verhindert werden.

Referenzpunktsystem (RPS)

Das durchgängige Referenzpunktsystem (RPS) der Einzelteile und Baugruppen bis zum fertigen Produkt bildet das Fundament des Toleranzmanagements. Es ist Basis für die Erstellung von Toleranzkonzepten und der Messplanung und gleichzeitig Grundlage des Aufbau- und Montagekonzepts.

Die Aufgabe des RPS ist die eindeutige Positionierung eines Bauteils/Zusammenbaus im freien Raum und die Einschränkung der sechs Freiheitsgrade (je drei translatorische und rotarische Bewegungsrichtungen) durch die Anwendung der 3-2-1-Regel. Dies gilt für alle ortsfesten Systeme. Bei kinematischen Systemen muss an dem Bauteil, das eine Bewegung verursacht, der entsprechende Freiheitsgrad uneingeschränkt bleiben. Die RPS-Punkte sollten in stabilen Bereichen und in ihrer Ausrichtung möglichst parallel zum Bauteilkoordinatensystem liegen. Durch ein geschickt positioniertes RPS können sich Toleranzeffekte an Stellen auswirken, die weder von funktions- noch von kundenspezifischem Charakter sind.

Statistische Toleranzanalyse

Die statistische Toleranzanalyse ermöglicht eine Aussage über den Einfluss einzelner Merkmale wie Form- und Lagetoleranzen oder Montageeinflüsse im Gesamtzusammenhang. Aus der Gegenüberstellung dieser Berechnungsdaten in Kombination mit den geforderten Qualitätsmerkmalen lassen sich die Direktläufer- beziehungsweise Ausschussquoten aufzeigen. Dazu wird die 1D-Toleranzberechnung beziehungsweise 3D-Toleranzsimulation verwendet.

Die statistische Berechnung von Qualitäts- und Funktionsmerkmalen zeigt in erster Linie auf, ob die Zielparameter mit den vorliegenden Montage- beziehungsweise Aufbaukonzepten sowie den verfügbaren Bauteilqualitäten erfüllt werden oder ob Optimierungen zur Zielerreichung notwendig sind. Dann gilt es, mit den beteiligten Fachbereichen Lösungen zu erarbeiten.

Die Vorteile

Durch die analytische Vorgehensweise ist es mit dem Toleranzmanagement möglich, die geforderten Qualitätsmerkmale (zum Beispiel Fugen und Übergänge) einzuhalten und ›

Es gibt verschiedene Ansatzpunkte, um auf ein Ergebnis Einfluss zu nehmen:

> **Optimierung des Montage- beziehungsweise Aufbaukonzepts, dadurch Reduzierung der Beitragsleister**
> **Optimierung der Aufnahmekonzepte von Einzelteilen**
> **konstruktive Änderungen**
> **Anpassung/Einschränkung der Einzeltoleranzen – Vorsicht: steigende Herstellungskosten**
> **Optimierung des Herstellprozesses und dadurch Erhöhung der Qualitätsfähigkeitskennzahlen einzelner Beitragsleister (Prozessfähigkeit cp bzw. Prozessfähigkeitskennwert cpk) – Vorsicht: steigende Herstellungskosten**
> **Aufweitung der Qualitätsvorgabe (Toleranzvorgabe)**
> **Stylinganpassung (kritische Fugenverläufe entschärfen etc.)**

funktionelle Anforderungen von Bauteilen (zum Beispiel Engstellen und Montierbarkeit) sicherzustellen. Es werden auch Schwachstellen im Styling, Konzeptfehler sowie Prozessrisiken sichtbar und bei Bedarf entschärft. Dadurch können Entwicklungs-, Fertigungs- und Nacharbeitszeiten und deren Kosten signifikant gesenkt werden.

Schnittstelle im Produktentstehungsprozess

Erfolgreiches Toleranzmanagement erstreckt sich über den gesamten Entwicklungsprozess und setzt eine kontinuierliche und enge Abstimmung mit allen beteiligten Fachbereichen (Entwicklung, Produktion, Qualität und Lieferanten) voraus. ›

1D-Toleranzberechnung

> mathematische Berechnung von Toleranzen mithilfe der Statistik
> von einfacher Berechnung (Root-Sum-Square-Methode) bis zur komplexen Berechnung mittels Faltung verschiedener Verteilungsformen
> Letztere in speziellen Toleranzberechnungsprogrammen
> geeignet für erste Konzeptberechnungen und einfache Zusammenhänge
> Anwendung auch in größeren oder komplexeren Umfängen

3D-Toleranzsimulation

> Ergebnisse aus dreidimensional simuliertem Zusammenbau mit zufällig variierenden Toleranzen
> Ergebnis über Tausende simulierte Produktionsabläufe, mit statistischer Bewertung
> geeignet für große, komplexe Zusammenhänge mit starkem dreidimensionalen Einfluss
> Vorteile:
  – Zusammenfassung mehrerer Messungen in einer Simulation
  – Berücksichtigung dreidimensionaler Geometrie und deren Effekte
  – einfachere Variantenbewertung
  – Bewertung kinematischer Systeme
  – Bewertung flexibler, überbestimmter Bauteile
> Nachteile:
  – teilweise komplexer Aufbau
  – höhere Softwarekosten

Toleranzmanagement – Ablauf in der Fahrzeugentwicklung

1	Definition der zu betrachtenden Umfänge/Qualitätsmerkmale (Fugenplan, Funktionsmaßkatalog)
2	Aufzeigen der Zusammenhänge und Identifizieren der einzelnen Beitragsleister (Fügefolge, RPS-Konzept, Toleranzkonzept)
3	Identifizieren der Einflussgrößen und Fertigungsprozessparameter (Bauteil-, Vorrichtungs-, Montagetoleranzen und ihre Verteilungsformen)
4	Durchführung der Toleranzanalyse (Toleranzberechnung 1D/Toleranzsimulation 3D)
5	Auswertung der Ergebnisse (Monte-Carlo-Simulation) und Einschätzung der Beitragsleister (Pareto-Analyse), Ermittlung der Direktläuferquoten (Nacharbeit) hinsichtlich geforderter Qualitäts- und Fugenvorgaben (von Fugenplan/Funktionsmaßkatalog)
6	Dokumentation der Toleranzanalyse (inkl. grafischer Darstellung)
7	Rückführung der Analyseergebnisse in die Entwicklungsteams
8	Maßnahmendefinition und Erarbeitung von Konzeptalternativen in den Entwicklungsteams bei Ergebnissen, die „nicht in Ordnung“ sind
9	Messwertrückführung in die Toleranzanalyse und Aktualisierung

Die Toleranzmanagement-Systematik

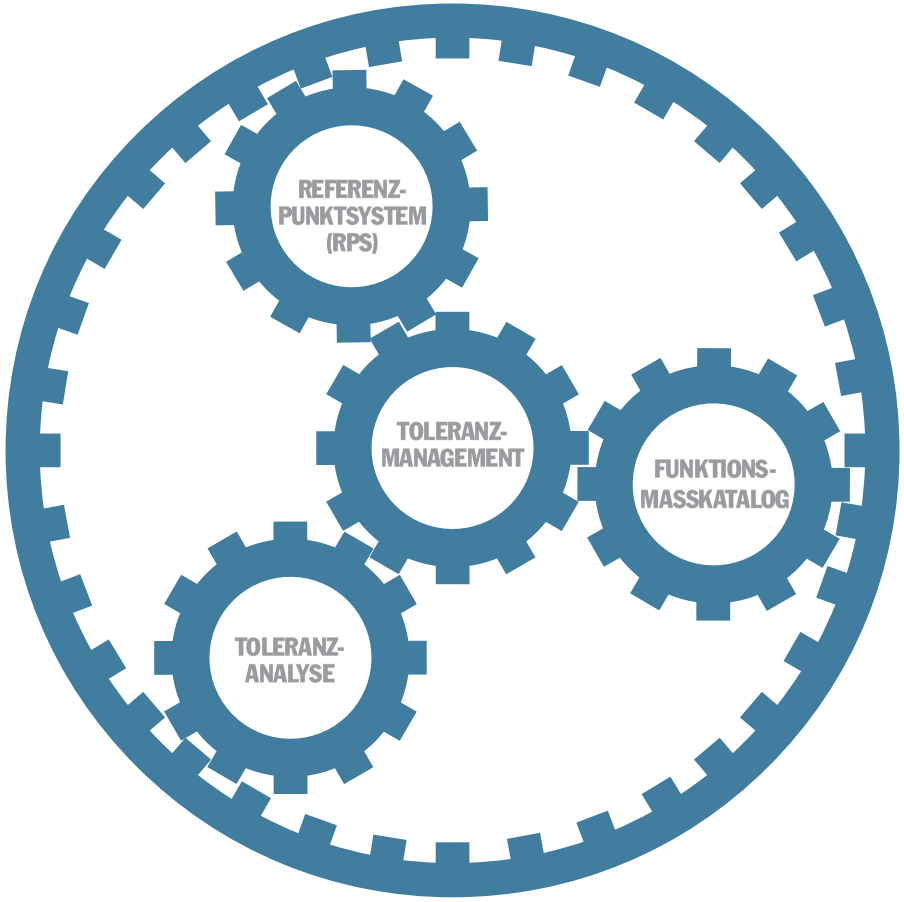
Qualitätsmerkmale
Toleranzvorgabe

Konstruktion
RPS, Toleranzwerte

Montage
Toleranzwerte, Montagekonzepte

Qualität / Messtechnik
Messdaten bzw. Praxiswerte

Lieferant
Toleranzwerte



statische und arithmetische
Berechnungsergebnisse

Ermittlung der
Direktläuferquote

Identifizierung der
Hauptbeitragsleister

Konzeptentscheidung,
Variantenberechnung

Jede Fuge sitzt an Ort und Stelle, Design und Funktionalität gehen zu hundert Prozent miteinander einher.

