

Porsche Engineering

MAGAZIN

KUNDEN & MÄRKTE Fahrererkabinen für die neue Lkw-Generation von Scania

TRENDS & TECHNOLOGIEN Modulbaustein für das Batteriesystem: die Lithium-Ionen-Zelle

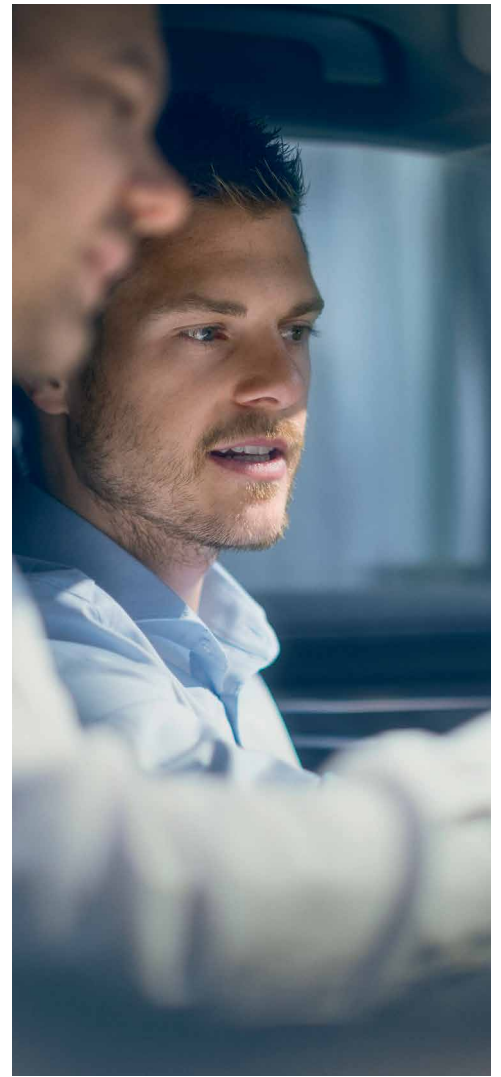
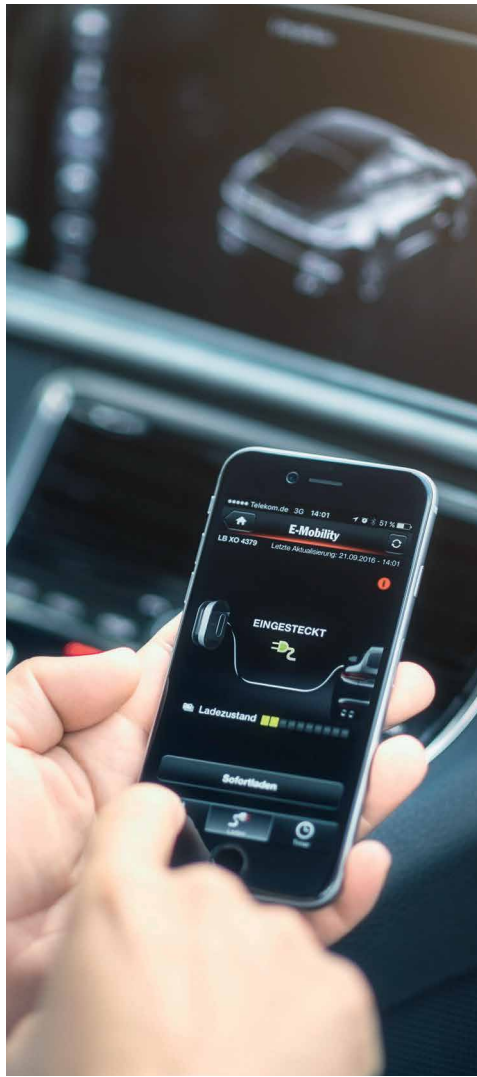
ENGINEERING INSIGHTS Grundlagen und Erfolgsfaktoren des V8-Motors

AUSGABE 1/2017

PRÄZISE.

Digitale Lösungen für das Fahrzeug der Zukunft





**Mehr km/h.
Und mehr kbit/s.**

Digitale Lösungen von Porsche Engineering.

Porsche Engineering
driving technologies



PORSCHE



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

Über Porsche Engineering

Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere Kunden durchführen, verpflichtet. Das Leistungsspektrum von Porsche Engineering reicht von der Konzeption einzelner Komponenten bis hin zur Planung und Durchführung von Gesamtfahrzeugentwicklungen und wird über den Automobilbereich hinaus auch in andere Branchen übertragen.

Liebe Leserinnen und Leser,

_____ die diesjährige Elektronikmesse CES in Las Vegas war geprägt von dem Einzug digitaler Helfer in den persönlichen Alltag. Siri, Alexa, Cortana und Co horchen in den Raum und reagieren in Sekundenbruchteilen auf Wünsche des Anwenders. Bestellungen im Internet erfolgen auf Zuruf, der Kühlschrank wird automatisch aufgefüllt und eine zentrale Intelligenz erinnert uns daran, in Kürze zur Arbeit fahren – Staus und außerordentliche Wegezeiten bereits berücksichtigt. Per Gesten- und Sprachsteuerung ergänzen wir, was die künstliche Intelligenz nicht von alleine herausfindet.

Was erwarten wir zukünftig von dieser sogenannten User Experience? Wie viel Automatisierung, Vorausdenken und Komfort möchten wir haben? Fest steht: Vieles ist möglich. Fest steht aber auch: Nicht alles, was technisch möglich ist, muss auch sinnvoll sein. Es scheint der Zeitpunkt gekommen, einige Entwicklungen zu hinterfragen und den Menschen nicht aus dem Fokus zu verlieren.

Wir sind als Entwickler bei der Umsetzung der neuen Themen – insbesondere bei Fahrzeugen – ganz vorne mit dabei. Gerade deshalb fühlen wir uns dafür verantwortlich, nachhaltige Lösungen zu schaffen: auf den Punkt entwickelt, für den Menschen und nicht nur um der Technik willen.

In einem Porsche wird die Datenverbindung abschaltbar bleiben, der sogenannte Privacy Mode muss jederzeit zuschaltbar sein. Menschen brauchen den Freiraum, auch Zeit ohne Internet und die ständige Vernetzung zu verbringen. Musik entsteht durch die Pausen zwischen den Tönen. Wir möchten Technologien vorantreiben, um Mensch zu bleiben.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen.

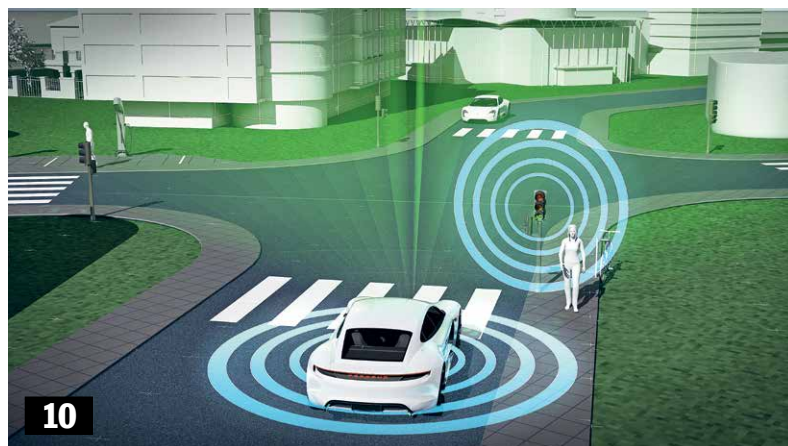
Ihr Malte Radmann und Ihr Dirk Lappe



26

KUNDEN & MÄRKTE AUF DER ÜBERHOLSPUR

Porsche Engineering entwickelt Fahrerinnen für die neue Lkw-Generation von Scania



10



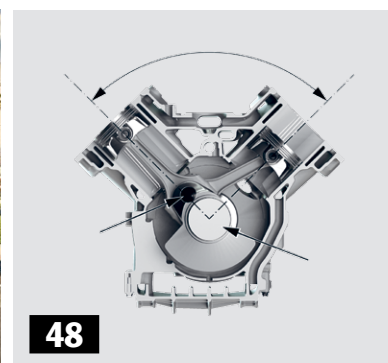
22



34



40



48

DIGITALISIERUNG

- 10 Vorausschauend und sicher**
Neue Anforderungen durch Fahrerassistenzsysteme
- 16 Neu und doch bekannt**
Dr. Rolf Zöller, Porsche AG, und Joachim Bischoff, Porsche Engineering, im Gespräch
- 22 Vernetzt und flexibel**
Automatisierte Testverfahren für Connectivity-Erweiterungen

KUNDEN & MÄRKTE

- 26 Auf der Überholspur**
Neue Lkw-Kabinengeneration für Scania

TRENDS & TECHNOLOGIEN

- 34 Bauplan eines Erfolgsmodells**
Die Lithium-Ionen-Zelle

PORSCHE HAUTNAH

- 40 Sportlicher Zuwachs**
Der Panamera Sport Turismo

ENGINEERING INSIGHTS

- 44 Alles unter einem Dach**
Fahrzeugkonzept-Entwicklung im Umfeld veränderter Mobilität
- 48 Hab' acht**
Grundlagen und Erfolgsfaktoren des V8-Motors

- 03** Editorial
06 News
53 Impressum

PANAMERA 4 E-HYBRID SPORT TURISMO
Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 2,5 l/100 km
Stromverbrauch (kombiniert): 15,9 kWh/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 56 g/km



KOOPERATION FÜR DIE ZUKUNFT

NEUER VERTRAG MIT DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT PRAG

_____ Porsche Engineering baut die Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Prag (ČVUT) weiter aus. Am 3. Mai unterzeichneten Prof. Petr Konvalinka, Rektor der ČVUT, Dirk Lappe, Geschäftsführer der Porsche Engineering Group, und Dr.-Ing. Miloš Polášek, Geschäftsführer von Porsche Engineering Prag, dazu im Gebäude des Instituts für Informatik, Robotik und Kybernetik (CIIRC) der Technischen Universität einen neuen Kooperationsvertrag. Die Zusammenarbeit wird nun auf weitere Forschungs-

einrichtungen der Universität ausgeweitet, um Forschungsprojekte in der Automobilindustrie weiter voranzutreiben. Besonders eng arbeiten Porsche Engineering Prag und das Institut CIIRC in den Bereichen der Ladeinfrastruktur-entwicklung und der serverbasierten Fahrzeugfunktionen zusammen.

Der Beginn der Kooperation mit der ČVUT ging bereits mit der Gründung der Tochtergesellschaft in Prag im Jahr 2001 einher. Porsche Engineering unterstützt seither die Studenten der Universität mit praxisnahen Vorlesungen, Praktika und Abschlussarbeiten und profitiert im Gegenzug von neuesten Erkenntnissen in der Forschung. ■

News

SOCIAL MEDIA

NEUE UNTERNEHMENSPROFILE
AUF FACEBOOK UND LINKEDIN



DIGITALISIERUNG WEITER IM AUSBAU

WACHSTUM IN CLUJ-NAPOCA



FORMULA STUDENT DRIVERLESS

PORSCHE ENGINEERING IST SPONSOR



Technologische Trends und Entwicklungen, Neuigkeiten aus den internationalen Standorten von Porsche Engineering oder aktuelle Stellenangebote: Auf den neuen Unternehmensprofilen von Porsche Engineering auf Facebook und LinkedIn können Kunden, Partner, Mitarbeiter und Interessierte den jüngsten Entwicklungen des Ingenieurdienstleisters folgen. Die Profile sind über den Suchbegriff „Porsche Engineering“ oder über die unten stehenden QR-Codes zu finden. ■



Facebook

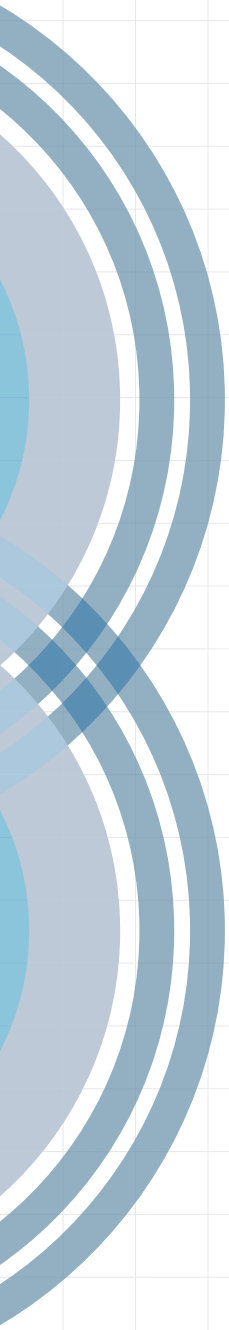


LinkedIn

Der Softwarestandort von Porsche Engineering in Cluj-Napoca, Rumänien, hat die jüngsten Wachstumsziele erfolgreich erreicht. Themen rund um die Digitalisierung von Fahrzeugen sowie E-Mobility bilden den Schwerpunkt der Entwicklungen des Standortes. Für die kommenden Jahre ist weiteres Wachstum geplant, um den steigenden Anforderungen der Funktions- und Softwareentwicklung gerecht zu werden. Der jüngst in Kooperation mit der Technischen Universität in Cluj etablierte Studiengang Automotive Engineering stärkt den langfristigen Ausbau des Standorts zusätzlich. ■

Die Formula Student erhält Zuwachs: Der neue Konstruktionswettbewerb Driverless widmet sich der Entwicklung eines autonom fahrenden Rennfahrzeugs. Auch die Universität Stuttgart schickt wieder ein Team ins Rennen dieses Wettbewerbs und wird dabei von Porsche Engineering unterstützt. Der studentische Förderverein wird genauso wie das bereits gesponserte GreenTeam für vollelektrisches Fahren von den Porsche-Ingenieuren bei der Entwicklung beraten und kann Prüfstände nutzen. Erstmals wird das neue Team im August 2017 beim Formula-Student-Rennen auf dem Hockenheimring teilnehmen. ■





Präzise.