Es gilt, die benötigten Informationen zu sammeln, im Toleranzmanagement umzusetzen und die daraus resultierenden Ergebnisse wieder an die Schnittstellen zurückzugeben.

Schnittstellen des Toleranzmanagements

> Design
> Entwicklung
> Montageplanung
> Kaufteilqualität
> Lieferanten
> Produktion
> Messtechnik

Um eine größtmögliche Wirkung durch das Toleranzmanagement zu erzielen, muss dieses frühzeitig in den Entwicklungsprozess eingebunden werden. Entsprechend erfahrene Mitarbeiter sollten idealerweise bereits ab der Konzeptphase mitwirken und hinsichtlich RPS und Montagekonzepten beratend unterstützen. Auch in Richtung Serienanlauf, wenn also bereits erste Messdaten existieren, ist eine Messdatenrückführung in die Toleranzanalyse und somit eine Validierung der Annahmen möglich.

Zudem ist der Einsatz nicht auf die Umfänge der OEM- beziehungsweise erstausrüsterinternen Produktion beschränkt. Auch für Lieferanten von Einzelteilen und Unterbaugruppen lohnt sich der Einsatz des gesamten Spektrums des Toleranzmanagements.

Wissen ausbauen und weitergeben

Um den Nachwuchs für das Toleranzmanagement zu fördern, werden an der Universität Stuttgart und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Gastvorlesungen und Fachvorträge angeboten. Zudem ist im Rahmen von Industrie-Diplomarbeiten zum Thema Toleranzmanagement bei Porsche Engineering eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Produktentwicklung (IPEK) und dem Institut für Produktionstechnik (wbk) des KIT entstanden. Neben dem Ziel der Nachwuchsförderung wird damit bei Porsche Engineering der existierende hohe Standard in Bezug auf das Toleranzmanagement gehalten und konsequent weiterentwickelt.

Fazit

Das Einhalten von geforderten optischen und funktionellen Qualitätsmerkmalen unter der Prämisse der Reduktion von Nacharbeit und Prozesskosten ist der Motor für die frühzeitige Anwendung von Toleranzmanagement als präventive Qualitätsmethode im Produktentstehungsprozess. Seit der Einführung der 3D-Toleranzsimulation können komplexe Fragestellungen noch effizienter bearbeitet und detailreicher beurteilt werden. ■

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

Gewöhnlich **außergewöhnlich**

Wie Scania-Nutzfahrzeuge und Porsche-Sportwagen zusammenpassen

_____ Bereits seit mehr als zehn Jahren kooperieren der Nutzfahrzeughersteller Scania und Porsche Engineering im Rahmen von Lkw-Entwicklungsthemen. Nach mehreren kleineren Projekten besteht seit 2010 eine Kooperation zur Entwicklung einer neuen Scania-Lkw-Kabinengeneration. Wir haben uns mit Herrn Dr.-Ing. Harald Ludanek, Vorstand Forschung und Entwicklung bei Scania, Frau Catharina Modal Nielsson, Technische Leiterin für die Kabinenentwicklung, und Herrn Sven-Åke Edström, Vorstand Lkw-, Kabinen- und Bus-Chassis-Entwicklung, unterhalten.

Interview: Frederic Damköhler, Nadine Guhl Fotos: Dan Boman

Herr Dr. Ludanek, auf den ersten Blick scheinen Scania-Nutzfahrzeuge und Porsche-Sportwagen nicht so recht zusammenzupassen …

Dr. Ludanek: Es ist richtig, dass es sich hier um zwei Produkte mit völlig unterschiedlichen Anforderungen handelt. Ein Porsche-Sportwagen wird von den Kunden in seiner Perfektion und der damit ausgestrahlten Emotionalität, seiner Leistung, seinem Fahrverhalten und seiner Qualität geschätzt. Der Lkw dagegen ist eine Arbeitsmaschine, die sich vor allem durch Zuverlässigkeit, Haltbarkeit, Laufzeit und Funktionalität auszeichnet. Während ein Pkw mit einer Lebensdauer von durchschnittlich 5 000 Betriebsstunden und einer Gesamtlaufleistung von circa 150 000 km die Anforderungen der Kunden erfüllt, müssen Lkw auf das jeweils Zehnfache ausgelegt sein.

Inwiefern macht für Sie eine Kooperation mit Porsche Engineering dennoch Sinn?

Dr. Ludanek: Die Bauprinzipien, die physikalischen Grundlagen und viele Anforderungen in den Karosseriestrukturen sind dieselben. Durch die Zusammenarbeit mit den Ingenieurinnen und Ingenieuren von Porsche Engineering können wir insbesondere von deren Erfahrung in der konstruktiven Auslegung und der Fertigung profitieren. Genauso spielen Themen wie Leichtbau und Verbrauchsreduzierung auch bei Nutzfahrzeugen eine große Rolle. Und der Transfer erfolgt in beide Richtungen: So wurden in den letzten Jahren beispielsweise vermehrt hochfeste Werkstoffe und warm umgeformte Strukturbauteile – wie sie in Lkws verbaut werden – auch in Pkw-Karosserien eingesetzt, um Gewicht einzusparen und den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren.

Herr Edström, wie kam es zu der Kooperation bei der Entwicklung der neuen Kabinengeneration?

Edström: Scania und Porsche Engineering hatten bereits viele Jahre vor diesem Projekt erfolgreich im Bereich der Lkw-Entwicklung zusammengearbeitet. Für Scania war es wichtig, einen Partner mit Kompetenzen in mehreren Bereichen zu finden, wie zum Beispiel bei den Rohkarossen, neuen Methoden der Simulation und Produktionsplanung sowie einer starken Verbindung zu den Pilothallen. Es liegt auf der Hand, dass der Zeitrahmen für den Entwicklungsprozess in der Nutzfahrzeugbranche viel langfristiger ist als im Pkw-Bereich. Wir gehen davon aus, dass wir von den neuen Methoden aus der Automobilbranche profitieren können, um eine schnellere Trendwende und bessere Ergebnisse zu erzielen. ›

Jede erfolgreiche Geschäftsbeziehung lebt vom vertrauensvollen Austausch: so auch die Kooperation von Scania und Porsche Engineering.

Was unterscheidet Porsche Engineering gemäß Ihrer Erfahrung von anderen Ingenieurdienstleistern?

Dr. Ludanek: Porsche Engineering hat den Vorteil der direkten und unmittelbaren Verknüpfung mit dem Automobilhersteller Porsche. Das eindeutige Bewusstsein für Kundenanforderungen und die Kenntnisse der Randbedingungen für eine wirtschaftliche Realisierung sind außerordentlich nützlich für unsere Projektarbeit. Gerade durch die differenzierte Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven der Pkw-Entwicklung und durch die Übertragung dieser Erfahrungen auf die Projekte der Lkw-Entwicklungen ergeben sich oftmals ganz neue Lösungsansätze. Die Erfahrungen und Kenntnisse aus den mittlerweile im Pkw-Bereich standardisierten Verfahren und Methoden – gepaart mit den spezifischen Anforderungen im Nutzfahrzeugbereich – erzeugen neue Ideen und Lösungen, von denen unsere Kunden profitieren.

Frau Modahl Nilsson, was ist das Besondere an einem Scania-Lkw, verglichen mit denen der Konkurrenten?

Modahl Nilsson: Scania ist sehr kundenorientiert. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Betriebsleistung zusammen mit der Wirtschaftlichkeit. Niedriger Kraftstoffverbrauch, optimale Laufzeiten und geringe Servicekosten sind für Logistikunternehmen entscheidende Faktoren. Der Lkw-Fahrer sollte in der Lage sein, den Lkw problemlos zu bedienen, ohne gestresst oder überfordert zu werden. Was die Mensch-Maschine-Schnittstelle angeht, erhält der Fahrer hervorragendes Feedback zur Fahrleistung.

Welchen allgemeinen Herausforderungen muss sich die Nutzfahrzeugbranche zukünftig stellen?

Edström: Die zukünftigen Entwicklungen im Nutzfahrzeugbereich werden nicht mehr nur durch die *eine* Verbesserungsmaßnahme bestimmt sein. Es gilt, die Effizienz im Logistikbereich anhand einer Vielzahl von Verbesserungen insgesamt deutlich zu steigern. Genau wie in der Automobilbranche stehen auch Nutzfahrzeuge vor Herausforderungen wie Leichtbau, Energieeffizienz, Reduktion von Kraftstoffverbrauch und Emissionen, Einsatz von Lkw mit alternativen Kraftstoffen oder auch erhöhte passive und aktive Sicherheitsanforderungen. Hinzu kommt, dass diese zusätzlichen technischen Einrichtungen nur dann Akzeptanz finden werden, wenn eine entsprechende Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Zukünftig werden diesbezüglich – insbesondere durch die Vernetzung der Fahrzeuge im Logistikverbund – Verbesserungspotenziale eröffnet.

Wo sehen Sie angesichts dieser Herausforderungen weiteres Potenzial für die Zusammenarbeit mit Ingenieurdienstleistern?

Edström: Da sind verschiedene Kooperationsmöglichkeiten möglich. Neben den klassischen Themen der Kabinen- und Bauteilkonstruktion gilt es, auch existierende Arbeitsmethoden weiterzuentwickeln: Hierbei kann das Know-how von Entwicklungsdienstleistern durchaus hilfreich sein.

Dr. Ludanek: In Zukunft werden wir bei der Elektrik- und Elektronikentwicklung auch im Lkw-Bereich kürzere Nutzungszeiten akzeptieren müssen, da sich der Trend und die Methoden in schnelleren Zyklen ändern. Assistenzsysteme, die im Pkw-Bereich Einzug halten, werden bald auch für Nutzfahrzeuge eingeführt werden – auch hier können wir von bereits vorhandenen Erfahrungen profitieren. Viele der hoch entwickelten Technologien werden den Kunden zuerst über den Automobilsektor erreichen. Das gilt auch für hoch entwickelte Materialien.

Wie sieht es in umgekehrter Richtung aus: Was kann Ihrer Meinung nach die Automobilbranche von der Nutzfahrzeugbranche lernen?

Dr. Ludanek: Grundsätzlich sollten bei Kooperationsprojekten für beide Seiten Synergien entstehen. Bei der Lkw-Entwicklung stehen Kraftstoffverbrauch und Betriebskosten im Fokus. Angesichts sehr hoher Betriebszeiten und Laufleistungen lassen sich auf diesen Gebieten viele Entwicklungsideen ›

Immer wieder aufs Neue wendet Porsche Engineering sein Wissen auf andere Branchen und fachfremde Projekte an. Auch Scania zählt auf Porsche-Know-how, und letzten Endes profitieren beide Seiten vom wertvollen Erfahrungsaustausch.

Dr.-Ing. Harald Ludanek

Executive Vice President, Forschungs- und Entwicklungsvorstand

Dr.-Ing. Harald Ludanek kam 2012 zu Scania. Nach dem Studium hatte er bei der Volkswagen AG verschiedene Positionen inne. Er arbeitete außerdem bei Škoda Auto MIBol/CZ. Vor seinem Wechsel zu Scania war er bei der Volkswagen AG Leiter der Fahrzeugentwicklung. Bei Scania wurde Harald Ludanek zum Vorstand Forschung und Entwicklung berufen.

Catharina Modahl Nilsson

Engineering Director Kabinenentwicklung

Catharina Modahl Nilsson kam als Trainee zu Scania und hatte innerhalb des Unternehmens zahlreiche Positionen hauptsächlich in der Forschung und Entwicklung, aber auch im Marketing inne. Seit 2012 ist sie bei Scania Technische Leiterin für die Kabinenentwicklung.

Sven-Åke Edström

Senior Vice President Lkw-Kabinen- und Bus-Chassis-Entwicklung

Sven-Åke Edström, der als Trainee zu Scania kam, hat seine Karriere im Unternehmen als Konstrukteur in der Nutzfahrzeug- und Schiffsmotorenabteilung begonnen, wobei er sich auf die Konstruktion von Dieselmotoren konzentrierte. Seitdem hatte er bei Scania verschiedene Positionen sowohl innerhalb als auch außerhalb Schwedens inne. 2009 wurde er zum Vorstand Lkw-, Kabinen- und Bus-Chassis-Entwicklung berufen.

wirtschaftlich umsetzen. Dabei muss sich die einzelne Maßnahme sehr oft im integralen Zusammenspiel der Aspekte Zuverlässigkeit, Servicefreundlichkeit und Betriebssicherheit bewähren. Diese ganzheitliche Sichtweise kann vor dem Hintergrund der CO_2-Einsparungen und der Flottenbetriebe auch im Pkw-Bereich einige Vorteile bringen.

Edström: Der Lkw-Sektor ist außerdem führend in der technologischen Entwicklung, was robuste und langlebige Technologie angeht.

Inwiefern wird sich e-Mobility auf die Nutzfahrzeugbranche auswirken?

Modahl Nilsson: Wir müssen hier differenziert die Anwendungsfälle betrachten. Im innerstädtischen Verteilerverkehr und im Personennahverkehr wird langfristig der Hybridantrieb Anwendung finden. Gerade bei Stop-and-go-Situationen wird durch eine Hybridisierung des Antriebsstrangs die Rekuperation der Bremsenergie und die Anfahrunterstützung ermöglicht. Im Gegensatz zum Pkw wird beim Lkw die rein elektrische Fahrweise eher die Ausnahme bleiben und nur auf bestimmten Strecken denkbar sein. Im Güterfernverkehr wird der rein elektrische, autonome Fahrbetrieb aufgrund der geringen Speicherdichte der Batterien schwerlich Akzeptanz finden. In Schweden wird jedoch an Konzepte zur Elektrifizierung von Autobahn-Hauptverkehrsstrecken gedacht, sodass die Nachteile der heutigen Speichertechnologien ausgeglichen werden können.

Welche Rolle spielt Design bei Scania?

Edström: Bei Scania ist das Lkw-Design wichtig – und es gewährleistet die Scania-Markenidentität. Scania hat eine starke äußere Formgebung, die einem Helm ähnelt. Dadurch werden wesentliche Merkmale von einem Scania-Lkw wie Sicherheit, Laufzeit, Robustheit und Qualität betont. Die Bedeutung wird deutlich, wenn man bedenkt, dass das Design im Innenbereich mit der Funktionalität eines Lebensraums für den Fahrer abgestimmt sein muss. Natürlich ist das Design nicht das Haupt-

kriterium, aber es ist entscheidend, um die Identifizierung des Fahrers mit der Marke zu fördern, was zu einem besseren, sorgfältigeren Umgang mit dem Lkw führt und dann wiederum niedrigere Betriebskosten bewirkt.

Wie werden Lkw in 20 Jahren aussehen?

Dr. Ludanek: In 20 Jahren werden Lkw über technische Verbesserungen für geringeren Kraftstoffverbrauch verfügen, zum Beispiel niedrigere Luftwiderstandswerte, optimierte Aerodynamik und leichteren Zugang. Was die Funktionen betrifft, wird der Lkw enger in den Logistikprozess eingebunden sein. Durch Fahrerassistenzsysteme werden Handhabung und Bedienung vereinfacht, Service und Wartung werden vom Betriebssystem selbst überwacht und ermittelt. Der Lkw-Fahrer verfügt somit zugleich über ein Büro und einen komfortablen Lebensbereich.

Wenn Sie für einen Tag Entwickler bei Porsche sein könnten, was würden Sie gerne entwickeln?

Dr. Ludanek: Porsche ist ein faszinierendes Sportwagen-Unternehmen mit emotionalen Produkten. Mit dem Porsche Cayenne ist es den Porsche-Ingenieuren auf brillante Weise gelungen, sportliche Charakteristik mit Robustheit und Offroad-Leistung zu verbinden. Immer, wenn man einen Porsche Cayenne unter rauen Offroad-Bedingungen fährt, ist man unweigerlich von seiner Leistung überwältigt. Ich würde also wirklich gerne die nächste Generation des Porsche Cayenne entwickeln.

Edström: Beim Porsche Carrera sind Straßenlage und Handling ebenfalls sehr beeindruckend. Warum nicht in diesem Entwicklungsbereich mitarbeiten, um mehr über das Geheimnis dieses Erfolgs zu erfahren?

Modahl Nilsson: Ich bin beeindruckt von der starken Marke Porsche, den Emotionen und dem Erbe, das mit der Porsche-Identität verbunden ist. Dies ist anscheinend nicht nur in den Köpfen der Kunden tief verwurzelt, sondern auch im Stolz, den alle Porsche-Mitarbeiter an den Tag legen. Als Ingenieurin würde ich es toll finden, Teil des Rückgrats der Porsche-Riege zu sein – und die nächste Generation des 911 zu entwickeln. ■

www.scania.de/trucks/

DIE KOOPERATION ZWISCHEN SCANIA UND PORSCHE ENGINEERING

Seit Beginn der Kooperation zwischen dem schwedischen Nutzfahrzeughersteller Scania und Porsche Engineering zur Entwicklung einer neuen Lkw-Kabinengeneration im Jahr 2010 standen neben dem Scania-typischen Styling und einer ausgeprägten Funktionalität auch stets die optimale Gestaltung der Entwicklungs- und Produktionsprozesse im Vordergrund. „Nur wenn sich unsere Entwicklungen reibungslos in den Scania-Entwicklungsprozess einfügen, wenn sie effizient produzierbar sind und einen Mehrwert bei Scania schaffen, haben wir erfolgreiche Arbeit geleistet“, so Malte Radmann, Geschäftsführer bei Porsche Engineering. „Dies ist der Anspruch, den unsere Ingenieurinnen und Ingenieure seit Ferdinand Porsches Gründung des Konstruktionsbüros vor mehr als 80 Jahren bei unseren Kunden weltweit verfolgen.“

Schon immer wurden im Rahmen der Porsche-Ingenieurdienstleistungen Erfahrungen und Know-how aus der Automobilindustrie in verwandte Branchen übertragen. „Wir versetzen uns stets in die Perspektive unserer Kunden und versuchen, die branchentypischen Bedürfnisse wie etwa einen vergleichsweise hohen Druck in Bezug auf Produkt- und Herstellkosten mit unserer speziellen Erfahrung aus der Sportwagenentwicklung zu kombinieren“, sagt Helmut Fluhrer, Leiter des Scania-Kabinenentwicklungsprojekts bei Porsche Engineering. „Bislang ist es uns stets gelungen, trotz aller Herausforderungen entscheidende Synergien für beide Seiten zu schaffen. Genau das macht unser Projekt so spannend.“

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

CAYENNE: Kraftstoffverbrauch kombiniert 11,5–7,2 l/100 km; CO_2-Emission 270–189 g/km

CAYMAN: Kraftstoffverbrauch kombiniert
8,8–7,7 l/100 km; CO_2-Emission 206–180 g/km

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert
12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emission 289–194 g/km

BOXSTER (TYP 981): Kraftstoffverbrauch kombiniert
8,8–7,7 l/100 km; CO_2-Emission 206–180 g/km

_____ Er ist für Kurven gebaut wie kaum ein zweiter Sportwagen: Der neue Porsche Cayman setzt mit längerem Radstand, rundum neuem Fahrwerk und weniger Gewicht neue Maßstäbe für Fahrdynamik in seiner Klasse. Der von Grund auf neu entwickelte Zweisitzer ist nach dem 911 Carrera und dem Boxster die dritte Sportwagen-Modellreihe von Porsche mit innovativer Leichtbaukarosserie.

Kurvenkünstler in dritter Generation

Der neue Porsche Cayman

Der neue Cayman ist markanter als je zuvor. Seine Proportionen sind neu und dennoch eindeutig für das Porsche Sportcoupé.