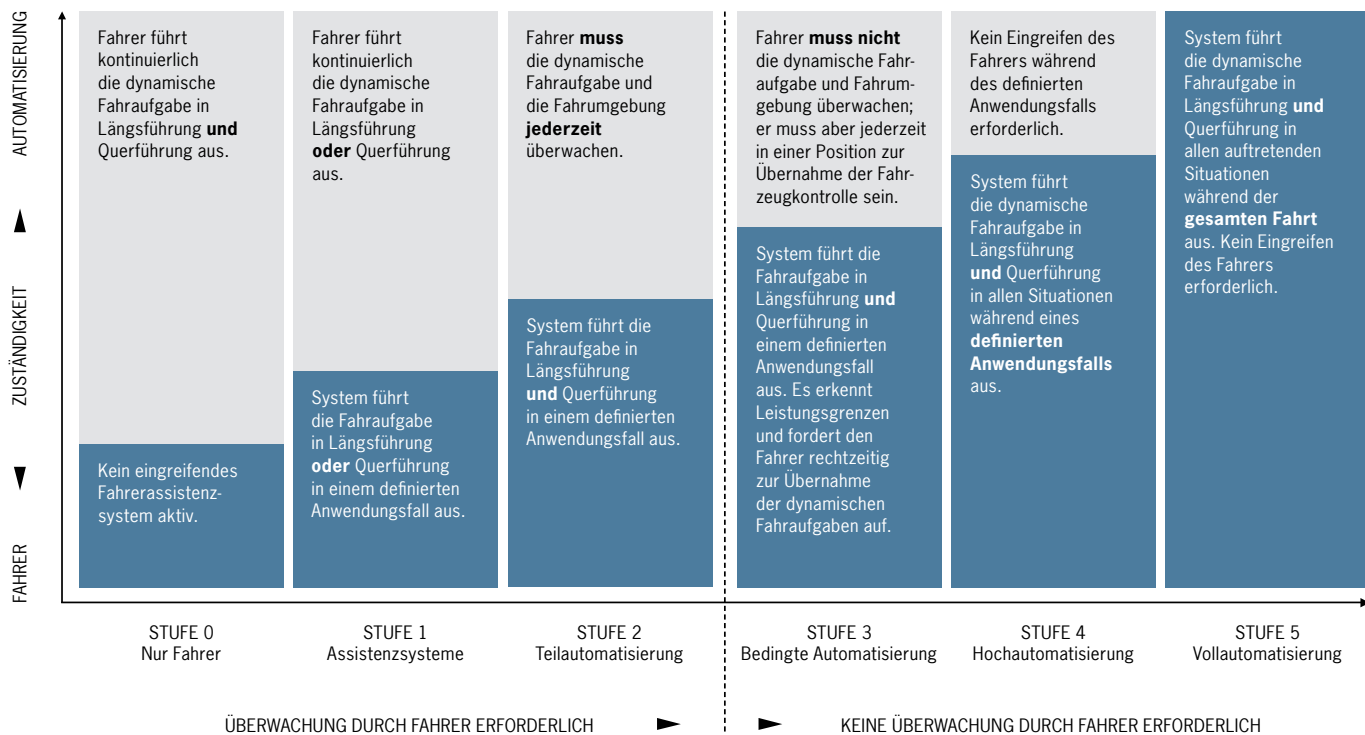
___ Genau so entwickeln wir digitale Lösungen. Nicht nur um der Technik willen, sondern stets mit dem Nutzen für Anwender und Entwickler im Hinterkopf. Fahrerassistenzsysteme müssen vorausschauend und sicher funktionieren. Wir erläutern, welche Anforderungen sich hieraus für die Entwicklung ergeben und wie diese effektiv berücksichtigt werden können. Ob und inwieweit die Digitalisierung für die Automobilindustrie neu oder doch altbekannt ist, analysieren zwei Porsche-Experten im Interview. Erfahren Sie abschließend, wie ein eigens entwickeltes Testverfahren für Connectivity-Anwendungen den Entwicklungsprozess verschlankt und die Möglichkeiten der Digitalisierung für Entwickler und Anwender auf den Punkt bringt.

Vorausschauend und sicher

Neue Anforderungen an die Bereiche Funktionsentwicklung, Testgelände und Absicherung

____ Fahrerassistenzsysteme haben sich in den letzten Jahren evolutionär von reinen anzeigenden und warnenden Funktionen hin zu Anwendungen mit immer höheren Automatisierungsgraden entwickelt. Mit der zunehmenden Automatisierung ergeben sich neue, deutlich größere Anforderungen an die Bereiche Funktionsentwicklung, Testgelände und Absicherung.

Von Dr. Christian Koelen, Julia Steiner und Johannes Wiebelitz



Automatisierungsskala laut SAE



Entsprechend den wachsenden Anforderungen an die Fahrerassistenzsysteme, welche immer mehr zu einer Entlastung bei der Fahraufgabe führen, werden die Systeme Klassen zugeordnet. Der internationale Verband der Automobilingenieure (SAE International) hat dazu mit den „SAE Levels of Automation“ eine Automatisierungsskala eingeführt (siehe Abbildung links).

Erste Stufen der Automatisierung

In der niedrigsten Stufe 0 führt der Fahrer die Fahraufgabe allein durch, er wird aber durch anzeigende und warnende Assistenzsysteme mit Informationen zum Verkehrs- und Infrastrukturmilieu unterstützt. Beispiele sind die Verkehrszeichenanzeige und ein Spurverlassenswarner. Assistenzsysteme einer höheren Stufe greifen aktiv in die Fahrzeugregelung ein, entweder in der Längsführung und/oder bei der Querverführung. Ab Automatisierungsstufe 3 kann der Fahrer bei entsprechenden Umgebungsbedingungen sich anderen Tätigkeiten widmen, muss jedoch beim Erreichen der Systemgrenzen der Assistenzsysteme die Fahraufgabe wieder übernehmen können. Mit anderen Worten: Das Fahrzeug führt die Fahraufgabe komplett selbstständig aus, der Fahrer muss allerdings mit einem Übergangsszenario in der Lage sein, das Fahrzeug wieder manuell zu steuern. Genau dieses Rückholen des Fahrers in die Fahraufgabe wird insbesondere dann kritisch, wenn der Fahrer sich mental weit von der Fahrsituation entfernt hat. Wie dies sicher ausgestaltet werden kann, wird aktuell intensiv diskutiert.

Vom hochautomatisierten zum autonomen Fahren

Das hochautomatisierte Fahren (Stufe 4) unterscheidet sich vom autonomen Fahren (Stufe 5) insoweit, als dass beim au-

tonomen Fahren die komplette Fahraufgabe vom Start bis zum Ziel der Fahrt vollständig vom Fahrzeug übernommen wird. Beim hochautomatisierten Fahren gilt dies nur für bestimmte Anwendungsfälle; ein Beispiel für diese Stufe ist ein Parkhauspilot, durch den das Fahrzeug selbstständig ohne Überwachung durch den Fahrer im Parkhaus eine freie Parklücke findet und dort einparkt.

Die Entwicklung von hochautomatisierten hin zu autonom fahrenden Fahrzeugen stellt eine große Herausforderung dar. Die korrekte Umgebungswahrnehmung durch die Assistenzsysteme ist aktuell noch schwierig, auch die Situationsinterpretation. Nur durch den Einsatz von selbstlernenden Algorithmen scheint die Vielfalt an möglichen Fahrszenarien mit vertretbarem Aufwand beherrschbar. Erste Ansätze sind dabei sehr vielversprechend, so sind zum Beispiel durch neuronale Netzwerke aktuell große Fortschritte in der Bildverarbeitung und Objektklassifikation gelungen.

Im Gegensatz zur Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns benötigt ein selbstfahrendes Fahrzeug sehr viele Trainingsdaten, um Objekte und Situationen korrekt klassifizieren zu können. Um diese großen und relevanten Datenmengen zu erhalten, ist es sinnvoll, die Daten und letztlich die „Intelligenz“ einer großen Anzahl von Fahrzeugen zu bündeln. Hierfür ist das Einbeziehen eines zentralen Back-End-Servers wichtig, mit dem die Fahrzeuge alle Informationen austauschen. Der Back-End-Server sammelt die Daten einer ganzen Fahrzeugflotte und verarbeitet diese, die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden jedem einzelnen Fahrzeug wieder zur Verfügung gestellt.

Absicherung von hoch- und vollautomatisierten Systemen

Bedingt durch die Vielfalt an möglichen eintretenden Fahrsituationen, stellt die Absicherung von hoch- bzw. >

vollautomatisierten Systemen eine besondere Schwierigkeit im Entwicklungsprozess dar. Traditionell werden zur Entwicklung und Absicherung in der Fahrzeugentwicklung Prüf- und Testgelände sowie Simulationen genutzt.

Absicherung durch Simulationen

Der Vorteil von Simulationen besteht insbesondere in der schnellen und reproduzierbaren Validierung der umgesetzten Funktionen. Das heißt, es können alle vorab definierten Test-szenarien kostengünstig und schnell überprüft werden. Die Abbildung unten zeigt zum Beispiel eine virtuelle, simulierte Umgebung.

Da Simulationen nur eine mehr oder minder gute Abbildung der Realität darstellen können, ist es unabdingbar, die Absicherung auch auf Prüfgeländen bzw. im Anschluss im realen Straßenverkehr zu erproben.

Absicherung auf Prüf- und Testgeländen

Die verfügbaren Prüf- und Testgelände bestehen momentan überwiegend aus großen Asphaltflächen, Hochgeschwindigkeitsstrecken oder anspruchsvollen Handlingkursen. Um jedoch automatisierte Fahrfunktionen in deren unterschiedlichen Ausprägungen testen zu können, sollten diese Areale so aufgebaut sein, dass sich darauf ebenfalls reale Verkehrssitua-

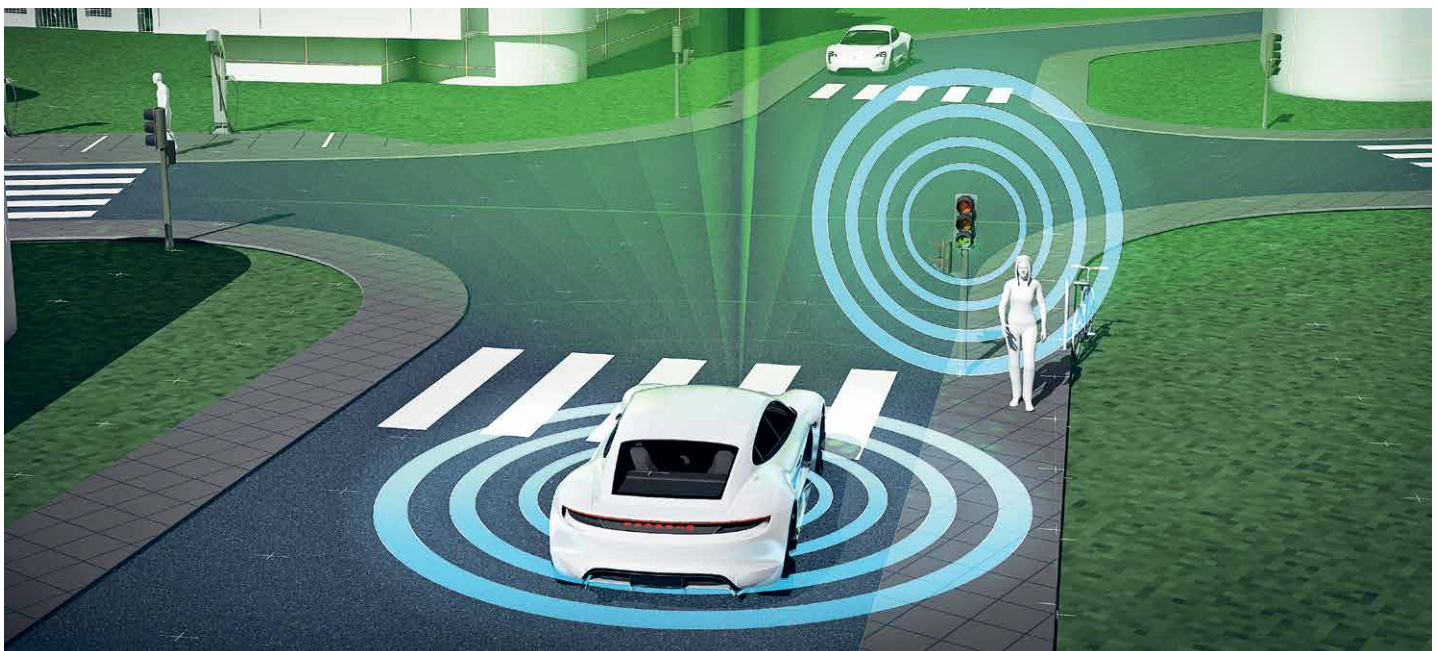
tionen abbilden lassen. Ein zukunftsfähiges Gelände für das vollumfängliche Testen von teil- als auch hochautomatisierten Fahrfunktionen muss daher mehrere wesentliche Erweiterungen der bisherigen Prüfgeländeeigenschaften aufweisen.

Digitale Kartografierung zur Validierung von Funktionen prädiktiver Streckendaten

Damit Fahrerassistenzfunktionen, die prädiktive Streckendaten (PSD) als Datengrundlage nutzen, auf nicht öffentlichen Prüfgeländen getestet werden können, muss das Prüfgeländeareal im ersten Schritt digital kartografiert werden. Dabei werden beispielsweise Informationen zu Streckenverläufen, gültigen Geschwindigkeitslimits, Fahrspuranzahl oder zu den genauen Positionen von Verkehrsschildern aufgenommen. In aktuellen Porsche-Fahrzeugen sind diese Informationen bereits über die Navigationsdatenbank verfügbar, sie erlauben die Vorausschau über statische Streckenattribute wie beispielsweise ein in 200 Meter Entfernung gültiges Geschwindigkeitslimit.

Präzise Lokalisierung durch Differential-GPS

Für die Erprobung hoch- und vollautomatisierten Fahrens auf den Prüfgeländen ist eine möglichst präzise Lokalisierung der Testfahrzeuge erforderlich. Sie wird beispielsweise über ein lokales Differential-GPS (DGPS) ermöglicht. Im Testbetrieb unterstützt das DGPS die positionsgenaue Ausrichtung von



Virtuelles Fahrzeug in einer Umfeldsimulation



Einer effizienten Erprobung von teil- und hochautomatisierten Funktionen müssen ausgereifte Toolketten zugrunde liegen.

Fahrzeugen. Über die Erprobung automatisierter Funktionen und das Testen von reproduzierbaren Testszenarien hinaus bietet es einen weiteren entscheidenden Vorteil für den Prüfgeländebetreiber: Es erhöht die Sicherheit innerhalb des Prüfgeländes, insbesondere bei kritischen Tests in höheren Geschwindigkeitsbereichen, da bei Unfällen Rettungsmaßnahmen deutlich genauer koordiniert werden können.

Dynamisches Umfeld und Vernetzung von Verkehrsteilnehmern

Neben der Lokalisierung in Bezug auf die absolute und relative Fahrzeugposition muss auch die Lokalisierung innerhalb eines dynamischen Umfeldes möglich sein. Dynamische Testobjekte oder andere Erprobungsteilnehmer könnten auf dem Prüfgelände über ein flächendeckendes WLAN oder ein internetfähiges Mobilfunknetz kommunizieren. Gleichzeitig wird dadurch die Grundbedingung für das Erproben von Connected-Car-Diensten sowie eine Basis für eine Vernetzung aller statischen Testobjekte geschaffen. Voraussetzung dafür ist, dass die Testumgebung des Prüfgeländes bereits über eine ansteuerbare und kommunikationsfähige Infrastruktur verfügt. Lichtsteueranlagen oder andere interaktive Testobjekte müssen in der Lage sein, nach den Anforderungen des zu testenden Szenarios zu agieren. In Verkehrsszenarien, die sehr realistisch dargestellt werden sollen, könnten zusätzlich gesteuerte Fußgänger- oder Radfahrerdummy zum Einsatz kommen.