Das Design: eigenständiger denn je

Der verlängerte Radstand bei kürzeren Überhängen sowie Räder mit 18 und 19 Zoll Durchmesser mit größerem Abrollumfang sind optische Erkennungsmerkmale für die gesteigerte Fahrdynamik. Sein Design ist geprägt von präzisen Linien und messerscharf-modellierten Kanten. Typisch für das weiterentwickelte Design ist die Schulterlinie, die aus dem stark nach oben gewölbten Kotflügel bis ins Fondseitenteil läuft. Besonders ausdrucksstark und charakteristisch ist zudem der dynamische Einzug in der Tür, der die Ansaugluft zum markanten Einlass im Fondseitenteil und damit direkt zum Triebwerk führt: Das Grundkonzept des Mittelmotorsportwagens ist nirgendwo deutlicher sichtbar.

Von vorne ist der neue Cayman an seinen dominanten Kühllufteinlässen zu erkennen. In ihnen sind weit außen die runden Bugleuchten mit Vierpunkttagfahr- beziehungsweise Positionslichtern integriert – ein unverwechselbares Kennzeichen des neuen Cayman. Genauso spezifisch für die neue Generation des Sportcoupés sind die große, flache Heckklappe aus Aluminium und das Heckteil mit den umlaufenden Kanten. Insgesamt tritt der Cayman noch eigenständiger auf als bisher und differenziert sich deutlich von seinem Vorgänger.

Motor: Sechszylinder mit Hochdrehzahlkonzept

Porsche setzt im Cayman ausgesprochene Sportmotoren ein, die sattes Drehmoment mit hoher Leistung im oberen Drehzahlbereich verbinden. Dieses Hochdrehzahlkonzept ermöglicht es unter anderem, den Hubraum des Basistriebwerks im Vergleich zum Vorgängermodell um 0,2 Liter zu verringern und dennoch eine höhere Leistung zu erzielen. Mit seiner spezifischen Leistung von 74,8 kW/l (101,6 PS/l) überschreitet der 2,7-Liter-Motor als erstes Cayman-Triebwerk die für Sportmotoren magische Grenze von 100 PS pro Liter Hubraum. Die neuen Motoren saugen ihre Luft aus den Lufteinlässen links und rechts an. ›

Intelligente Effizienz: Bordnetzrekuperation, Thermomanagement, Segeln

Mit ihrer wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit machen die vor der Hinterachse positionierten Sechszylinder-Boxer-Motoren die Porsche-Zweisitzer zu einem Musterbeispiel an effizienter Performance. Die Antriebe beider aktuell verfügbaren Modelle sind mit Benzin-Direkteinspritzung, Thermomanagement, Bordnetzrekuperation und Auto-Start-Stopp-Funktion um bis zu 15 Prozent sparsamer.

Das Prinzip, Motorleistung nur dann abzurufen, wenn sie auch tatsächlich gebraucht wird, hat der neue Cayman in Verbindung mit PDK-Getriebe mit dem Boxster und dem 911 Carrera gemeinsam: das sogenannte Segeln. Hierunter versteht man das antriebslose Rollen, bei dem der Motor im Leerlauf mit entsprechend niedrigem Verbrauch läuft. In der Praxis bedeutet das mögliche Kraftstoffeinsparungen von bis zu einem Liter auf 100 Kilometer.

Außergewöhnliche Fahrdynamik: agil in Kurven

Die Fahrdynamik des Porsche Cayman ist außergewöhnlich. Mehr noch als bisher sichert ihm das Zusammenspiel von Mittelmotorkonzept und Fahrwerksabstimmung den Spitzenplatz in seiner Klasse. Die Grundgeometrie schafft dafür beste Voraussetzungen: 60 Millimeter mehr Radstand für mehr Stabilität bei sehr hohen Geschwindigkeiten, breitere Spur an beiden Achsen für zusätzliche Fahrstabilität und Agilität in Kurven, zudem Reifen mit größerem Durchmesser für noch bessere Haftung bis zum Grenzbereich. Besonderen Wert legten die Porsche-Ingenieure bei der Abstimmung des Cayman aber nicht nur auf Fahrdynamik und Agilität, sondern sie bauten gleichzeitig auch Komfort und Alltagstauglichkeit weiter aus.

Reaktionsschnell und effizient: elektromechanische Lenkung, bessere Bremsen

Die elektromechanische Servolenkung löst beim Cayman das bisherige hydraulische System ab. Durch ihre Leistungsfähigkeit bietet sie dem Fahrer die Möglichkeit, die Agilität des Cayman noch intensiver zu erfahren. Mit den gesteigerten Fahrleistungen ist auch die Bremsanlage des Cayman leistungsfähiger geworden. Neben der Ausstattung mit steiferen Bremssätteln an der Vorderachse, optimierter Belagführung und größerer Bremsfläche wurde auch die Bremsscheibenkühlung verbessert.

44 %

Aluminiumanteil in der neuen Cayman-Rohkarosserie

Karosserie: leichter, steifer, sportlicher

Die Karosserie des neuen Cayman ist eine komplette Neuentwicklung, basierend auf dem Rohbau des Boxster. Das bedeutet: Durch die innovative Leichtbaukarosserie in Aluminium-Stahl-Verbundbauweise sank das Gewicht des Rohbaus um rund 47 Kilogramm. Gleichzeitig stieg die statische Torsionssteifigkeit um 40 Prozent. Mit anderen Worten: Der Cayman fährt sich präzise wie nie zuvor. Porsche setzt bei den neuen Leichtbaukarosserien Stahl immer nur dort ein, wo er unverzichtbar ist. So werden bevorzugt beispielsweise Aluminium-Druckguss, Aluminiumblech, Magnesium und hochfeste Stähle verwendet, die für den jeweiligen Einsatzbereich in der Karosserie maßgeschneidert sind und für sehr hohe Steifigkeitswerte bei Minimierung des Materialeinsatzes sorgen. Rund 44 Prozent der neuen Cayman-Rohkarosserie bestehen aus Aluminium, so etwa Vorderwagen, Boden und Hinterwagen, Türen und beide Kofferraumdeckel. Der Auftrieb an beiden Achsen konnte gegenüber dem Vorgängermodell nochmals verringert werden, was sich in noch mehr Fahrstabilität im Hochgeschwindigkeitsbereich auswirkt. Der Flügel ist optimal in das Heck integriert und fährt bogenförmig automatisch oder manuell aus. Er erzeugt mit seiner um 40 Prozent vergrößerten Wirkfläche mehr Abtrieb als die Abrisskante des Vorgängers und setzt der Luftströmung weniger Widerstand entgegen.

Höhere Leistung, höhere Sicherheit, höherer Fahrspaß – der neue Cayman steht seinem Ruf in nichts nach. Kurvenkünstler eben. ■

www.porsche.de/cayman

Als besonders charakteristisches Merkmal des Cayman gilt der dynamische Einzug in der Tür, der die Ansaugluft zum markanten Einlass im Fondseitenteil und damit direkt zum Triebwerk führt.

Ebenso spezifisch sind die große, flache Heckklappe aus Aluminium und das Heckteil mit den umlaufenden Kanten.

Passion für Sicherheit und Ästhetik

_____ Bei der Gesamtwahrnehmung des neuen Cayman ist auch das Fahrzeuginterieur von besonderer Bedeutung. Hierbei kommt es nicht nur auf Optik und Styling des Fahrzeuginnenraums an, sondern auch die Funktionsentwicklung nach FMVSS 201u spielt eine wichtige Rolle.

Text: Thorsten Beck Foto: Jörg Eberl

Die Sicherstellung der passiven Fahrzeugsicherheit im „Greenhouse-Bereich" spielt bei der Gestaltung des Fahrzeuginterieurs eine wichtige Rolle.

Strategische Ausrichtung

Im Rahmen der Funktionsentwicklung des Fahrzeuginnenraums nimmt das US-amerikanische Gesetz FMVSS 201u eine zentrale Rolle ein. Dieses Gesetz ist ein wichtiger Bestandteil zur Sicherstellung der passiven Fahrzeugsicherheit und widmet sich insbesondere dem Kopfaufprallschutz im „Greenhouse-Bereich“ – jener Bereich oberhalb der Türbrüstung, der durch die Verglasung, das Fahrzeugdach und üblicherweise die A-, B- und C-Säulen begrenzt wird.

Entwicklungsablauf beim Cayman

Die Projektarbeit begann bereits zum Zeitpunkt der Auslegung der ersten Packagekonzepte. Die frühzeitige Einbindung in den Fahrzeugentwicklungsprozess schon während der Konzeptphase wirkte sich vorteilhaft aus. Im eng verzahnten Entwicklungsablauf konnte dadurch eine unmittelbare und besonders effiziente Abstimmung mit den unterschiedlichen Schnittstellenpartnern wie Fahrzeugsicherheit, Ausstattung, Package oder auch Styling erreicht werden. Beispielsweise wurde die Entscheidungsfindung des Designs schon frühzeitig durch Konzeptschnitte unterstützt, in denen sowohl die zur Erfüllung der Sicherheitsvorschrift FMVSS 201u notwendigen Deformationsräume als auch sonstige Packageanforderungen bereits berücksichtigt wurden.

Die Festlegung der Deformationsräume wurde eng mit der Fahrzeugsicherheit abgestimmt. Zielsetzung dabei war das Erreichen des Optimums im Spannungsfeld Kosteneffizienz, Styling, Variantenvielfalt und Leichtbau bei Einhaltung der Sicherheitsanforderungen. Die Auslegung der Deformationselemente erfolgte entsprechend der FMVSS 201u, zusätzliche Aspekte wie Kosten und Gewicht wurden dabei ebenfalls berücksichtigt. Die Funktionsauslegung erfolgte unter anderem mittels Free-Motion-Headform-(FMH-)Berechnungen. Um den Entwicklungsablauf ohne Vorprototypen umsetzen zu können, ist aufgrund der Vielzahl von FMH-Prüfkonstellationen insbesondere die Finite-Elemente-Methode-(FEM-)Berechnung unerlässlich.

Auf Grundlage des virtuellen Vorprototyps wurde das erste FMH-Berechnungsmodell aufgebaut. Die FEM-Berechnung diente dazu, die konzipierten Deformationselemente weiterzuentwickeln und bis zur Freigabetauglichkeit technisch abzusichern. Durch die kontinuierliche Abstimmung zwischen FEM-Berechnung und Bauteilkonstruktion konnte eine durchgängige Auslegung für den Bereich „Greenhouse“ erreicht und somit zusätzliche Abstimmungsschleifen vermieden werden.

Der Abgleich der Versuchsergebnisse mit den Berechnungsergebnissen zeigte keine signifikanten Abweichungen – ein Beleg für die Qualität der funktionsgerechten Konstruktion und des Berechnungsmodells.

Die Erprobungsergebnisse aus der Prototypenphase sind eine wesentliche Grundlage für die Serienentwicklung. Auf Basis der Ergebnisse aus Crashversuchen, Kopfaufprallversuchen, Systemversuchen (wie Klimawechseltests) im Gesamtfahrzeug und Komponentenversuchen erfolgen bis zur Festlegung des finalen Stylings weitere Anpassungen. Besonders hervorzuheben sei hierbei die Umsetzung der harmonisch abgestimmten Position der Sonnenblende, welche durch den Einsatz eines innovativen Deformationskonzepts ermöglicht wurde. Insbesondere in diesem Zusammenhang erwies sich die bereichsübergreifende Kooperation als effizient bei der Lösungsfindung.

Prozessoptimierung durch automatisierte Abläufe

Über die erfolgreiche Projektbearbeitung hinaus resultierten aus der Entwicklung auch Prozessoptimierungen bei Entwicklungsabläufen, von denen in Folgeprojekten bereits profitiert wurde. Es handelt sich um Effizienzsteigerungen durch einen durchgängigen FEM-Berechnungsprozess, der vom Modellaufbau bis zur Analyse alle Einzelschritte beinhaltet. Durch ein automatisiertes Auswertungstool wird eine reduzierte Analysezeit und bessere Vergleichbarkeit erreicht.

Des Weiteren wurde ein Werkzeug zur teilautomatisierten Konstruktion der nach FMVSS 201u vorgeschriebenen Prüfpunkte und Prüfbereiche entwickelt. Durch die unmittelbare Erstellung im CAD-Umfeld können bislang notwendige Zwischenschritte erspart und eine verbesserte Dokumentation ermöglicht werden, was wiederum eine erhebliche Zeitersparnis mit sich bringt. ■

Mehr Effizienz durch Rapid Control Prototyping

____ Rapid Control Prototyping (RCP) ist eine Methodik, um den modellbasierten Software-Entwicklungsprozess flexibel und effizient zu gestalten. Porsche Engineering setzt auf diese Technologie, um bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess zukünftige Motor-Steuergerätefunktionalitäten „erlebbar“ zu machen.

Text: Heiko Junker

Stetig steigen die Komplexität und der damit verbundene Zeitaufwand in der Softwareentwicklung für Motor-Steuergerätefunktionen. Hervorgerufen wird dieser anhaltende Trend unter anderem durch die fortlaufende Verschärfung gesetzlicher Anforderungen, wie zum Beispiel der Emissionsgrenzwerte, welche immer wieder neue systemübergreifende komplexe Funktionen erfordern. Auch die Hybridisierung und die Individualisierung von Funktionalitäten, um die Antriebsstrang-Charakteristik auf das jeweilige Fahrzeug zu optimieren, stellen den Funktionsentwickler vor neue Herausforderungen. Es bedarf der Möglichkeit, unabhängig vom Steuergerätelieferanten Funktionen zu entwickeln und zu testen, um hierdurch Entwicklungszyklen und damit die Kosten reduzieren zu können.

Softwareentwicklung oft wenig flexibel

Die geläufigste Prozesskette in der Softwareentwicklung und Applikation von Steuergerätesoftware ist, dass die Steuergeräte-Hard- und -Software vom gleichen Zulieferer bereitgestellt werden. Beim Bedarf von neuen Funktionen, Funktionserweiterungen oder Fehlerbehebungen wird vom zuständigen Funktionsverantwortlichen oder Applikateur eine entsprechende Anforderung verfasst. Die gewünschten Änderungen werden vom Steuergeräte- beziehungsweise Softwarelieferanten eingearbeitet und zum nächsten Software-Release zur Verfügung gestellt. Die in diesem Zusammenhang häufig in Textform geschriebenen Lastenhefte führen dabei immer wieder zu Unterschieden zwischen geforderter und umgesetzter Funktionalität. Insbesondere bei komplexen Softwareanforderungen führt dies zu häufigen Rekursionen, welche mit RCP vermeidbar sind.

Geringerer Aufwand mit Rapid Control Prototyping (RCP)

Die Steuergeräte in Kraftfahrzeugen haben unterschiedlichste Steuer- bzw. Regelungsaufgaben. Sensoren erfassen den aktuellen Zustand der Regelstrecke und leiten die Informationen an das Steuergerät zur Berechnung der Stellgrößen weiter. Über Aktoren kann anschließend das Steuergerät die Regelstrecke beeinflussen und den gewünschten Zustand einregeln (siehe Abbildung auf der rechten Seite).

Beim klassischen Prototyping in der Softwareentwicklung wird ein vollständiges Regelungs- oder Steuerungsmodell erstellt und mithilfe spezieller Prototyping-Hardware getestet. Rapid Control Prototyping ermöglicht es stattdessen, mit geringem Aufwand einzelne neue Funktionsbestandteile zu erzeugen und bereits existierende Programmstrukturen zu erweitern oder sogar zu ersetzen. Im direkten Anschluss können die Funktionen auf einer Bypass-Plattform validiert werden. Diese Bypass-Plattform kann sowohl ein spezielles Experimentiersystem (Target) oder auch das zukünftige Seriensteuergerät (ECU) selbst sein. RCP bezeichnet demzufolge eine durchgängige Vorgehensweise vom Funktionsentwurf bis zur Programmausführung auf einem Regelungs- und Steuerungssystem. Damit ist es möglich, wichtige Funktionalitäten schnell unter realen Bedingungen, zum Beispiel im Fahrzeug, zu testen und eine frühzeitige Rückmeldung bezüglich Aufwand und Umsetzbarkeit neuer Funktionen zu erhalten. Probleme werden rechtzeitig erkannt und können mit wesentlich geringerem Aufwand behoben werden. Dabei wird grundsätzlich zwischen internem und externem Rapid Control Prototyping unterschieden.

Internes Rapid Control Prototyping (On Target Prototyping)

Ohne zusätzliche Hardware stellt das interne Rapid Control Prototyping eine preiswerte Lösung dar, in der das in der Serienentwicklung verwendete Steuergerät zum Einsatz kommt. Die Steuergerätesoftware muss für die Einbindung von Bypass-Anwendungen vom Steuergerätelieferanten entsprechend vorbereitet werden. Hierfür kann zum Beispiel das Programm ETAS EHOOKS-PREP, ein Bestandteil der ETAS EHOOKS-Toolkette, Verwendung finden. Das Programm verschlüsselt die zusätzlich ›

Internes Rapid Control Prototyping

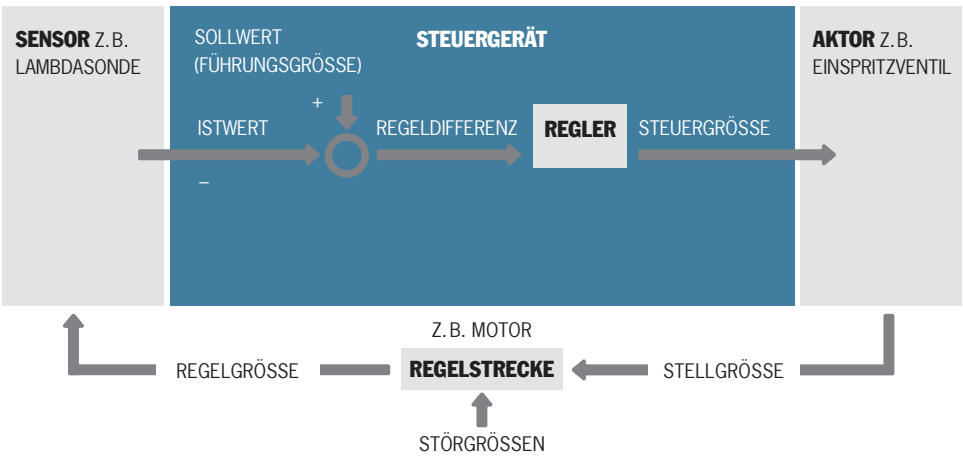
VORTEILE:

> keine zusätzliche Hardware notwendig (mehrere Entwicklungsfahrzeuge können mit nur einem neuen RCP-Softwarestand ausgestattet werden)
> originales Steuergeräte-Timing

NACHTEILE:

> Bearbeitungszeit für einen neuen Softwarestand (Zeit für Build-Prozess + Steuergerät flashen)
> eingeschränkte Rechenleistung
> limitierter Programm- und Applikationsspeicher
> beschränkte I/O

Signalflussplan Regelkreis

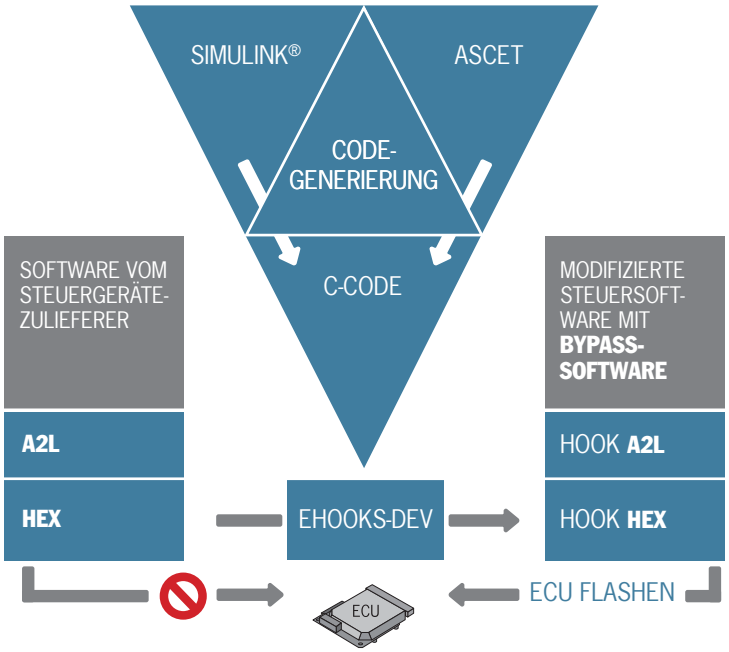


benötigten Adressinformationen und freien Speicherbereiche für die nachfolgende Einbindung von Freischnitten und neuem Funktions-Code. Die für eine Bypass-Anwendung notwendigen Freischnitte in der Steuergerätesoftware können damit anschließend unabhängig von dem Steuergeräte- beziehungsweise Softwarelieferanten eingefügt werden.