Höchste Ausbaustufe: Simulated City

Die Zusammenführung aller bisher beschriebenen Prüfgeländerweiterungen führt zu einer hochflexiblen, real befahr-

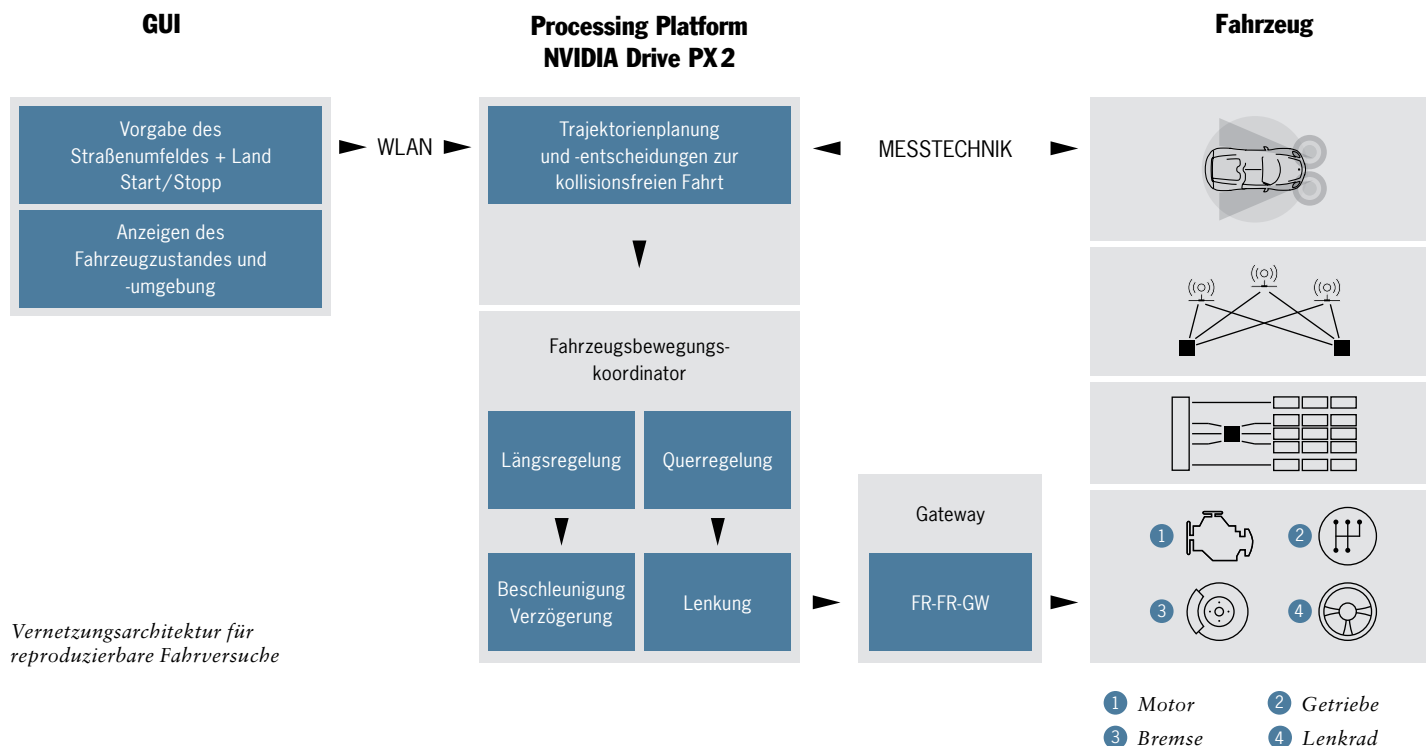
baren Testumgebung, die eine größtmögliche Varianz an Verkehrssituationen und -attributen beinhaltet. Diese Ausbaustufe wird als Simulated City (SimCity) bezeichnet, da im Stadtverkehr die Dichte an Verkehrssituationen am höchsten ist. Einfache Umsetzungsmöglichkeiten sind durch eine veränderbare Straßenführung oder die Verwendung unterschiedlicher PSD-Kodierungen realisierbar. Für das vollumfängliche Testen von autonomen Fahrfunktionen bedarf es jedoch zusätzlich einer Simulation von realen Verkehrsteilnehmern innerhalb solch einer SimCity, dazu müssen alle Koordinationsumfänge und Datenströme in einer zentralen Verwaltungseinheit gebündelt und gesteuert werden.

Erprobung kritischer Fahrsituationen

Um belastbare Grundlagen für die Entwicklung von sicherem teil- und vollautomatischem Fahren zu schaffen, ist eine Datenbank aller kritischen Fahrsituationen essenziell. Die Daten können zunächst als Basis für die Simulation kritischer Ereignisse dienen. Die rein virtuelle Berechnung erreicht allerdings ihre Grenzen, wenn es um die Bewertung der menschlichen Wahrnehmung geht. Auch die Simulation der Umfeldsensorik funktioniert nur mit Einschränkungen, da sie ausschließlich Teilkomponenten abbildet. Damit ist ein durchgängiger Systemtest des realen Fahrzeugs inklusive Antrieb und Fahrwerkskomponenten lediglich eingeschränkt simulierbar.

Reproduzierbare Fahrversuche mit Roboterfahrzeugen

Ein Lösungsansatz besteht darin, Ausschnitte aus der Simulation auf dem realen Testfeld zu erproben. Dazu müssen die als Umgebungsverkehrsteilnehmer eingesetzten Roboterfahrzeuge entsprechend den über die Simulation vorgegebenen Szenarien zentral angesteuert werden. Für jedes Testziel sind die geeigneten Fahrmanöver auszuwählen. Basis ist ein Fahrmanöverkatalog, der eine sehr große Anzahl weltweit relevanter Szenarien enthält. Viele Fahrmanöver entstammen dabei realen Testumgebungen. Dazu werden Versuchsfahrzeuge mit einer umfangreichen Umfeldsensorik ausgestattet, die das unmittelbare Verkehrsgeschehen aufzeichnen. Für den Testablauf werden diese gespeicherten Fahrszenarien auf einem speziell dafür ausgelegten Gelände „abgespielt“. Dazu wird das ursprünglich aufgezeichnete Fahrzeugumfeld, also die relativ zum Testfahrzeug bewegten Verkehrsteilnehmer, durch zentral ferngesteuerte Roboterfahrzeuge dargestellt. Prinzipiell können damit relevante Szenarien aus verschiedenen Kundenmärkten abgedeckt werden. >



Die Anforderungen an die Roboterfahrzeuge sind hoch. So muss jede Maschine selbstsicher unterwegs sein, also einerseits redundant ausgelegt sein und andererseits im Fehlerfall selbstständig in einen sicheren Zustand übergehen können (siehe Abbildung Seite 15 oben).

Einer effizienten Erprobung von teil- und hochautomatisierten Funktionen müssen ausgereifte Toolketten zugrunde liegen. Nur mit Werkzeugen, welche die komplexen Testverhältnisse steuern und auch messen können, lassen sich die zukünftig immer vielschichtiger werdenden Szenarien beherrschen. In den definierten Testmanöverkatalogen zur Absicherung neuer Software- und Funktionsstände ist vor allem die Vergleichbarkeit der Testabläufe unerlässlich. Da viele Fahrerassistenzsysteme, wie beispielsweise der Abstandsregeltempomat ACC (Adaptive Cruise Control), vom Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer abhängig sind, werden für das vollumfängliche Testen sogenannte Hasenfahrzeuge benötigt. Dabei kann durch die Automatisierung der Hasenfahrzeuge eine höchstmögliche Reproduzierbarkeit der Testmanöver erreicht werden.

Um die Fahrzeuflängs- und -querregelung zu beeinflussen, wird auf korrespondierende Fahrerassistenzschnittstellen zurückgegriffen. Für die Längsrichtung eignet sich dabei der ACC und für die Querrichtung der Spurhalteassistent LKS (Lane Keeping Support). Dies erfordert eine Anpassung der Fahrzeugarchitektur. Zu Zwecken der Signalmanipulation werden FlexRay-FlexRay-Gateways (FR-FR-GW) in die FlexRay-Branches des

Fahrzeugs eingefügt. Diese zusätzlichen Schnittstellen ermöglichen durch Triggerung die Manipulation einzelner Steuergeräte-Signale (ECU). Dadurch finden Eingriffe auf Signalebene statt, ohne die eigentlichen Fahrzeugfunktionen zu verändern.

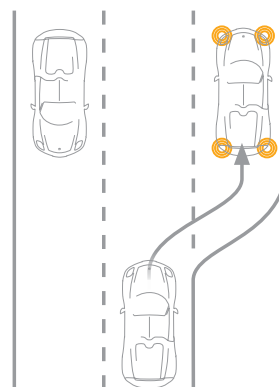
Mit dieser Vorgehensweise können eingefahrene Messungen außerdem automatisiert und reproduzierbar abgefahren werden: Entwicklungsschritte werden erkennbar und Verbesserungen nachweisbar. Außerdem wird eine elementare Bedingung in der Entwicklung erfüllt: die Reproduzierbarkeit von Versuchen zur Identifikation von Fehlerquellen.

Unter Einbeziehung der Fahrzeugumfeldsensorik, zusätzlicher Sensorik und der Benutzereingabe wird auf der Rechenplattform NVIDIA Drive PX 2 die Trajektorienplanung und -entscheidung zur kollisionsfreien Fahrt getroffen.

Ausfallsicherheit für Roboter- und Serienfahrzeuge

Mit der Komplexität und dem Grad der Automatisierung steigen die Anforderungen an die Ausfallsicherheit. Dies betrifft die Automatisierungsstufen 3 bis 5 und gilt sowohl für Roboterfahrzeuge zum Zwecke der Absicherung von Assistenzfunktionen als auch für die Entwicklung der Serienfunktion. Daher gilt es, eine Redundanz in der Sensorik und der Ansteuerung aufzubauen, sodass in kritischen Situationen das Fahrzeug in den sogenannten selbstsicheren Zustand über-

führt werden kann. Diese „Not-Fahrt“ wird durch einen Trigger ausgelöst, dem verschiedene Ereignisse zugrunde liegen können. Dazu zählen etwa der Systemkomponentenausfall, aber auch im realen Geschehen die Nichtverfügbarkeit des Fahrers nach einer gewissen Rückholungszeit oder durch Fahrerbeobachtung – beispielsweise Einschlafen oder ein medizinischer Notfall. Anschließend ermittelt das Fahrzeug anhand von Kartenmaterial und Infrastrukturdaten die nächste freie Abstellposition, um diese durch eine vorgelagerte Trajektorienplanung auf Basis der Ego-position (Lokalisierung) eigenständig anzufahren.



Darstellung einer „Not-Fahrt“ in den selbstsicheren Zustand

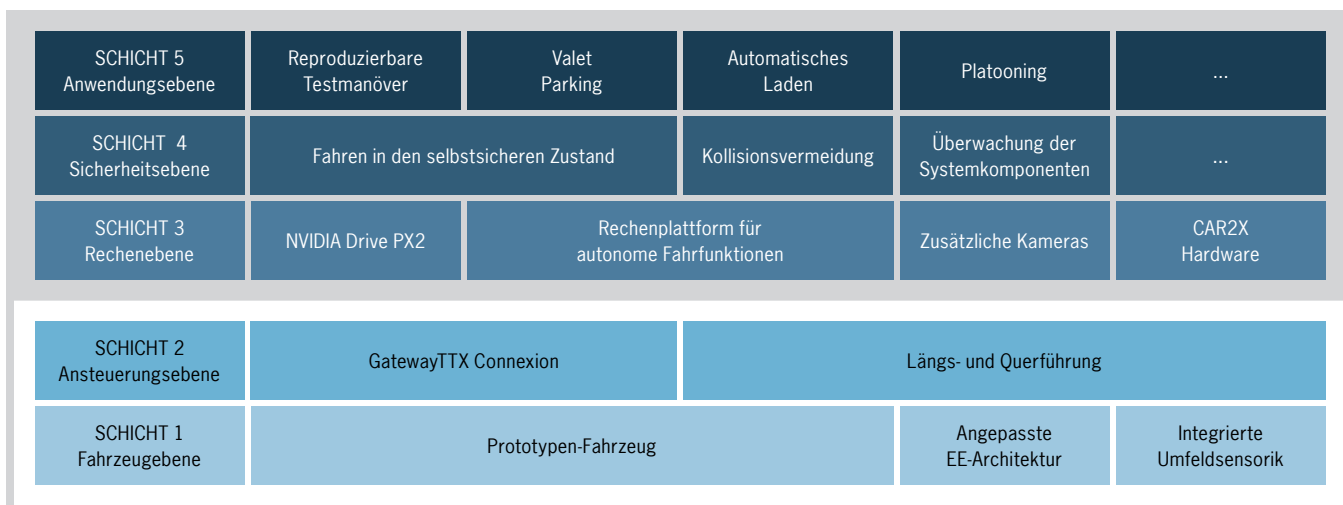
Diese Fahrt muss kollisionsfrei und ohne Behinderung anderer Verkehrsteilnehmer oder Testfahrzeuge erfolgen. Um dies zu gewährleisten, ist eine Überwachung des Fahrzeugumfeldes unverzichtbar. Es müssen sowohl statische als auch dynamische Objekte erkannt und umfahren werden, sodass Unfälle vermieden werden. Voraussetzung ist deshalb, dass die Sensorik sehr präzise und zur Plausibilisierung diversitär redundant ausgelegt ist. Diversitär bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zwei oder mehr unterschiedliche Systeme/Technologien (z.B. Kamera und Radar) die Objekterkennung sicherstellen.

Der selbstsichere Zustand gilt als erreicht, sobald das Fahrzeug innerhalb einer freien gekennzeichneten Not-Stopp-Bucht bis in den Stillstand verzögert und gegen Wegrollen gesichert bzw. die Parkbremse aktiviert worden ist. Weiterhin denkbar ist das Absenden eines Notsignals gemäß eines Emergency Calls. In der Praxis kann die Entfernung zum nächsten geeigneten Not-Stopp-Halt mehrere Kilometer betragen. Auf dem Porsche-Testgelände in Nardò beträgt der maximale Abstand zwischen den Not-Stopp-Buchten auf dem Rundkurs drei Kilometer. Somit muss das Fahrzeug in der Lage sein, diese Mindeststrecke zurückzulegen.