In der unten stehenden Abbildung werden die notwendigen Arbeitsschritte für die zusätzliche Einbindung von Funktionen dargestellt. Die Steuergerätesoftware wird üblicherweise in Form einer *.HEX-Datei (ausführbarer Programm-Code für das Steuergerät) und einer *.A2L-Beschreibungsdatei (Address-to-Label: Auflistung der Speicheradressen und der zugehörigen symbolischen Namen der Objekte im Programm-Code) bereitgestellt. In der Serienentwicklung kann damit das Steuergerät wie üblich geflasht werden.

Alternativ besteht nun die Möglichkeit, eine Bypass-Anwendung zu integrieren. Über auf dem Markt bekannte Tools wie Simulink® oder ETAS ASCET, welche in der modellbasierten Softwareentwicklung verwendet werden, können die neuen Funktionsstrukturen und daraus der C-Code erstellt werden. Im Programm EHOOKS-DEV muss der Anwender die zu überschreibenden Eingänge bestehender Funktionen einrichten, die sogenannten Freischnitte. Auf alle im bestehenden Programm-Code vorkommenden Signale kann hier auch lesend für die Weiterverarbeitung in der neuen Bypass-Funktion zugegriffen werden. EHOOKS-DEV erstellt in dem nachfolgenden Build-Prozess einen neuen ausführbaren Programm-Code für das Seriensteuergerät, welches die neue Bypass-Software beinhaltet. Diese kann wiederum auf das Steuergerät geflasht und ausgeführt werden. Die Besonderheit bei einer Bypass-Anwendung ist, dass die Bypass-Funktion während der Programmausführung aktiviert und deaktiviert werden kann. So hat zum Beispiel der Applikateur die Möglichkeit, neue Funktionsstrukturen mit dem originalen Programm-Code online vergleichen zu können.

Erstellungsprozess internes Rapid Control Prototyping



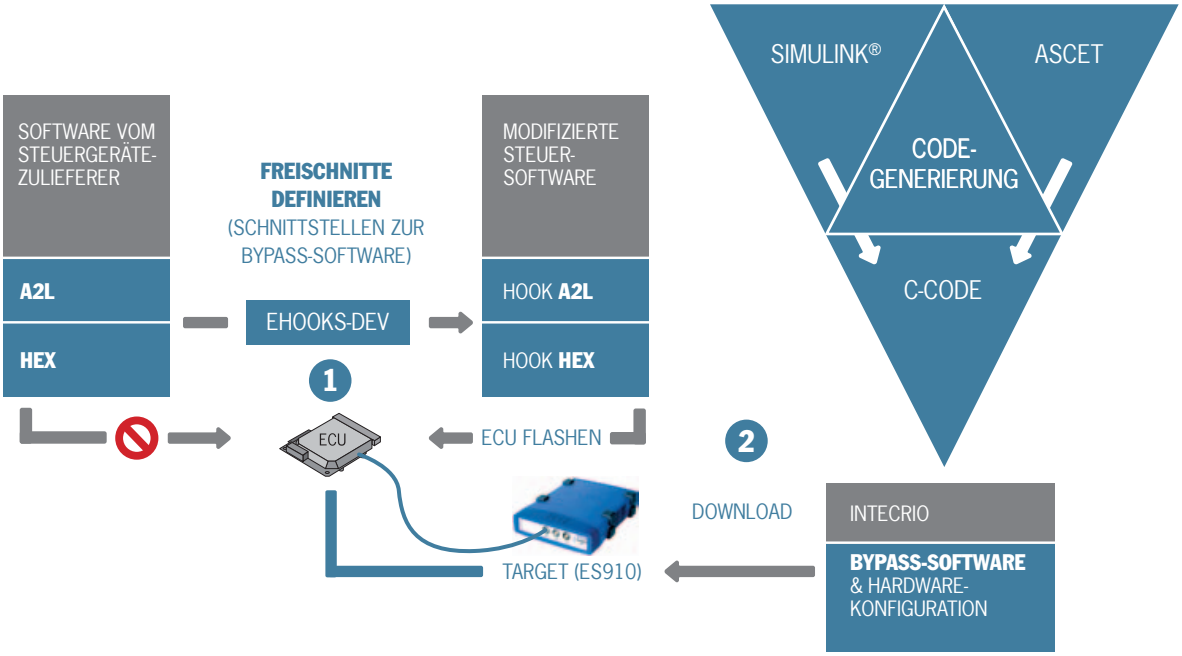
Externes Rapid Control Prototyping

Ein möglicher Speicherplatzmangel oder eine Überlastung der vorhandenen Rechenleistung des Seriensteuergerätes bei sehr großen internen Bypass-Funktionen können einen Wechsel zum externen Rapid Control Prototyping notwendig machen. Bei dieser Technologie besteht zusätzlich die Möglichkeit, auch neue Sensoren oder Aktoren in die Anwendung mit einbeziehen zu können. Die neue Bypass-Funktion wird beim externen Rapid Control Prototyping auf eine separate Hardware, dem Target, gerechnet. Das Target ist über eine spezielle echtzeitfähige ETK-Schnittstelle mit dem Seriensteuergerät verbunden. Über diese Verbindung können Signale gelesen und zurückgeschrieben werden. In der Abbildung auf der rechten Seite werden die notwendigen Arbeitsschritte im Zusammenspiel mit dem leistungsfähigen Prototyping- und Schnittstellenmodul ETAS ES910 dargestellt.

Im ersten Arbeitsschritt müssen wie bei der internen Methodik die Freischnitte und die zu lesenden Signale mit der Anwendung EHOOKS-DEV eingerichtet werden. Damit ist eine Schnittstelle zur zukünftigen Bypass-Software definiert. Der durch den Build-Prozess mit EHOOKS-DEV erstellte Programm-Code ist auf das Seriensteuergerät zu flashen. Diese Software beinhaltet lediglich einen Service für die ETK-Schnittstelle für den Datenaustausch zum Target. Muss die Schnittstelle weitere Daten bereitstellen, ist der erste Arbeitsschritt zu wiederholen.

Der zweite Arbeitsschritt beinhaltet das Definieren der Hardwarekonfiguration

Erstellungsprozess externes Rapid Control Prototyping



Externes Rapid Control Prototyping

VORTEILE:

> hohe Rechenperformance
> quasi keine Ressourcenbeschränkung
> schnelle Turnaround-Zeiten (Entwicklungszyklus)
> zusätzliche I/O möglich
> Sicherheitsaspekt („Fall-back“ auf Steuergerät)

NACHTEILE:

> zusätzliche Hardware (Target) notwendig
> eventuell anderes Timing-Verhalten als auf Originalsteuergerät

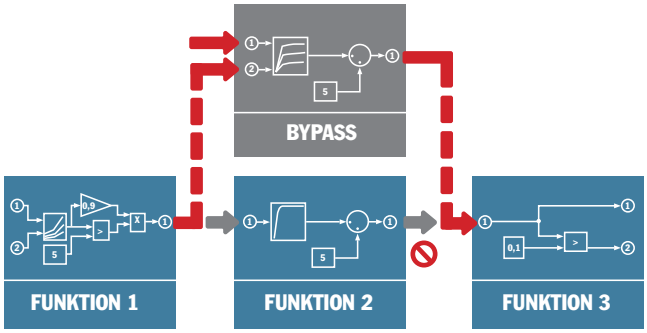
von zum Beispiel zusätzlichen I/O-Komponenten, welche an die ES910 angebunden werden können, und der Schnittstellen zur Bypass-Funktion. Diese Einstellungen sind über die Anwendung ETAS INTECRIO einzurichten. Hier wird auch der erstellte C-Code aus den Simulink®- oder ASCET-Modellen eingebunden. Die Anwendung INTECRIO erstellt aus den Informationen und Bypass-Modellen einen für das Target ausführbaren Programm-Code. Durch einen Download über eine Ethernet-Schnittstelle ist dieser anschließend in kurzer Zeit ausführbar. Soll das Target ohne Bedienrechner autark betrieben werden, kann der Programm-Code zusätzlich in einen nichtflüchtigen Speicherbereich geflasht werden. Die Rekursionszeiten für die Erstellung eines ausführbaren Bypasses auf dem Target sind wesentlich kürzer.

Die Überholspur – Bypass-Anwendungen

Bei einer Bypass-Funktion werden existierende Ein- und Ausgangssignale der Steuergerätefunktionen verwendet, um eine neu zu entwickelnde oder zu adaptierende Funktion einzubinden. Die Ergebnisse der neuen Funktion werden nach der Berechnung auf Speicherzellen geschrieben, welche bereits existierende nachfolgende Funktionen ebenfalls einlesen. Dabei können die Bypass-Funktionen aus einfachen Konstanten bis hin zu Funktionen bestehen, welche den vollständigen Funktionsapparat im Steuergerät ersetzen.