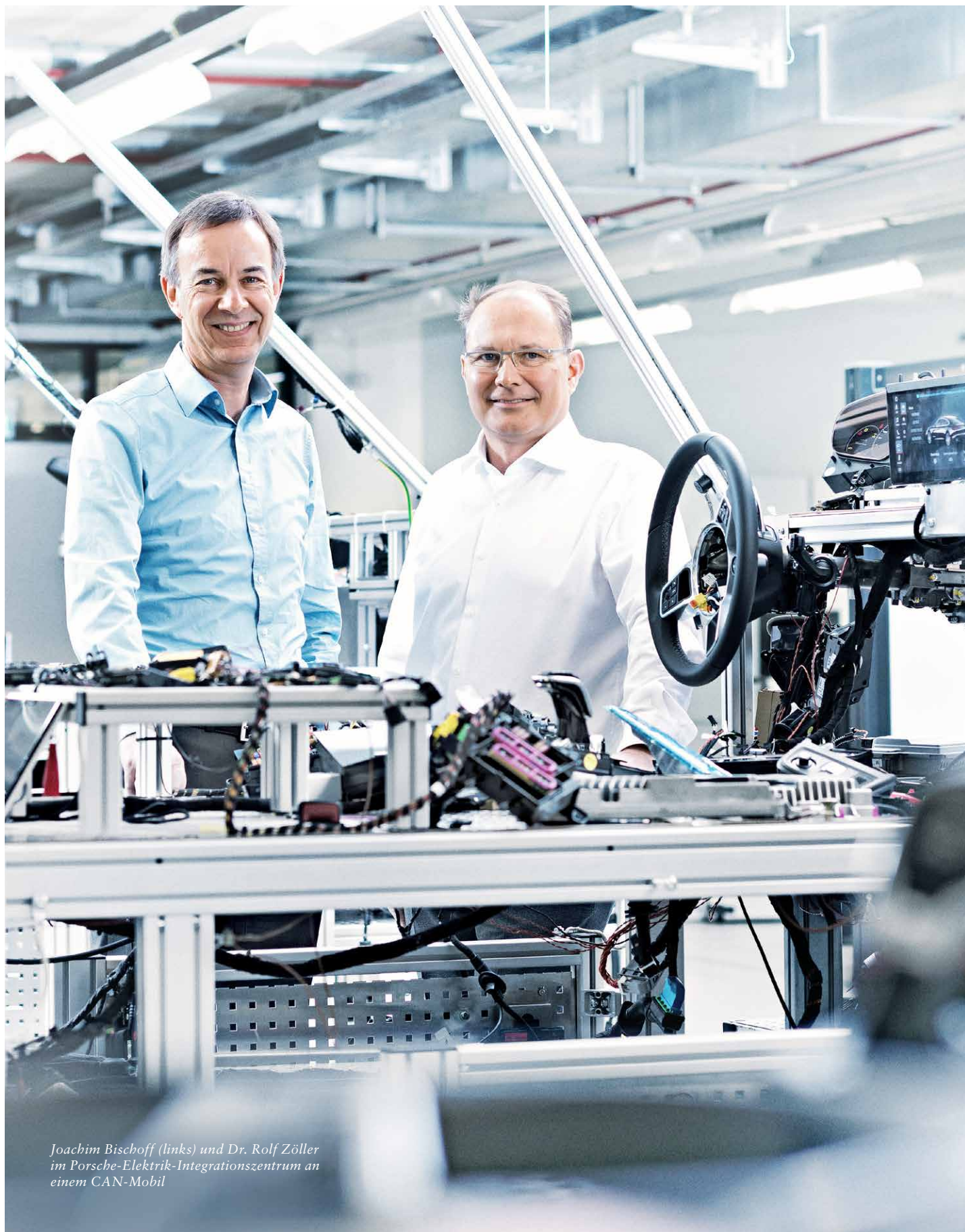
Das für die Ausfallsicherheit zugrunde liegende Schichtenmodell zur Fahrautomatisierung ist in der Abbildung unten dargestellt. Besonders hervorzuheben ist die Sicherheitsebene (Schicht 4). Hierbei werden die Systemkomponenten überwacht und in kritischen Situationen der sichere Zustand angefordert. Die vorgelagerte Rechenebene (Schicht 3) erfüllt die Anforderung der Norm ASIL D (Automotive Safety Integrity Level – Functional Safety; ISO 26262).

Hochautomatisiertes Fahren wird greifbar

Der langfristige Fortschritt von Fahrerassistenzsystemen hin zu immer höheren Automatisierungsgraden führt über gesteigerte Anforderungen an die Bereiche Funktionsentwicklung, Testgelände und Absicherung. Essenziell sind dabei die entsprechend intelligente Weiterentwicklung selbstlernender Systeme, objektübergreifender Vernetzung und effektiver Absicherungsprozesse sowie das Erweitern von variablen Prüf-geländen. Nur damit kann das hochautomatische und autonome Fahren Realität werden. ■



Schichtenmodell zur Fahrautomatisierung



*Joachim Bischoff (links) und Dr. Rolf Zöller
im Porsche-Elektrik-Integrationszentrum an
einem CAN-Mobil*

Neu und doch bekannt

_____ Dr. Rolf Zöller, Leiter Car Connect Porsche AG, und Joachim Bischoff, Leiter Digitalisierung Porsche Engineering, über den Neuigkeitsgrad digitaler Technologien in der Automobilentwicklung, erweiterte Funktionen für ein optimales Kundenerlebnis und die digitale Porsche-Produktwelt.

Interview: Peter Weidenhammer; Fotos: Steffen Jahn

Die Digitalisierung ist in aller Munde – was verstehen Sie darunter?

Dr. Rolf Zöller Digitalisierung ist im Fahrzeug längst Alltag, schon seit den Neunzigerjahren. Heute sind fast ausschließlich digital rechnende und vernetzte Systeme an Bord. Neu ist, dass sich das Fahrzeug nun auch mit der Außenwelt verbindet. Das ist die Digitalisierung, von der heutzutage häufig gesprochen wird und die der Kunde erlebt. Unser Ziel ist es, den Kunden in seinem digitalen Lebensstil abzuholen, mitzunehmen und einen sinnvollen Beitrag durch unser Produkt zu leisten.

Joachim Bischoff Im Kern ist die heutige Digitalisierung davon gekennzeichnet, dass Übertragungsraten sowie Rechenleistungen massiv zunehmen, Speicherkapazitäten immer größer und Chips immer kleiner werden. Sie ermöglichen erst die Dienste, die wir unter Digitalisierung verstehen.

Betrifft die Digitalisierung dann nur die Wahrnehmung durch den Kunden?

Dr. Zöller Neben der vom Kunden wahrgenommenen Digitalisierung existieren auch grundlegende Einflüsse auf unser Unternehmen und unsere Prozesse. Wir müssen die Digitalisierung in unseren Entwicklungsprozessen beherzigen und uns mehr an der Softwareindustrie orientieren, wir müssen unsere Geschwindigkeiten anpassen und wir müssen weiterdenken –

über das bisherige Fahrzeug hinaus. Daraus ergibt sich dann das vom Kunden wahrgenommene digitale Gesamterlebnis.

Bischoff Genau diese beiden internen und externen Komponenten sind essenziell für den zukünftigen Erfolg: digitale interne Prozesse, die eine einzigartige externe Customer User Experience ermöglichen.

Wie gut ist die Fahrzeugindustrie auf diese Veränderungen vorbereitet?

Dr. Zöller Tatsächlich ist die Branche besser auf die Situation eingestellt als üblicherweise angenommen oder teilweise auch in den Medien kommuniziert wird. Die Fahrzeugentwicklung bedient sich schon lange unterschiedlichster digitaler Prozesse, denkt man nur einmal an die numerische Simulation. Unter dem Blech und in der Entwicklung ist das Fahrzeug schon längst digital, das wird aber vom Kunden nicht immer als Digitalisierung wahrgenommen.

Bischoff Die Komplexität, die man seit bereits etwa zehn Jahren im Fahrzeug findet, ist enorm. Beispiel Multimediasystem. Hier haben wir schon lange die Vernetzung verschiedener Funktionen vorliegen. Hinzu kommt die Fähigkeit, solche komplexen Systeme in die Fahrzeugumgebung zu integrieren, in der auch Fahrzeugfunktionen wie eine Antriebssteuerung vorhanden sind. Da kann man sich also die Frage stellen: ➤

„Wir konzentrieren uns insbesondere auf Funktionen und Dienste, die durch unsere Kernkompetenzen und Markenspezifika gekennzeichnet sind.“

Dr. Rolf Zöller

Tut sich ein Softwareunternehmen wohl leichter, ein Auto zu bauen, oder ein Automobilhersteller, Software zu entwickeln?

Dr. Zöller Wirklich neu ist, dass wir über das Fahrzeug hinaus agieren, dass wir mit anderen Playern konkurrieren und neuen Anforderungen gerecht werden müssen. Früher bestand der Wettbewerb aus anderen Fahrzeugherstellern. Heute kann der Konkurrent ein IT-Unternehmen sein und die Kunden werden Funktionen im Fahrzeug erwarten, die ein Start-up innerhalb kürzester Zeit auf den Markt gebracht hat.

Inwieweit verändert die Digitalisierung die traditionellen Geschäftsmodelle von OEMs?

Dr. Zöller Sie werden sich ganz gravierend ändern. Sogenannte Enabler ermöglichen eine neue Produktsubstanz inner- und außerhalb des Fahrzeugs. Ein solcher Enabler ist zum Beispiel die „Over-the-Air“-Technologie. Damit können Softwareumfänge über die „Luftschnittstelle“ übertragen werden, um beispielsweise Kundenfahrzeuge zu aktualisieren. So können wir nicht nur einen permanent aktuellen Zustand des Fahrzeugs gewährleisten, es eröffnen sich auch neue Möglichkeiten der Individualisierung. Als sogenannte Function on Demand stellen wir dem Kunden dann etwa zusätzliche und gegebenenfalls zeitlich begrenzte Dienste und Funktionen kostenpflichtig zur Verfügung.

Wie würde das konkret aussehen?

Dr. Zöller Heute sind wir es gewohnt, ein Fahrzeug zu verkaufen und dafür einen unmittelbaren Umsatzerlös zu erzielen. In Zukunft werden wir davon ausgehen müssen, dass der Kunde seine Investitionssumme nicht komplett für den Fahrzeugkauf

allein ausgibt, sondern über den Besitzzeitraum verteilt. Das bedeutet, dass wir permanent neue Funktionen oder Features über die Fahrzeuglebenszeit nachlegen müssen. Wir nennen das „Car for Life“-Konzept und erwarten davon ganz erheblich Veränderungen für unsere Prozesswelten und das Kundenerlebnis.

Was bedeutet das für den Kunden?

Bischoff Das Mobilitätserlebnis erweitert sich. Für den Kunden eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten in Bezug auf die Fahrzeugnutzung, beispielsweise durch Car-Sharing-Konzepte, und ihm stehen zusätzliche Serviceleistungen auf Abruf zur Verfügung.

Dr. Zöller Der erfolgreiche OEM wird sich in Zukunft dadurch auszeichnen, dass er die Balance zwischen den neuen und seinen traditionellen Geschäftsfeldern findet, denn die klassischen Anforderungen an die Fahrzeuge werden weiter bestehen. Und insbesondere für einen Porsche gilt: Ein Sportwagen muss auch in Zukunft ein Sportwagen sein.

Wie sieht also Ihrer Vorstellung nach die digitale Porsche-Produktwelt im Jahr 2025 aus?

Dr. Zöller Der Fahrzeugverkauf steht nach wie vor an erster Stelle. Wir werden jedoch verstärkt Dienste und Dienstpakete als zusätzliche Produkte für die Individualisierung eines Fahrzeugs ermöglichen und anbieten. Der Kunde kann ein Gesamtpaket erwarten, das speziell auf ihn ausgelegt und damit besonders ist. Kurz gesagt: Wir schaffen ein persönliches Ecosystem für den Kunden, über das er ständig in jeder erdenklichen Weise mit seinem Fahrzeug, den erweiterten Funktionen und mit uns in Verbindung stehen kann.

Auf welche Themen legt Porsche dabei einen besonderen Fokus?

Dr. Zöller Wir konzentrieren uns insbesondere auf Funktionen und Dienste, die durch unsere Kernkompetenzen und Markenspezifika gekennzeichnet sind. Beispielsweise auf Funktionen wie die bereits heute erhältliche Porsche Track Precision App, die auf abgesperrten Strecken außerhalb des öffentlichen Verkehrsraums eine detaillierte Anzeige, Aufzeichnung und Analyse der Fahrdaten auf dem Smartphone ermöglicht.

Bischoff Auch Fahrwerksfunktionen könnten durch neue Features erweitert werden: Wenn ein Kunde auf bestimmten Strecken dynamischer unterwegs sein möchte, könnte er das Fahrzeug-Set-up beispielsweise anhand speziell zur Verfügung gestellter Daten darauf gezielt konditionieren.

Dr. Zöller Wir finden zum Beispiel auch das Thema Premium-Parken für unsere Kunden extrem wichtig. Insbesondere bei dichtem Verkehr in den Innenstädten ist es ein großer Vorteil, wenn man Hilfe jeder Art beim Parken hat. Unser Ziel ist es

dabei immer, das Porsche-Ecosystem zu berücksichtigen und ganzheitlich weiterzuentwickeln.

Welche Rolle spielen für Porsche separate Organisationseinheiten wie die Porsche Digital GmbH, das Digital Lab oder Porsche Engineering im Rahmen der digitalen Transformation?

Dr. Zöller Sie ermöglichen uns eine effiziente und gezielte Fokussierung auf die jeweils unterschiedlichen Entwicklungsphasen bei gleichzeitiger Horizonterweiterung. Die Porsche Digital GmbH steuert die frühe Phase. Dort werden Strategien ausgearbeitet und Produktideen bewertet, daraus Business Cases und Kundenerlebnisse entwickelt, und es wird definiert, mit welchen Partnern neue Funktionen am besten umgesetzt werden könnten. Das Digital Lab kümmert sich darum, Methoden und Technologien anwendungsreif zu machen, und treibt damit die Tools und Prozesse für die Digitalisierungsprojekte voran. Porsche Engineering sehen wir als integralen Bestandteil für die Serienentwicklung des Entwicklungszentrums Weissach. Das betrifft sowohl die Software als auch >





deren Integration ins Fahrzeug und reicht vom Aufbau von Prototypen bis hin zu Tests und schlussendlich zur Validierung. Über all diese Themen hinweg agieren wir Hand in Hand und arbeiten effektiv und effizient zusammen.

Sicherheitsaspekte spielen bei zunehmender Digitalisierung eine immer stärkere Rolle. Wie begegnen Sie dieser Herausforderung?

Bischoff Sicherheit ist seit jeher ein essenzieller Bestandteil der Fahrzeugarchitektur bei Porsche. Die klassische Fahrzeugsicherheit in Bezug auf Diebstahl und Manipulation wird nun erweitert um die IT-Sicherheit. Wir betrachten beides als kontinuierliches Thema, das nicht mit der Fahrzeugentwicklung und -auslieferung abgeschlossen ist, sondern laufend weiterentwickelt werden muss. Hierfür haben wir Fachbereiche aufgebaut, stellen IT- und Security-Experten ein und arbeiten mit etablierten Partnern aus diesem Umfeld zusammen.

Dr. Zöller Der Luftschnittstelle kommt dabei eine zentrale Rolle zu: Sie ist einerseits gegen äußere Eingriffe abzusichern und ermöglicht andererseits selbst eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Sicherheit des Fahrzeugs durch Updates – genauso wie bei einem Smartphone. So stellen wir auch lange nach seiner Auslieferung an den Kunden die Sicherheit des Fahrzeugs sicher.

Wie gehen Sie bei zunehmender Datenvielfalt und -menge mit der Datenauswertung sowie dem Thema Datenschutz um?

Dr. Zöller Wir nehmen beides sehr ernst. Schon vom ersten Tag an haben wir den Datenschutz in unserer Connected-Car-Organisation fest verankert. In allen Produkten ist der Schutz der Privatsphäre Bestandteil des Grunddesigns. Wichtig ist, dass der Kunde weiß, was mit seinen Daten geschieht und wann welche Daten genutzt werden. Privacy Modes stellen sicher, dass keine Daten mehr übertragen werden, wenn der Kunde es nicht wünscht. Damit gehen wir viel weiter als alle anderen Wettbewerber.

Wofür können die freigegebenen Daten verwendet werden?

Dr. Zöller Wir haben viele Ideen, die unser Kernprodukt betreffen. Wie uns anonymisierte Daten aus der Fahrzeugflotte zum Beispiel dabei helfen können, unsere Fahrzeuge noch besser zu machen. Oder dass wir damit in der Lage sind, eine hochpräzise Karte etwa für Echtzeitverkehrsmeldungen zu generieren. Solche Daten werden auch einen wichtigen Beitrag zum autonomen Fahren leisten, weil sie eine spurgenaue Abbildung der Realität darstellen, die vor allem aktuell ist. Diese Daten werden übrigens bereits im Fahrzeug vor dem Senden anonymisiert.

Bischoff Es wird auch von den einzelnen Funktionen abhängen, wie die Daten genutzt werden und wer sie bekommt. Wenn ein Fahrzeug eine Strecke blockiert und hinter einer Kuppe steht, wäre es moralisch verwerflich, diese Daten nur an Fahrzeuge der eigenen Marke weiterzugeben. Solche sicherheitsrelevanten Daten werden sicherlich unter den verschiedenen Marken ausgetauscht werden. Restriktiver sieht es aus bei Daten für Porsche-spezifische Funktionen. Sie mögen für andere Hersteller nicht von Interesse sein. Aber für einen Hochleistungssportwagen umso mehr. Und ein Porsche wird immer typisch Porsche bleiben. ■



Dr. Rolf Zöller (50)

Nachdem er das Studium der Elektrotechnik und Physik an der Berufsakademie Mannheim und der Technischen Universität Darmstadt mit einer Promotion über numerische Modellbildung beendet hatte, arbeitete Dr. Zöller für mehr als zehn Jahre bei der Carl Schenck AG in der Softwareentwicklung mechatronischer Systeme. Von 1998 bis 2001 leitete er die Softwareentwicklung für High-End-Multimediasysteme bei Siemens VDO. Im Jahr 2001 kam Dr. Zöller als Leiter des Softwarebereichs in der Elektronikentwicklung zu Porsche. Seit April 2016 ist er hier verantwortlich für die Bereiche Infotainment, Connected Car, HMI und Softwareentwicklung.



Joachim Bischoff (56)

Nach seinem Studium der Nachrichtentechnik an der Fachhochschule in Karlsruhe fand Joachim Bischoff seinen Einstieg ins Berufsleben als Softwareentwickler bei Nokia in Pforzheim. Anschließend arbeitete er mehrere Jahre lang bei Harman Becker in verschiedenen Funktionen – zu Beginn als Leiter Softwareentwicklung bis hin zum Vice President Product Development. Im Jahr 2010 kam Bischoff als Leiter der Fachdisziplin Systementwicklung zu Porsche Engineering und verantwortet hier seit August 2016 den Fachbereich Digitalisierung.



Vernetzt und flexibel

Automatisierte Testverfahren für Connectivity-Erweiterungen

_____ Jeder Hersteller entwickelt Systeme und Produkte, um Fahrer, Fahrzeug und Umwelt enger miteinander zu verknüpfen. Die sogenannte Connectivity gewinnt in der Automobilindustrie immer rascher an Bedeutung. Das Tempo dieser Entwicklung und immer einflussreichere Funktionen stellen Erprobung, Testverfahren und Prüfstände vor neue Herausforderungen. Porsche hat eine Lösung entwickelt, mit der sich durch automatisierte Verfahren wertvolle Entwicklungszeit einsparen lässt.

Von Jochen Spiegel, Stefan Jockisch und Thomas Pretsch

Porsche Connect vernetzt Fahrer und Fahrzeug mit dem mobilen Internet. Intelligente Apps, Funktionen und Dienste steigern den individuellen Nutzen aller Porsche-Modelle. Kernbestandteil von Connect sind mehr als 20 Dienste und Apps aus den Bereichen Navigation und Infotainment sowie die Abfrage und Steuerung von Fahrzeugfunktionen. Nahezu alle davon lassen sich einfach via Internet buchen und einrichten.

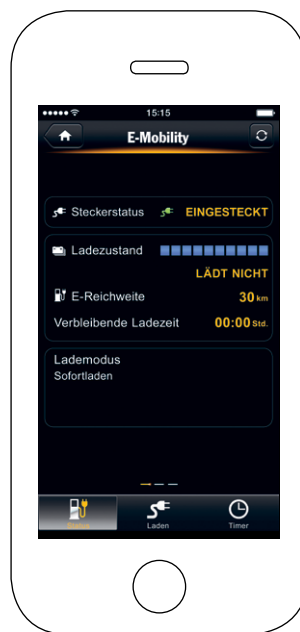
Porsche Connect setzt sich aus zahlreichen Komponenten zusammen. Zentrale Bestandteile sind das Fahrzeug selbst mit seinen vernetzten Steuergeräten und der fahrzeugeigenen Mobilfunkschnittstelle. Über diese werden die Fahrzeugdaten über eine konzern eigene Luftschnittstelle an den zentralen Modularen Backend-Baukasten (MBB) des Konzerns gesendet, der die Daten für eine spätere Verwendung zum Beispiel in der App des Kunden speichert und gegebenenfalls Befehle an das Fahrzeug zurücksendet. An das Backend sind wiederum viele Cloud-Dienste gekoppelt, die Informationen zur Darstellung im Fahrzeug liefern. Das Endgerät des Kunden, beispielsweise ein Smartphone mit der Porsche Connect App, kommuniziert direkt mit dem Infotainmentsystem des Fahrzeugs.

Bereits heute bieten Porsche-E-Hybrid-Modelle per Internet und Mobilfunk beispielsweise Zugriff auf die Standheizung oder die Möglichkeit zur Programmierung eines Ladetimers. Zukünftige Generationen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen von Porsche werden noch deutlich stärker von der Vernetzung profitieren. Das intelligente Hausenergiemanagement und die Ladesäulen der Elektrofahrzeuge werden bequem vom Wohnzimmer aus konfiguriert und gesteuert. Mithilfe von Porsche Connect wird es künftig möglich sein, die Fahrt mit dem Elektrofahrzeug optimal vorzubereiten, indem anhand von Reichweiteninformationen, prädiktiven Verkehrsinformationen und Informationen zu auf der Route befindlichen Schnellladestationen die Reisezeit auf ein Minimum verkürzt wird.

Die daraus resultierende zunehmend komplexe Verflechtung physischer und digitaler Funktionen führt jedoch dazu, dass in der Entwicklung stark voneinander abweichende Geschwindigkeiten kollidieren – was zwangsläufig ein Umdenken in der gesamten Wertschöpfungskette vom Konzept bis hin zur Auslieferung des fertigen Fahrzeuges erfordert.

Unterschiedliche Lebenszyklen und Entwicklungszeiten

Mit einer mittleren Dauer von vier Jahren liegt das Fahrzeug hinsichtlich der Entwicklungszeit zwischen jener der intelligenten Haussysteme auf der einen Seite und der schnelllebigen Mobiltelefonbranche auf der anderen Seite. Während die



Porsche Car Connect App mit E-Mobility-Funktionen

am weitesten verbreiteten Hausautomatisierungs- und Vernetzungssysteme zumeist länger als 16 Jahre im Einsatz sind, beträgt der Lebenszyklus von Smartphones und Tablets gerade mal ein bis zwei Jahre. Noch schneller werden nur Smartphone-Apps weiterentwickelt. Die Anforderungen an das Design und den Funktionsumfang der Apps werden vom Markt unter Umständen mehrmals im Jahr neu definiert.

Während also zum Zeitpunkt des Produktionsanlaufes die Hardware im Fahrzeug zeitlich unter Umständen noch auf einem anderen Entwicklungsstand ist, müssen sich die darin eingesetzte Fahrzeugsoftware und die angekoppelten IT-Systeme mit ihren Frontends wie Apps und Portale immer auf dem neuesten Stand befinden. Hinzu kommt der Wunsch nach nachladbaren Funktionen im Fahrzeug unter Berücksichtigung des Datenschutzes und der IT-Sicherheit. Die Entwicklung eines Fahrzeugs endet damit nicht mehr mit dem Start der Produktion. Da sich die Komponenten außerhalb des Fahrzeugs – wie beispielsweise die mit dem Fahrzeug kommunizierende Smartphone-App – immer weiterentwickeln, werden damit laufend neue Anforderungen an die Fahrzeugentwicklung und die Absicherung der Funktionen gestellt.

Herkömmliche Entwicklungsprozesse und -methoden müssen erweitert werden, wenn Kundenbedürfnisse und -erwartungen sowie die Branchenvorgaben gleichermaßen erfüllt werden sollen. Damit ein solches Zusammenspiel gelingt, ist der

Einsatz von neuen Softwaretools in der Fahrzeugentwicklung unerlässlich. Durch den Aufbau einer Testautomatisierung zur Absicherung der Fahrzeug- und IT-Komponenten wird bereits in der frühen Projektphase der Grundstein für die nachhaltigen regressiven Absicherungsläufe gelegt. Darüber hinaus können auf diese Weise die unterschiedlichen Entwicklungs- und Lebenszyklen zu einem großen Teil kompensiert werden.

Vernetzung verlangt nach neuen Herangehensweisen im Testing

Als effiziente und sinnvolle Variante zur funktionalen und nicht funktionalen Absicherung der vernetzten Dienste dient die Methode des automatisierten Ende-zu-Ende-Regressionstests. Der Fokus dieses Qualitätssicherungsverfahrens liegt auf der kompletten Kette, die sich vom Fahrzeug über ein Backend zu verschiedenen Benutzeroberflächen, wie zum Beispiel einem browserbasierten Kundenportal oder einer Smartphone-App, erstreckt.

Voraussetzung für automatisierte Tests von Diensten über deren vernetzte Systeme sind Verfahren, die Interaktionen mit allen Komponenten ohne manuelle Hilfe ermöglichen. Die Einbindung einer webbasierten Benutzeroberfläche wird dabei durch die Erweiterung der bisherigen Testinfrastruktur und -umgebung erreicht. Dadurch können Funktionen der Testumgebung definiert werden, welche die Oberfläche in einem automatisierten Prozess bedienen.

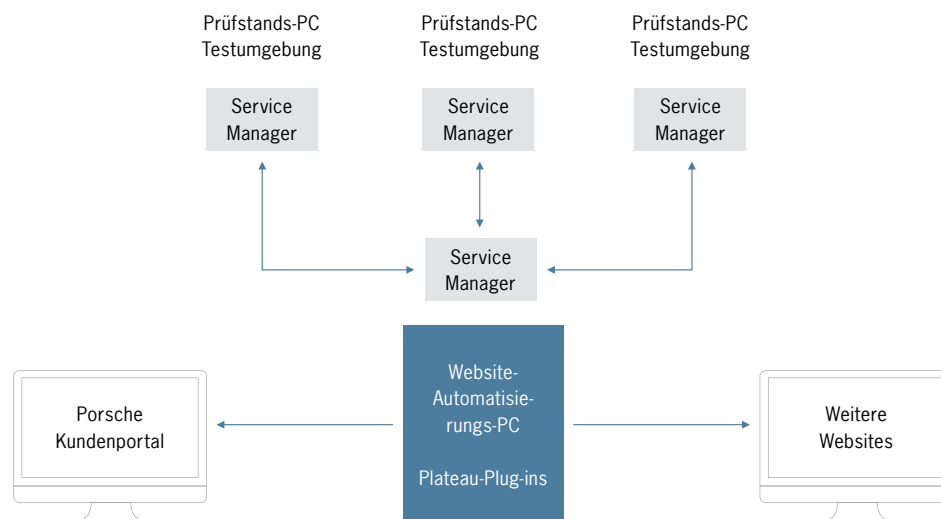
Bei Automatisierungen von Benutzeroberflächen handelt es sich um Entwicklungen, die speziell auf die Visualisierungen

abgestimmt werden müssen. Dafür sind im ersten Schritt Muster zu erzeugen, die das Nutzerverhalten bei einer definierten Dienstfunktion beschreiben. Dieses Muster kann in komplexen Fällen durch ein Aktivitätsdiagramm abgebildet werden. Sind die Abläufe der Benutzer erfasst, erfolgt die Umsetzung. Hierzu ist die eindeutige Identifikation jedes Webelements notwendig, mit dem auf der Oberfläche interagiert wird. Dies kann eine Schaltfläche sein, die betätigt wird, oder ein Textfeld, in welches eine Zeichenkette eingetragen werden soll.

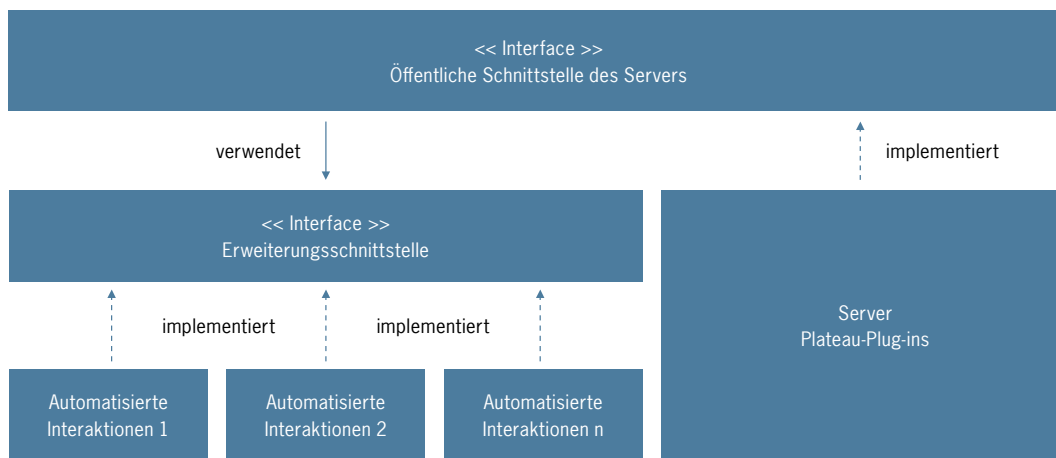
Stabile Lösung für anpassungsfähiges Testkonzept

Änderungen an der webbasierten Visualisierung können deshalb zur Folge haben, dass auch die Automatisierung angepasst werden muss. Hier hilft die Entwicklung einer stabilen Lösung, die auch bei veränderter Benutzeroberfläche die Elemente weiterhin eindeutig identifiziert und bedient. Dadurch kann mittels eines automatisierten Testlaufs geprüft werden, ob die Änderungen unerwünschte Einflüsse auf die Reife des Dienstes haben.