Der einfachste Fall eines Bypasses ist der Variablen-Bypass, auch Slewing genannt. In diesem wird eine Speicherzelle einer ›

Prinzip des Funktions-Bypasses



bereits existierenden Größe im Steuergerät mit einem konstanten Wert oder einer von außen kalibrierbaren Größe beschrieben. Der Bypass für die kalibrierbare Größe erlaubt, den Wert der Variablen zur Laufzeit des Steuergerätes zu manipulieren.

Die bekannteste aller Bypass-Arten ist der Funktions-Bypass (Abbildung oben). Eine neue Funktion wird mit den bestehenden Funktionen des Steuergerätes gekoppelt. Interne Größen werden der Bypass-Funktion als Eingänge zur Verfügung gestellt. Die Ausgangswerte werden auf die Speicherzellen der zu ersetzenden Variablen beziehungsweise Funktion geschrieben. Bei einem externen Bypass können zusätzliche elektrische Ein- und Ausgänge über spezielle I/O-Hardware an die Funktion angehängt werden.

Beim Applikations-Bypass werden vom Steuergerät die Treiberschichten der Ein- und Ausgänge als Schnittstellen zur Applikationsschicht zur Verfügung gestellt. Dabei werden Hardware, Treiber und Betriebssystem vom vorhandenen Steuergerät genutzt. Es können die originalen Ein- und Ausgangssignale des Steuergerätes verwendet werden.

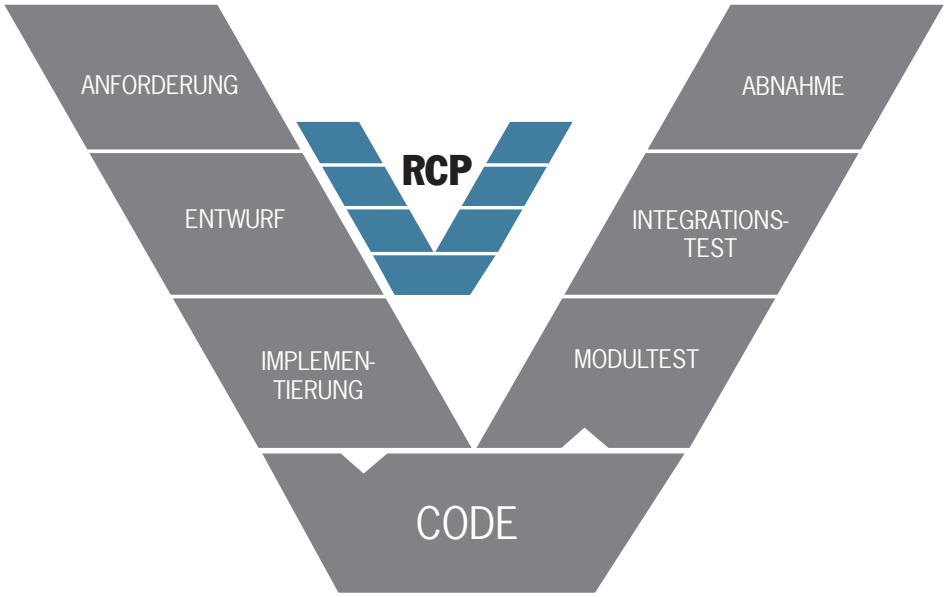
Beim Full-Bypass wird das Steuergerät vollständig durch ein Experimentiersystem ersetzt, das sogenannte klassische Prototyping. Bei diesem Bypass wird nicht nur die Applikationsschicht ersetzt, sondern auch die Treiber für Sensoren und Aktoren, Betriebssystem sowie Schnittstellen für die Fahrzeugbusse. Full-Bypass-Systeme werden hauptsächlich in Neuentwicklungen eingesetzt, bei denen entweder die Steuergeräte-Hardware oder die Softwareplattform noch nicht zur Verfügung steht.

Die Qual der Wahl

Externes und internes Rapid Control Prototyping ergänzen sich in der modellbasierten Softwareentwicklung. Der Entwicklungsingenieur hat die Möglichkeit, sich für die jeweilige Problemstellung das optimale zugehörige System zu wählen. Dabei bleibt ihm

Rapid Control Prototyping in der Entwicklungspraxis: ein Prototyp des Porsche 918 Spyder

Einordnung von Rapid Control Prototyping in das V-Modell der Softwareentwicklung



aber offen, während des Entwicklungsfortschritts zwischen beiden Methoden ohne größeren Zeitaufwand hin- und herzuwechseln.

Bei komplexen Funktionsänderungen empfiehlt es sich, mit externem Rapid Control Prototyping zu beginnen. Hierbei sind kleine Funktionsbestandteile sehr schnell sogar im Fahrzeug oder am Prüfstand änderbar. Ein 1-D-Kennfeld kann zum Beispiel innerhalb von nur fünf Minuten in ein 2-D-Kennfeld getauscht, vorbedatet und direkt im Anschluss die geänderte Funktion per Download auf dem Target ausgeführt werden. Weiterhin ist beim Einsatz von neuen Aktoren und Sensoren das Target mit zusätzlicher I/O erweiterbar, um diese anzuschließen und für neue Funktionen oder Funktionserweiterungen einzubinden. Hierbei können auch zusätzliche Bus-Schnittstellen wie LIN, CAN oder FlexRay angebunden werden. Hingegen eignet sich das interne Rapid Control Prototyping besonders für zeitkritische Funktionserweiterungen oder die schnelle Korrektur von in der Entwicklung auftretenden Softwarefehlern. Hierbei können fehlerhafte Funktionsstrukturen ersetzt werden, wie zum Beispiel ein UND-Gatter durch ein ODER-Gatter. Anschließend ist es möglich, die neue Software unabhängig vom Steuergeräte- beziehungsweise Softwarelieferanten auf alle Versuchsfahrzeuge zu verteilen, um zum Beispiel eine laufende Erprobung ohne größere Verzögerungen fortsetzen zu können.

Entwicklungsprozess

Bei der Einführung einer Porsche-Standard-RCP-Toolkette für den Porsche-Entwicklungsprozess im Bereich Motor-Steuergerätesoftware wurden durch Porsche Engineering auf dem Markt befindliche Systeme evaluiert. Aufgrund von Synergien bereits in Verwendung befindlicher Hard- und Softwarekomponenten im Porsche-Entwicklungsprozess und der Einfachheit des Erstellungsprozesses fiel die Entscheidung für die ETAS EHOOKS-Toolkette. Erstmals wird diese Technologie in größerem Umfang im Projekt 918 Spyder operativ eingesetzt. Für die Entwicklung innovativer Antriebskonzepte, wie dies im Projekt 918 Spyder der Fall ist, können mit RCP viele Ideen flexibel eingesteuert werden. Für die Absicherung von solcher Prototypen-Software nutzt Porsche Engineering die Hardware-in-the-Loop-Technologie. Sie ist ein fester Bestandteil im V-Entwicklungsprozess und verhindert bei kritischen Funktionen einen möglichen Motor- oder Fahrzeugschaden. Mit RCP haben damit die Entwicklungsingenieure bei Porsche neue Möglichkeiten, Problemstellungen in der modellbasierten Softwareentwicklung effizient zu lösen. ■

Aerodynamik und Thermomanagement

Zusammenspiel im Rahmen der Fahrzeugentwicklung

____ Die permanent steigenden Anforderungen an die Entwicklungsabteilungen der Automobilunternehmen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Abgasemissionen sowie zur Sicherstellung von aktuellen Komfort- und Qualitätsansprüchen führen zu intensiven Entwicklungsaktivitäten in den Bereichen Aerodynamik und Thermomanagement.

Text: Patrik Gisch

Neuer Windkanal in Weissach

Neben Simulations- und Berechnungsmethoden sind für die Entwicklungsingenieure Prüfeinrichtungen wie Windkanäle, Klimawindkanäle oder Teststrecken bei ihrer Arbeit nach wie vor von großer Bedeutung. Im Rahmen des derzeitigen Ausbaus entsteht im Porsche-Entwicklungszentrum in Weissach auch ein neuer Windkanal, in dem Ingenieure Fahrzeuge bei Windgeschwindigkeiten von bis zu 300 Stundenkilometern erproben können. Dieser hochtechnologische neue Windkanal wird den künftigen Anforderungen an die Fahrzeugentwicklung gerecht, welche immer stärker vom Faktor Energieeffizienz geprägt sind. Die neue Anlage wird die Entwickler dabei unterstützen, die Kompetenzen von Porsche im Bereich Aerodynamik und Design weiter auszubauen.

Herausragendes Design bei gleichzeitig bester aerodynamischer Effizienz sind seit jeher klassische Porsche-Charakteristika. Da der neue Windkanal nicht nur für Porsche-eigene Entwicklungen eingesetzt werden soll, sondern auch weiterhin für externe Kundenprojekte zur Verfügung stehen wird, existieren in der Anlage direkte Zugänge zum nebenliegenden Designstudio und eigene Eingänge für die diskrete Bearbeitung von Entwicklungsprojekten.

Ein breites Aufgabenspektrum

Ein typisches und weithin bekanntes Anwendungsfeld von Fahrzeugwindkanälen ist die Optimierung des Luftwiderstandsbeiwertes (cw-Wert) von Fahrzeugen als wichtiger Beitrag zur Verbrauchsreduktion und Steigerung der Fahrleistungen. Doch nicht nur die Reduktion des Luftwiderstandes steht bei der Aerodynamikentwicklung im Fokus. Die Ingenieurinnen und Ingenieure widmen sich darüber hinaus zahlreichen weiteren Aufgaben, die häufig erst auf den zweiten Blick als klassische Aerodynamikaufgabe zu erkennen sind. So gilt es, die Fahrstabilität eines Fahrzeugs mit exakt ausbalancierten aerodynamischen Auftriebskräften an Vorder- und Hinterachse zu unterstützen, ebenso das Geradeauslaufverhalten oder die Seitenwindempfindlichkeit. Diese Aufgaben tragen sowohl zur Fahrsicherheit bei als auch zur Steigerung der Fahrzeugperformance, zum Beispiel beim Einsatz auf der Rennstrecke.