Zur Integration der Lösung in die Testumgebung bietet sich die Erstellung eines Plateau-Plug-ins an. Die Middleware-Architektur dieses Plug-ins ermöglicht den Fernaufruf der Website-Automatisierung. So ergibt sich die Anwendungsmöglichkeit von Plateau-Plug-ins durch den Aufbau einer zentralisierten Lösung für die Prüfstände im Bereich Connected Car. Die Ausführung der Website-Automatisierung läuft damit auf einem unabhängigen Gerät im Porsche-Netzwerk auf der Basis des Frameworks Selenium. Darüber hinaus wird ein detailliertes Protokoll durch die Serverlösung erzeugt.



Die Architektur des Konzepts für die Website-Automatisierung ermöglicht die zentrale und standortunabhängige Nutzung des Servers durch mehrere Prüfstände.



Neue Websites und Abläufe von Interaktionen können direkt an die dafür vorgesehene Erweiterungsschnittstelle ohne Anpassung im Server angebunden werden.

Neue Websites oder neue Inhalte auf bestehenden Websites können durch ein Erweiterungsinterface eingebunden werden. Die Operationen der zusätzlichen Schnittstelle werden für jede Automatisierung implementiert und anschließend durch den Server dynamisch aufgerufen. Das Aufrufkonzept und die Verwendung zentraler Datenbanken erlauben die einfache Anbindung von neuen zu automatisierenden Websites. Außerdem bietet dieses System eine über die Anzahl der Prüfstände skalierbare Möglichkeit, die Automatisierung von Websites parallel vorzunehmen.

Server ermöglicht paralleles und zeitsparendes Testen

Die rasant wachsende Funktionalität im Bereich der Fahrzeugvernetzung und der dadurch zunehmende Testbedarf erfordern immer mehr Prüfstände. Durch die Einbindung des Servers bietet dieses Konzept die Möglichkeit der Parallelisierung von Website-Automatisierungen und somit einen produktiven Testbetrieb. Der Einsatz zentraler Datenbanken, die eine Reaktion auf Veränderungen ohne erneute Kompilierung der Automatisierungen ermöglichen, gewährleistet die gewünschte Anpassungsfähigkeit. Der Einsatz bewährter Technologien sichert dabei die dauerhafte Stabilität des Dienstes. Diese Anforderung ist speziell im Umfeld des automatisierten Testens sehr relevant, da der Betrieb häufig über mehrere Stunden ohne Beeinträchtigungen aufrechterhalten werden muss. Die umfangreiche Protokollierung stellt darüber hinaus eine Vielzahl an Informationen zum Ablauf jeder Automatisierung bereit. Diese können für die Analyse der Ergebnisse genutzt werden und bieten die notwendige Detailtiefe, um die Aktionen des durchgeführten Prozesses nachzuvollziehen. Unter anderem unterstützen Bildschirmfotos die Fehleranalyse, die bei Eintreten eines Fehlverhaltens der Inhalte einer Website erfasst werden.

Neben dieser Lösung zur Website-Automatisierung nutzen die Porsche-Ingenieure zudem ein vergleichbares Konzept zur Ansteuerung von mobilen Endgeräten. Dieses setzt auf einem Webserver auf, der über ein REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface) kommuniziert und die WebDriver-Schnittstelle implementiert hat. Die Implementierung der WebDriver-Schnittstelle basiert dabei auf derjenigen von Selenium, welches ebenfalls für die Website-Automatisierung genutzt wird. Für die Anwendung auf Smartphones wurde die Selenium-Implementierung entsprechend erweitert. Der Webserver empfängt Befehle von einem Client, die definierte Benutzerinteraktionen enthalten. Dabei werden die Befehle je nach Plattform des Smartphones von UIAutomator (Google) oder UIAutomation (Apple) ausgeführt. Die Ergebnisse werden im Anschluss als HTTP-Antworten zurück an den Client gesendet.

Diese produktiven Verfahren schaffen die Grundlage dafür, neu entwickelte Dienste – wie beispielsweise eine vernetzte Ladesteuerung – möglichst kundennah, regressiv und automatisiert abzutesten und auf diese Weise wertvolle Entwicklungszeit einzusparen.

Entwicklung geht über Produktionsstart hinaus

Auch die Entwicklungsprozesse werden sich den neuen Anforderungen stetig weiter anpassen müssen. Dies bedeutet unter anderem eine stärkere Vernetzung verschiedener Ressorts wie Entwicklung, IT und Vertrieb insbesondere in Bezug auf den Abgleich der jeweiligen Entwicklungs- und Absicherungsaktivitäten. Denn wie bereits gesagt: Die Entwicklung dieser vernetzten Systeme endet heute nicht mehr mit dem Produktionsstart des Fahrzeugs, sondern ist einer kontinuierlichen Weiterentwicklung unterworfen. ■

Auf der Überholspur

Eine neue Kabinengeneration für Scania

____ Sportwagen trifft Nutzfahrzeug: Porsche Engineering entwickelte für den schwedischen Nutzfahrzeughersteller Scania einen komplett neuen Fahrerhausbaukasten. Ausgelegt auf veränderte gesetzliche Anforderungen, effektive Produktionsverfahren sowie die Erfüllung unterschiedlichster Kundenbedürfnisse, vereinen sich in dem Kabinensystem das Know-how aus der Entwicklung von Sportwagen und Nutzfahrzeugen.

Von Peter Weidenhammer, Tobias Haffner und Helmut Fluhner; Abbildungen: Scania





Die Uhren gehen anders im Nutzfahrzeugsektor. Das heißt zum Beispiel, die Produktzyklen sind sehr viel länger und die Laufleistungen sehr viel höher als im Pkw-Sektor. Scania, einer der weltweit führenden Hersteller von Premium-Nutzfahrzeugen, bietet eine Fahrzeuggeneration rund 15 Jahre lang an. Das entspricht in etwa dem Doppelten einer Modelllebenszeit im Pkw-Bereich. Noch deutlicher unterscheiden sich die Einsatzprofile. Eine Nutzfahrzeuggeneration deckt eine Vielfalt von Einsatzbereichen ab – vom Baustellentransporter für schweres Gelände über Lkw für den Lieferverkehr bis hin zum Langstreckenzug, dessen Gesamtlauflistung nicht selten mehrere Millionen Kilometer erreicht. Dementsprechend größer ist neben der Zahl von Chassisvarianten vor allem auch die der Kabinenausführungen. Andererseits differieren die Stückzahlen der produzierten Einheiten zwischen

Hochtechnologie und investieren in Innovation und Effizienz. Daher lag der Schritt für Scania nicht allzu fern, sich an Porsche Engineering zu wenden. „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“, so Dr.-Ing. Harald Ludanek, ehemaliger Forschungs- und Entwicklungsvorstand bei Scania, im Interview mit dem Porsche Engineering Magazin (Ausgabe 1/2013).

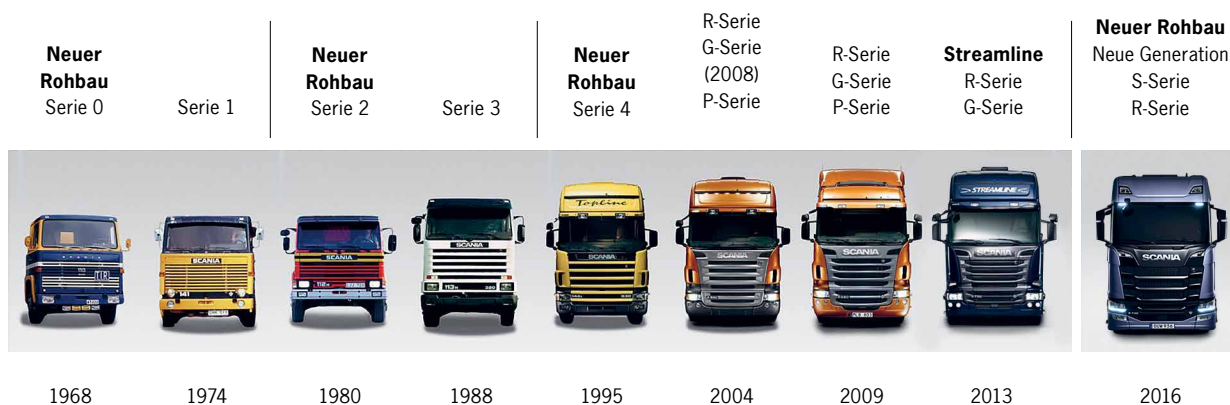
Treibende Kräfte: schärfere gesetzliche Anforderungen und Wachstum

Inhalt war nicht alleine die Entwicklung einer völlig neuen Kabinengeneration,

mit tiefen Einschnitten in Design und Rohbau. Strengere Anforderungen an die Bremsen erforderten die Verschiebung der Vorderachse in Fahrtrichtung und damit eine neue Kabinengeometrie. Die Position des Fahrers wurde zugunsten der besseren Übersicht nach vorn und zur Tür hin verschoben.

Der dritte Schwerpunkt im Bereich der gesetzlichen Vorgaben lag auf der Erfüllung abzusehender Anforderungen an die Crashesicherheit durch einen gezielt verstärkten Rohbau. Des Weiteren ist die neue Lkw-Generation von Scania die erste, die in diesem Fahrzeugsegment einen seitlichen Curtain-Airbag für sogenannte Rollover-Unfälle anbietet.

Als streng kundenorientierter Hersteller setzte sich Scania parallel dazu eigene anspruchsvolle Ziele. Priorität hatte die Absicherung der Führungsrolle im Pre-



Überblick: Scania-Modelle von 1968–2016

beiden Fahrzeugwelten um ein Vielfaches. Mit rund 70.000 bis 80.000 Einheiten pro Jahr produziert Scania im Vergleich zu Pkw-Volumenherstellern deutlich weniger.

Und dennoch gibt es zwischen dem schwedischen Nutzfahrzeughersteller und dem schwäbischen Sportwagenentwickler einige Gemeinsamkeiten: Beide erfüllen Premiumansprüche, setzen auf

sondern auch die des zugehörigen Produktionsprozesses. Ganz oben auf der Agenda stand die Erfüllung künftiger gesetzlicher Vorgaben, angesichts der langen Produktzyklen auf möglichst weite Sicht. Um sicherzustellen, dass die neuen Fahrzeuge die Emissionsgrenzwerte langfristig sicher unterschreiten würden, musste die Kühlkapazität signifikant erhöht werden. Größere Wärmetauscher und Lufteinlässe waren gleichbedeutend

miumsegment. Scania steht für Performance. Bei Nutzfahrzeugen heißt das primär Zuverlässigkeit, wirtschaftlicher Kraftstoffverbrauch, lange Laufzeiten, niedrige Reparatur- und Wartungskosten und kraftvolle Motoren. Diese Premiumpositionierung galt es auszubauen, um auch in Zukunft neue Maßstäbe im Nutzfahrzeugbereich setzen zu können. Zudem sollten die Voraussetzungen für Wachstum, auch innerhalb neuer Kun-



Bestmögliche Aerodynamik-Eigenschaften waren eines der Ziele von Scania im Entwicklungsprozess.

densegmente, durch kürzere Taktzeiten, schnellere Markteinführungen und zusätzliche Kabinenvarianten geschaffen werden.

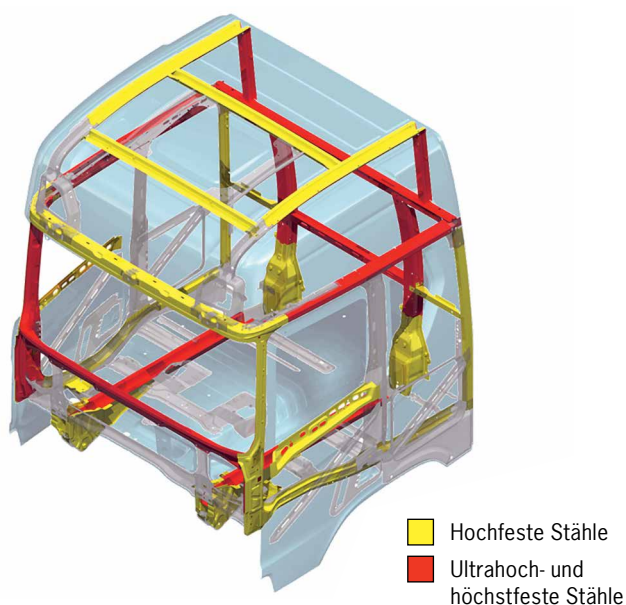
Entwicklungszeitraum: sechs Jahre

Das Projekt war auf sechs Jahre mit vier Phasen angelegt. Im Spätsommer 2010 begann die Konzeptphase, welche im Folgejahr mit der Designfestlegung in die Entwicklungsphase überging. Ab 2012 standen erste Prototypen zur Verfügung, und parallel dazu starteten intensive Erprobungsumfänge sowie die detaillierte Auslegung der neuen Produktionsanlagen. Die letzte Phase der Agenda war eineinhalb Jahre danach die Umsetzung mit Produktionsstart Mitte 2016. Ein sogenanntes Steering Committee, bestehend aus Fachexperten von beiden Projektpartnern, koordinierte die Entwicklungskernbereiche wie Konstruktion und Berechnung, Technologie, Produktion, NVH, Prototypen, Erprobung und Projektmanagement. Diese Organisationsstruktur erleichterte das Zusammenwachsen der Entwicklungsprozesse.

Zeitsparend wirkten sich dabei zum Beispiel die hoch entwickelten Simulationsverfahren von Porsche Engineering aus. Für Arbeiten am Lkw-Motor muss beispielsweise das komplette Führerhaus nach vorn gekippt werden, dies führt beim Anheben und Absenken der Kabine zu hohen Belastungen der Kabinenstruktur. Jede Änderung der Drehachse beeinflusst daher zwangsläufig die Ge-

wichtsverteilung, damit auch die strukturelle Auslegung und das Crashverhalten. Durch Simulationen konnte die Konstruktion den Änderungen relativ rasch angepasst und auf ihr Verhalten bei Belastungen geprüft werden.

Bezüglich des Exterieurs galt die oberste Priorität bei Scania den Aspekten hinsichtlich der Aerodynamik und ➤

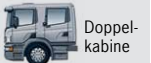


Stähle verschiedener Festigkeiten kommen zum Einsatz.