911 (TYP 991): Kraftstoffverbrauch kombiniert 12,4–8,2 l/100 km; CO_2-Emissionen 289–194 g/km

Ein Porsche 911 im Windkanal: typische Szene im Rahmen der Aerodynamikentwicklung

Aerodynamik und Styling bestimmen das markentypische Design

Da die aerodynamische Entwicklungsarbeit zwangsläufig auch die Formgebung des Fahrzeugs beeinflusst, arbeiten die Disziplinen Aerodynamik und Styling quasi symbiotisch zusammen. So haben aerodynamische Maßnahmen und Bauteile nicht nur eine technische Funktion darzustellen, sondern sie unterstützen durch ihre Sichtbarkeit oder auch Unsichtbarkeit das markentypische Design eines Fahrzeugs.

Vor allem aerodynamische Maßnahmen am Unterboden, im Radhausbereich, aber auch die verlustarme Durchströmung von Kühlern und des Motorraumes bieten aerodynamische Potenziale, die oft „designneutral“ umgesetzt werden können und somit den Fahrzeugstylisten größere Möglichkeiten zur Gestaltung der Fahrzeugaußenhaut einräumen.

Mehr Komfort durch optimale Aerodynamik

Neben Effizienzaspekten, Performancezielen und Sicherheitsanforderungen tragen bei modernen Fahrzeugen auch Komfortaspekte zur Qualitätsanmutung und somit zur Kaufentscheidung und Kundenzufriedenheit bei. Die Zugfreihaltung bei Cabrios oder bei Fahrzeugen mit mobilen Dächern, die Schmutzfreihaltung der Seitenscheiben und des Außenspiegelglases sowie die Windgeräuschreduktion sind Anforderungsbeispiele, die von Aerodynamikingenieuren genau untersucht und auf höchsten Komfort hin optimiert werden.

Die vielversprechendsten Lösungsansätze zur Optimierung, die in der frühen Entwicklungsphase eines Fahrzeugs mit Berechnungs- und Simulationstools digital und ohne Versuchsträger ermittelt wurden, werden im weiteren Verlauf der Fahrzeugentwicklung intensiv in Windkanälen überprüft und ›

Mit modernster Visualisierungs- und Messtechnik werden im Windkanal die aerodynamischen Kräfte genau analysiert.

weiter optimiert, um letztlich die Ziele zu erreichen. Im Windkanal werden überdies die Bauteilkräfte analysiert und gegebenenfalls reduziert, die durch die Fahrzeugum- und -durchströmung entstehen. Mit modernster Visualisierungs- und Messtechnik können die aerodynamischen Kräfte auf Türen und Deckel, Fenster, Schiebedach, Spiegelgläser, Heckscheiben oder auch das Aufblähverhalten von Cabrioverdecken gemessen, dargestellt und beeinflusst werden.

Die Aerodynamikingenieure von Porsche Engineering wenden ihre Erfahrungen und Methoden aus der Fahrzeugentwicklung auch regelmäßig bei der Entwicklung oder Optimierung von Produkten aus Industriebereichen an, so zum Beispiel in der Auslegung einer Kleinwindkraftanlage, bei Zügen oder Lackieranlagen.

Zusammenspiel von Aerodynamik und Thermomanagement

Eine Kernaufgabe für Aerodynamikingenieure ist die Sicherstellung von Kühlungs- und Belüftungsfunktionen durch das Bereitstellen eines bedarfsgerechten und möglichst homogenen Kühlluftstromes. Durch eine strömungsgünstige Gestaltung des kompletten Kühlluftpfades kann der sogenannte Kühlluftwiderstand, also der durch die Kühlerdurchströmung verursachte Teil des Gesamtluftwiderstands, auf ein Minimum reduziert werden. Hier greifen Aerodynamik und Thermomanagement direkt ineinander.

Speziell die effiziente Auslegung und Ermittlung von Größe und Position der Kühllufteinlassöffnungen, die Gestaltung von Zu- und Abluftführungen und nicht zuletzt die richtige Auswahl des durchströmten Kühlers liefern spürbare Beiträge zur Luftwiderstandsreduktion. Diese Komponenten und Systeme werden von den Aerodynamikingenieuren mit Simulationstools der 3D-Computational-Fluid-Dynamics-(CFD-)Strömungsberechnung ausgelegt und optimiert. So können mithilfe der Aerodynamik neben der traditionellen Motorkühlung auch Bremsen, Aggregate, Fluide und Ladeluft gekühlt werden.

Vielfältige Thermomanagement-Lösungen

Das Aufgabengebiet des Thermomanagements erstreckt sich bei Porsche Engineering von der klassischen Kühlungsauslegung von Verbrennungsmotoren über die bedarfsgerechte Steuerung aller Wärmeströme im Fahrzeug zur Unterstützung der Verbrauchsreduktion, die Temperierung von alternativen Antriebskonzepten bis hin zum thermischen Innenraumkomfort.

Neben rechnergestützten Wärmemanagementsimulationen in frühen Entwicklungsphasen zur Auslegung und Dimensionierung von Kühlsystemen werden Prototyp- und Vorserienfahrzeuge zur Überprüfung und Absicherung der Kühlfunktionen vor allem im Porsche-Klimawindkanal oder auf entsprechenden Teststrecken eingesetzt.

Effiziente Kühlerdurchströmung reduziert den Gesamtluftwiderstand.

Zielgerichtete Luftführung um und durch das Fahrzeug für optimierte Aerodynamik und gezielte Kühlung und Belüftung

Thermomanagement auf der Teststrecke

Zur Überprüfung von Kühlfunktionen dient der 2,9 km lange Kurs auf dem Porsche-Prüfgelände in Weissach. Er ist ausgelegt wie eine Rennstrecke mit langer Gerade, schnellen Kurven, Steigungen und Spitzkehren, und er eignet sich unter anderem sehr gut zur Überprüfung von Bauteiltemperaturen und der Kühlwassertemperatur unter dem Einfluss sehr harter Beschleunigungsphasen (positive wie negative Beschleunigung).

Das seit Mai 2012 zu Porsche Engineering gehörende Prüfgelände Nardò Technical Center in Süditalien bietet mit seinem 12,6 km langen kreisrunden Hochgeschwindigkeitskurs die Möglichkeit, Bauteil- und Fluidtemperaturen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten oder dauerhafter Höchstgeschwindigkeit zu ermitteln. Dieser Fahrzustand dient unter anderem der Überprüfung der Getriebeölkühlung. Die Strecke ist bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 330 km/h freigegeben und auf der äußeren der vier Fahrbahnen kann bei einer Geschwindigkeit von 240 km/h fliehkraftfrei gefahren werden.

Richtung: Zukunft

Zukunftstechnologien stellen das Thermomanagement vor neue Herausforderungen. Insbesondere Projekte im Bereich alternativer Antriebskonzepte erfordern ausgeprägte Entwicklungskompetenzen in Bezug auf das Thermomanagement. Die Aufgabe für die Thermomanagementspezialisten liegt darin, neue Lösungskonzepte für die Temperierung von Hybridkomponenten, elektrischen Antriebsmaschinen, elektrischen Bauteilen wie Leistungselektroniken und natürlich auch der Traktionsbatterien zu entwickeln.

Doch nicht nur die Sicherstellung der Kühlfunktion verlangt nach Neuentwicklungen und Innovationen, speziell das Aufheizen von Komponenten und des Fahrzeuginnenraums bei kalten Umgebungstemperaturen will effizient gestaltet sein. Die bisher vom Verbrennungsmotor „kostenlos“ zur Verfügung gestellte Abwärme entfällt bei rein elektrisch angetriebenen Fahrzeugen und muss über andere Wege und Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden. Die Effizienz dieser Maßnahmen hat einen direkten Einfluss auf die Reichweite des elektrisch angetriebenen Fahrzeugs. Mithilfe des von Porsche Engineering entwickelten Thermodynamikprüfstandes (vorgestellt im Porsche Engineering Magazin 2/2012) in Verbindung mit einem 300-kW-Quelle-Senke-Hochvoltprüfstand werden diese Entwicklungsaufgaben für Komponenten, Systeme und Gesamtfahrzeuge für Kunden weltweit realisiert.

Der weitere Ausbau der Porsche-Infrastruktur sowie die jahrelange und vielfältige Erfahrung der Ingenieurinnen und Ingenieure im Bereich Aerodynamik und Thermomanagement ermöglichen es somit auch in Zukunft, den steigenden Kundenanforderungen und gesetzlichen Richtlinien voll und ganz gerecht werden zu können. ■

IMPRESSUM

Porsche Engineering
MAGAZIN

AUSGABE 1/2013

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
GRAFISCHE GESTALTUNG
VISCHER&BERNET, Stuttgart
ÜBERSETZUNG
RWS Group GmbH, Berlin
GESAMTHERSTELLUNG
studiodruck GmbH
72622 Nürtingen-Raidwangen

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.

FSC
www.fsc.org
MIX
Papier aus verantwortungsvollen Quellen
FSC® C103650

www.porsche-engineering.de

Wenn sich Form und Funktion ideal ergänzen.

Linde Material Handling

Linde

Seit mehr als 30 Jahren besteht die erfolgreiche Entwicklungspartnerschaft zwischen Linde Material Handling und Porsche Engineering.

Linde Material Handling GmbH, Carl-von-Linde-Platz, 63743 Aschaffenburg
Telefon 0 60 21 99-0, Telefax 0 60 21 99-15 20, www.linde-mh.de

Mehr unter www.porsche-consulting.com

Man muss keine Sportwagen bauen,
um schnelle Lösungen zu finden. Aber es hilft.

Porsche Consulting.

PORSCHE

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) innerorts 18,9 · außerorts 8,9 · kombiniert 12,4; CO_2-Emissionen 289 g/km