Robkarossen der Scania-Lkw-Kabinen
im Entwicklungszentrum Weissach

Foto: Jörg Eberl

Länge	14	17	20	28	31
Dach	L	L N	L N H	L N	L N
S-Serie				Neue Generation	
R-Serie					
G-Serie					
P-Serie				 Doppel-kabine	 Lange Doppel-kabine
L-Serie			 Niedriger Einstieg		

L: tief
N: normal
H: hoch

Kabinenmatrix von Scania mit vier Kabinen der neuen Generation

somit dem Kraftstoffverbrauch. Jede einzelne Oberfläche, ob an der Front, den Seiten oder sogar dem Unterboden des Fahrzeugs, wurde auf einen minimalen Luftwiderstand hin optimiert. Sämtliche Abstände und Toleranzen wurden auf ein Minimum reduziert. Eine gute Aerodynamik erleichtert außerdem das Reduzieren der Geräuschpegel im Innen- und Außenbereich des Fahrzeugs, dazu tragen auch der Einsatz von schall- und vibrationsabsorbierenden Mitteln wie Teppichböden und quellenden Dämpfungsmaterialien in zahlreichen Hohlräumen bei.

Herausforderung: simultane Entwicklung von 24 Kabinenvarianten

Eine der großen Herausforderungen des Projekts war die simultane Entwicklung von 24 Kabinenvarianten in einem Baukastensystem. Die wesentlichen Differenzierungsmerkmale bei Scania sind bei Bodentyp, Länge und Dachtyp der Kabine festzustellen. Dazu kommt je nach Einsatzzweck der Abstand zum Fahrgestell, der erheblichen Einfluss auf die Gestaltung nimmt. Drei Beispiele: Bei einem Lastzug für Langstrecken zählen

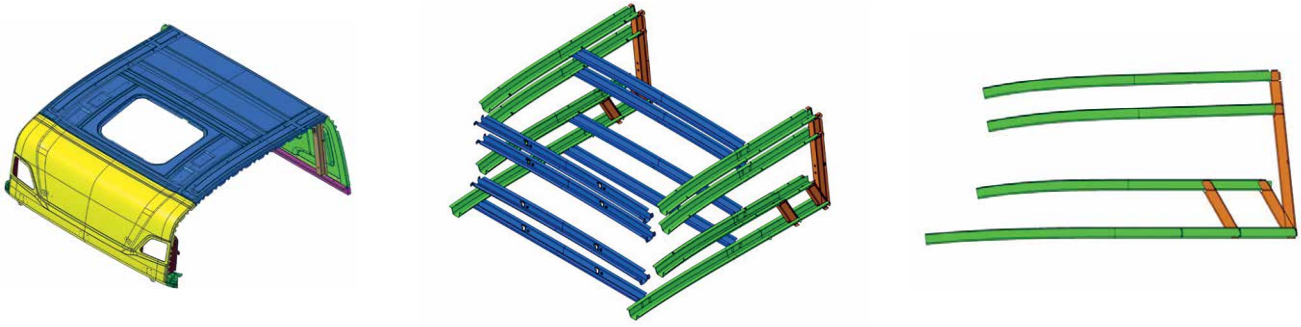
vor allem Übersichtlichkeit und Erhalt der Fahrercondition. Zudem ist die Kabine gleichzeitig Wohn- und Schlafraum. Daher sind geräumige und komfortable Abteile mit hoher Fahrerposition von wesentlicher Bedeutung. Mehrere Stufen zum Führerhaus sind dagegen bei im Stadtverkehr betriebenen Fahrzeugen mit vielen Stopps zeit- und kraftraubend. Lastwagen für die Müllentsorgung haben deshalb niedrige Einstiegshöhen. Baustellenfahrzeuge wiederum rangieren je nach Schwere des Einsatzgeländes zwischen beiden Extremen, erfordern in jedem Fall aber eine besonders robuste Ausführung. Die Kabinenmatrix von Scania unterteilt sich daher in unterschiedliche Kabinenebenen über dem Fahrgestell sowie verschiedene Dachhöhen und Kabinenlängen.

„Die Herausforderung besteht in dem Entwurf eines flexiblen Kabinenprogramms, das kompromisslos für sämtliche Anwendungen und Bedürfnisse die richtigen Lösungen und angemessene Funktionalität bieten kann“, so Göran Hammarberg, Leiter der Kabinenentwicklung bei Scania. „Die Ansprüche können in unterschiedlichen Fahrsituationen und abhängig von verschiedenen

Aufgaben erheblich voneinander abweichen. Dennoch haben wir uns das Ziel gesetzt, allen Fahrern die Gewissheit zu geben, dass kein anderer Hersteller eine bessere Lösung für ihren bestimmten Lkw und die jeweils spezifischen Bedingungen anzubieten hat.“

Mit ihrem Know-how aus der Entwicklung ausgesprochen steifer und leichter Karosseriestrukturen entwarfen die Porsche-Ingenieure einen Kabinenrohbau, in dem Stähle verschiedener Festigkeitsstufen zum Einsatz kommen. Hatte Scania zuvor grundsätzlich einfache Stähle ohne Warmumformung verarbeitet, kommen in der neuen Kabinengeneration auch moderne hoch- und höchstfeste sowie warmumgeformte Legierungen zum Einsatz. Die A-Säule wird beispielsweise aus warmumgeformtem Borstahl gepresst. Die sehr hohe Festigkeit ermöglicht eine schlankere und leichtere Konstruktion, die neben der erhöhten Crashesicherheit eine bessere Übersicht für den Fahrer bedeutet.

Die Verwendung von Rollformprofilen ermöglicht hohe Flexibilität in der Bauteilproduktion des modularen Baukastens. Gleichzeitig reduziert es die



Beispiel für modularen Dachaufbau mit rollgeformten Profilen

Anzahl der nötigen Werkzeuge. So ist für die Produktion gleichartiger Teile in verschiedenen Längen nur ein Werkzeug erforderlich, was sich in mehr Flexibilität, Zeit- und Kosteneinsparungen niederschlägt – im Gegensatz zur Verwendung mehrerer verschiedener Werkzeuge beim klassischen Tiefziehverfahren.

Neue Produktionsverfahren: Punktschweißkleben und Laserlöten

Neben den modernen Herstellungsverfahren in der Teilefertigung führte Scania mit der neuen Kabinengeneration auch neue Verbindungstechniken in die Fertigung ein. Im Bereich von Boden und Front wird das Punktschweißen durch den zusätzlichen Auftrag von crashbeständigem Hochleistungsstrukturkleber verstärkt. Dies führt zu einer erheblichen Verbesserung der Ermüdungs-, Crash- und Steifigkeitseigenschaften. Durch den Klebereinsatz kann die ohnehin schon sprichwörtliche Dauerhaltbarkeit der Scania-Nutzfahrzeuge weiter gesteigert werden.

Beim Zusammenfügen der Dachaußenhautteile setzt der Nutzfahrzeughersteller erstmals Laserlöten ein. Vorteil des Verfahrens: Die Qualität der Lötnaht macht die bisher nötige PVC-Abdichtung in diesen Bereichen überflüssig. Im sichtbaren

Bereich der Kabinenaußenhaut angewendet, verbessert sie zudem den optischen Qualitätseindruck. Allerdings erfordert das Verfahren hohe Maßhaltigkeit der Dachaußenhautteile und deren exakte Positionierung. Sind die Spalten zwischen den Elementen zu groß, fällt das Lot durch. Auch bei dieser Optimierung der entsprechenden Produktionsmethoden lieferte das Know-how von Porsche entscheidende Unterstützung.

Die Komfortsteigerung der neuen Kabinengeneration umfasste auch eine weiter verbesserte akustische Dämpfung gegen Fahrwerksgeräusche. Dafür sorgen aufschäumende Bauteile innerhalb der Säulen des Kabinenrohbaus. Eingesetzt werden Schottteile mit Quellschaum, die im Trockenofen nach dem Lackieren expandieren und so ihre Dichtfunktion entfalten.

Seit Sommer 2016 sind die ersten vier Hauptvarianten der neuen Kabinengeneration bei Scania in Oskarshamn (Schweden) in Serienproduktion. Alle weiteren Varianten werden sukzessive im Markt eingeführt. Im neuen Karosserierohbau arbeiten 283 Roboter, die bis zu 350 Kabinenrohbauten pro Tag herstellen können. Die Produktionsanlage ist sowohl auf eine wachsende Nachfrage als auch auf eine Ausweitung des Modellprogramms ausgelegt. Ne-

ben dem Karosseriewerk in Oskarshamn wird die neue Kabinengeneration auch im Scania-Werk in São Paulo (Brasilien) produziert werden.

Erfolgreiche Kooperation

Durch die effiziente Zusammenarbeit mit Porsche Engineering ist Scania darauf vorbereitet, auf mögliche sich verändernde Rahmenbedingungen in der Nutzfahrzeugbranche zu reagieren. Diese können beispielsweise rechtlicher Art sein oder mit technischen Aspekten wie Effizienz, Qualität und Sicherheit im Zusammenhang stehen. Durch das Projekt wurden ebenfalls qualitätssteigernde und kostenkende Prozesse bei der Kabinenherstellung etabliert, die auch in Zukunft für das Unternehmen von großem Nutzen sein werden.

So ist Scania gerüstet, um den hohen Anforderungen des Nutzfahrzeugmarktes auch weiterhin gerecht zu werden und sich als Qualitäts- und Innovationsführer in dem Segment zu positionieren. ■



Schweißen in einer Scania-Produktionsanlage in Oskarshamn, Schweden



Truck of the Year

Die neue Lkw-Modellreihe von Scania ist 2017 zum International Truck of the Year gewählt worden. Auf der 66. Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) hat eine Jury aus 25 Redakteuren und Journalisten der 25 großen Nutzfahrzeug-Magazine in Europa der komplett neuen Scania S-Baureihe diese renommierte Auszeichnung verliehen. Das Urteil der Jury war insbesondere auf Faktoren wie Fahrerkomfort und Sicherheit der neuen Lkw-Generation zurückzuführen. Ebenso wurden die entsprechend positiven Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Speditionsunternehmen betont. Der Vorsitzende des Gremiums, Gianenrico Grifini, fasste die Entscheidung der Jury mit folgendem Kommentar zusammen: „Scania hat einen Lkw auf den Markt gebracht, der zu Recht als Spitzentechnologie bezeichnet werden kann.“



Foto: Rafael Krötz

Bauplan eines Erfolgsmodells

Die Lithium-Ionen-Zelle als Modulbaustein für Batteriesysteme

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen stellt Ingenieure und Wissenschaftler vor neue Herausforderungen. Mehr noch als dem Elektromotor kommt dem Batteriesystem eine Schlüsselrolle zu. Die heute am weitesten verbreitete Technologie ist die wiederaufladbare Lithium-Ionen-Zelle. Ihr Funktionsprinzip ermöglicht verschiedene Aufbauformen und Eigenschaften. Nur mit der genauen Kenntnis von Grundlagen und Lösungsansätzen ist eine gezielte Weiterentwicklung für den Einsatz im E-Auto möglich.

Von Dr. Stefanie Ostermeyer und Tim Schmidt

Aufbau und Funktionsweise

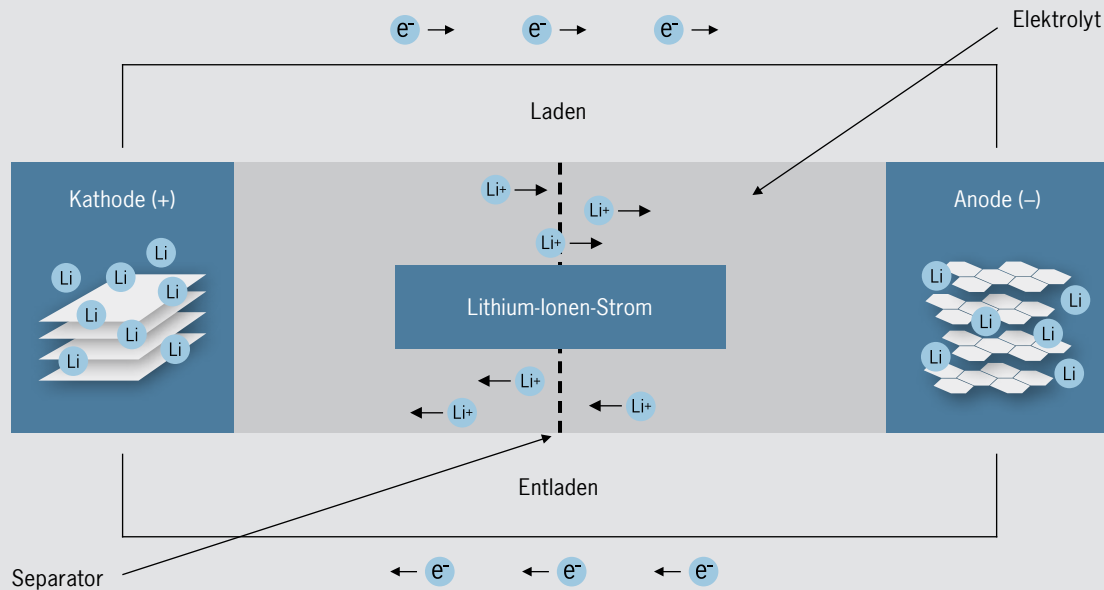
Ein Batteriesystem setzt sich in der Regel aus mehreren Modulen zusammen, welche wiederum aus einzelnen Batteriezellen aufgebaut sind. Die Hauptkomponenten einer Batteriezelle bilden die beiden Elektroden Anode und Kathode, der Separator, der Elektrolyt und das Zellgehäuse. Die Elektroden bestehen aus einer mit Elektrodenfilm beschichteten dünnen Metallfolie, dem Stromsammler. Im Fall von Lithium-Ionen-Zellen ist die Aluminiumfolie der Kathode häufig mit einem Elektrodenfilm beschichtet, der auf Übergangsmetall-oxiden wie Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxiden basiert. Die Anode besteht üblicherweise aus einer Kupferfolie, die mit einem grafithaltigen Elektrodenfilm beschichtet ist. Die porösen Elektrodenfilme setzen sich zum größten Teil aus dem Aktivmaterial und zu geringeren Anteilen aus Leitkohlenstoffen sowie polymeren Bindern zusammen.

Die beiden Elektroden sind durch den Separator – eine semipermeable Membran – elektrisch voneinander isoliert, um

einen Kurzschluss zu vermeiden. Separatoren bestehen häufig aus mikroporösen Kunststoffen wie Polyethylen. Zusätzlich können sie durch keramische Partikel stabilisiert sein. Die Poren in den Elektroden und im Separator sind von einem Elektrolyten durchtränkt, der als Lithium-Ionen-Leiter dient. Als Elektrolyte werden vor allem Lösungen aus organischen Carbonaten – beispielsweise Ethylencarbonat – und einem Leitsalz wie Lithiumhexafluorophosphat verwendet.

Unmittelbar nach dem Zusammenbau befindet sich eine Lithium-Ionen-Zelle im entladenen Zustand, das heißt, alle verfügbaren Plätze des Kathodenaktivmaterials sind vollständig mit Lithium-Ionen besetzt. Wird die Zelle geladen, wandern Lithium-Ionen von der Kathode durch den Elektrolyten zur Anode. Dort werden die Lithium-Ionen in die Anodenstruktur eingelagert. Dieser Vorgang wird auch als Interkalation bezeichnet. Zum Ladungsausgleich fließen Elektronen von der Kathode über die angeschlossenen Stromquellen zur Anode. Beim Entladen findet genau der umgekehrte Prozess statt, und die Elektronen und Lithium-Ionen bewegen sich >

Elektronenstrom



Funktionsweise von Lithium-Ionen-Zellen

wieder in Richtung der Kathode. Das Hin- und Herpendeln der Lithium-Ionen zwischen den beiden Elektroden ist auch als Schaukelstuhlprinzip (rocking chair principle) bekannt.

Beim erstmaligen Laden einer Lithium-Ionen-Zelle bildet sich eine Deckschicht auf der Anode. Die Bildung dieser sogenannten SEI (Solid Electrolyte Interface) ist ein unvermeidbarer und irreversibler Prozess. Dieser hat einen Verlust von Lithium-Ionen zur Folge. Gleichzeitig schützt eine stabile SEI die Anodenstruktur jedoch vor Zerstörung.

Weiterentwicklung der Materialien für Lithium-Ionen-Zellen

Prinzipiell stehen fünf Eigenschaften im Mittelpunkt der Weiterentwicklung von Lithium-Ionen-Zellen: Sicherheit, Lebensdauer, Leistung, Kosten und Energie. Die Steigerung der Zellenergie ist dabei entscheidend, um den hohen Ansprüchen bezüglich der Reichweite von Elektroautos bei möglichst geringer Masse und geringem Volumen des Batteriesystems gerecht zu werden. Sie ist das Produkt aus der mittleren Zellspannung U und der Zellkapazität Q ($E = U \times Q$). Bezogen auf die Zellmasse oder das Zellvolumen spricht man von der

spezifischen Energie (Wh/kg) oder der Energiedichte (Wh/l). Zur Steigerung dieser beiden Größen werden bestimmte Kernmaterialien gezielt weiterentwickelt und optimiert.

Kathodenaktivmaterialien

Die Liste der Kathodenaktivmaterialien ist umfangreich. Eine wichtige Substanzklasse stellen die Übergangsmetallschichtoxide (siehe Abbildung rechte Seite unten links) mit Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxiden (NMC) als prominenten Vertretern dar. NMC-111 hat sich zum Beispiel bereits in kommerziellen Lithium-Ionen-Zellen im Automobilbereich bewährt. Allerdings werden für die Realisierung von Elektroautos mit hohen Reichweiten Kathodenaktivmaterialien benötigt, die höhere spezifische Zellenergien ermöglichen.

Deshalb kommen verstärkt nickelreiche NMC-Materialien mit hohen reversiblen Kapazitäten auf den Markt. NMC-622 steht seit Kurzem für automotive Lithium-Ionen-Zellen zur Verfügung. Außerdem wird an der Optimierung des Kathodenaktivmaterials NMC-811 gearbeitet. Generell steigt zwar mit höherem Nickelgehalt die Zellenergie, gleichzeitig sinkt

jedoch die Zyklenfestigkeit derartiger Lithium-Ionen-Zellen. Dennoch haben hochnickelreiche NMC-Materialien großes Potenzial und werden vermutlich in naher Zukunft in Zellen für automotive Batteriesysteme genutzt werden können. Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (NCA) ist schon seit Längerem kommerzialisiert und treibt bereits Elektroautos auf der Straße an. Bei Temperaturen über 40 °C weisen Zellen mit NCA allerdings eine kürzere zyklische Lebensdauer und im Vergleich zu nickelreichen NMC-Materialien eine geringere Belastbarkeit bei hohen Stromraten auf.

In jüngster Zeit versprechen zwei neue Kathodenaktivmaterialien eine deutliche Steigerung der spezifischen Zellenergie. Dabei handelt es sich zum einen um lithiumreiche NMC-Materialien und zum anderen um Hochvolt-Spinelle. Allerdings befinden sich beide Verbindungen noch im Forschungsstadium und haben großen Optimierungsbedarf. Weiterhin wird Schwefel aufgrund seiner geringen Kosten und seiner hohen spezifischen Kapazität (Energie pro Gramm Schwefel) als Kathodenaktivmaterial untersucht. Die sogenannten Lithium-Schwefel-Zellen verfügen im Vergleich zu herkömmlichen Lithium-Ionen-Zellen aber über eine signifikant geringere Energiedichte (Energie pro Zellvolumen).

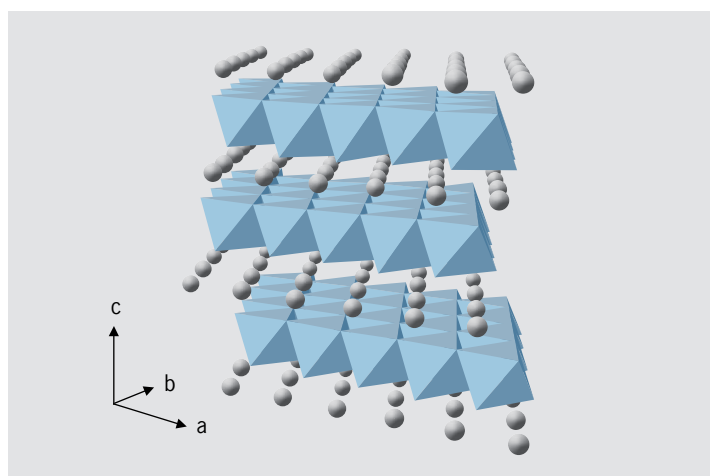
Anodenaktivmaterialien

Als Anodenaktivmaterialien kommen derzeit vorwiegend Graphite (Abbildung unten rechts) zum Einsatz. Üblicherweise werden drei Grafitarten in Lithium-Ionen-Zellen verwendet: MCMBs (MesoCarbon MicroBeads), synthetische oder na-

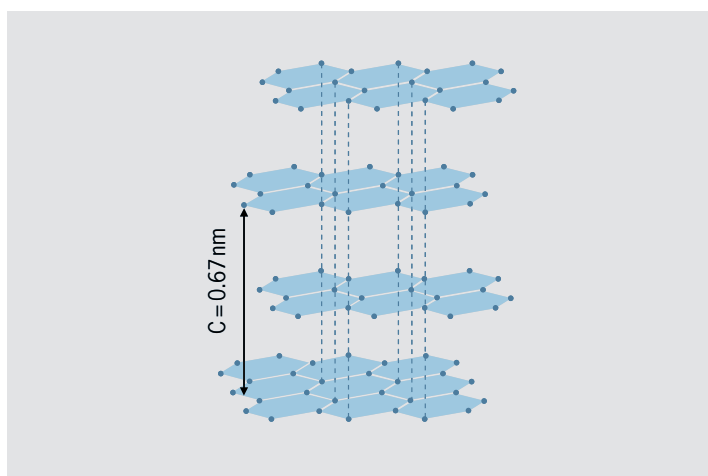
türliche Graphite. Alle drei grafitischen Kohlenstoffe haben vergleichbare spezifische Kapazitäten und ermöglichen folglich ähnliche spezifische Zellenergien. MCMBs sind kugelförmige Partikel. Sie zeichnen sich durch sehr gute Zyklierungseigenschaften aus, sind aber relativ teuer. Daher werden heute vor allem natürliche oder synthetische Graphite in Lithium-Ionen-Zellen genutzt.

Im Hinblick auf die weitere Steigerung der spezifischen Energie von Zellen rückt Silicium zunehmend als Anodenaktivmaterial in den Fokus der Forschung, da es eine etwa neun Mal höhere spezifische Kapazität besitzt als Grafit. Allerdings finden bei der Ein- und Auslagerung von Lithium-Ionen starke Volumenänderungen der Siliciumpartikel statt, die sich negativ auf die Lebensdauer auswirken. Deshalb werden Elektroden, die ausschließlich reines Silicium als Aktivmaterial verwenden, bislang nicht in kommerziellen Zellen eingesetzt. Ein möglicher Weg zur Erhöhung der Zellenergie unter Minimierung der Volumenänderungen ist die Verwendung von Silicium-Kohlenstoff-Kompositen mit lediglich fünf bis 20 Prozent Gehalt an reinem Silicium. Sie sind ein vielversprechender Kandidat, um die spezifische Energie von Lithium-Ionen-Zellen deutlich zu erhöhen, müssen jedoch noch hinreichend optimiert werden.

Energetisch betrachtet stellt metallisches Lithium als leichtestes festes Element des Periodensystems das ideale Anodenaktivmaterial dar, da es die höchste spezifische Kapazität liefert. Diese Eigenschaft kommt bei nicht wiederaufladbaren kommerziellen Lithium-Zellen zum Tragen. Im Fall von wiederaufladbaren Lithium-Ionen-Zellen treten aber in

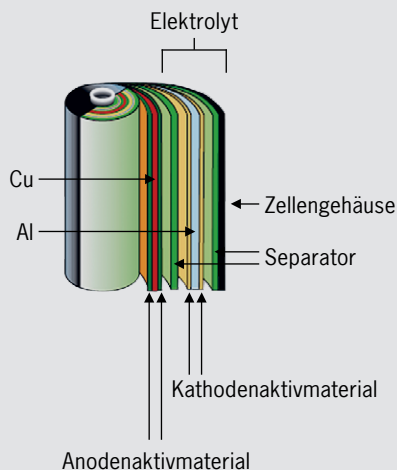


Struktur von Übergangsmetalloxiden
(blau: MO_6 -Oktaeder; graue Punkte: Lithium-Ionen)

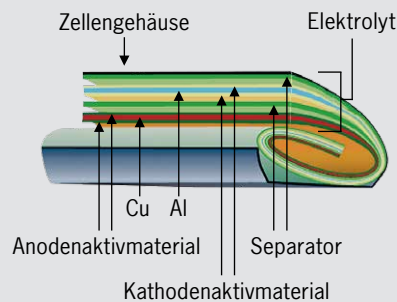


Struktur von Grafit

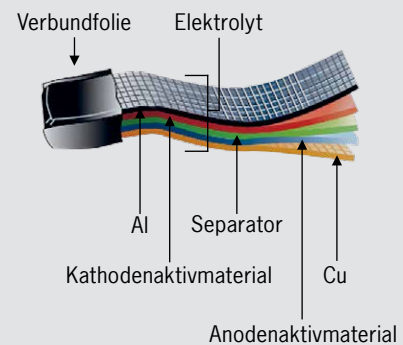
A Zylindrische Zelle



B Prismatische Zelle



C Verbundfolien-Zelle



Verschiedene Konstruktionen von Lithium-Ionen-Zellen: A zylindrische Zelle, B prismatische Zelle und C Verbundfolien-Zelle. Die Zellen wurden von der VW-VM Forschungsgesellschaft mbH & Co. KG, einem Gemeinschaftsunternehmen der Volkswagen AG und der VARTA Microbattery GmbH, hergestellt.

Kombination mit flüssigen organischen Carbonaten gravierende Probleme auf. Die auf dem Lithium gebildete SEI ist nicht stabil. Das führt dazu, dass ständig Elektrolyte und Lithium-Metall verbraucht werden. Überdies können sich bei der Rückabscheidung des Lithiums auf der metallischen Anodenoberfläche Nadeln ausbilden. Diese sogenannten Lithium-Dendriten stellen ein großes Sicherheitsproblem dar, weil sie durch den Separator wachsen und einen internen Kurzschluss in der Zelle verursachen können. Aktuell wird daran geforscht, Flüssigelektrolyte durch Festelektrolyte zu ersetzen, damit Lithium-Metall in einer Feststoffzelle (all-solid-state cell) als Anodenaktivmaterial eingesetzt werden kann.

Dünnere Separatoren für höhere Energiedichten

Wie bereits erwähnt, werden derzeit in erster Linie Separatoren aus Polyolefinen, die zum Teil mit keramischen Partikeln stabilisiert sind, in kommerziellen Lithium-Ionen-Zellen verwendet. Der Trend geht hierbei in Richtung dünnerer Separatoren ($< 20 \mu\text{m}$) für die Entwicklung hochenergiereicher Zellen.

In Feststoffzellen soll der klassische Separator komplett durch eine sehr dünne Lage aus Festelektrolyten ersetzt werden. Dadurch könnte zusätzliche Energiedichte gewonnen werden.

Breites Entwicklungsfeld im Bereich Elektrolyte

Als Elektrolyte werden in heute verfügbaren Lithium-Ionen-Zellen für den Automobilbereich Lösungsmittel wie organische Carbonate eingesetzt, in denen ein Leitsalz gelöst ist. Diese Komponenten bestimmen die Haupteigenschaften des Elektrolyten, so etwa die Ionenleitfähigkeit. Geringe Mengen an Additiven können die Anpassung an die Zellchemie der Lithium-Ionen-Zelle noch verbessern. Derzeit wird an neuartigen Elektrolytformulierungen für Hochenergieaktivmaterialien gearbeitet, wobei wesentliche Herausforderungen, unter anderem die elektrochemische Stabilität über 4,2 Volt, im Wege stehen. Gleichzeitig wird massive Forschung auf dem Gebiet der Festelektrolyte für eine Feststoffzelle mit hoher Zellenergie betrieben. Das große Problem von reinen Festelektrolyten ist ihre geringere Leitfähigkeit im Vergleich zu flüssigen Elektrolyten. Aus diesem Grund werden zunächst noch teilflüssige Konzepte mit beispielsweise ionischen Flüssigkeiten erprobt. Zwar werden automotiv Anforderungen bislang nicht erfüllt, jedoch haben Feststoffzellen grundsätzlich ein großes Potenzial.

Drei gängige Formen der Elektroden-Separator-Anordnung

Für die Elektroden-Separator-Anordnung in Lithium-Ionen-Zellen gibt es drei verschiedene Varianten: runde Wickel, prismatische Wickel oder Stapel (siehe Abbildungen auf der linken Seite). Diese werden in der Regel in runde oder prismatische Hartgehäuse sowie Verbundfoliengehäuse eingefügt.

Im Fall von runden Wickeln ist ein homogener Kontakt zwischen den Elektroden und dem Separator gewährleistet. Ihr großer Nachteil besteht darin, dass durch die Rundungen eine hohe mechanische Belastung auf die Elektroden ausgeübt wird. Überdies weist die runde Elektroden-Separator-Anordnung eine ungünstige Wärmeverteilung von innen nach außen auf. Die gute Zell-Innen-Raumerfüllung dieses Bautyps ermöglicht aber hohe Energiedichten. Häufig werden zylindrische Zellen im sogenannten 18650-Format gefertigt.

Im Gegensatz zu runden Wickeln tritt bei prismatischen Wickeln in der Summe weniger mechanischer Stress der Elektroden auf. Darüber hinaus ist eine bessere Temperaturverteilung gegeben. Die Zell-Innen-Raumerfüllung ist aufgrund der Gehäuseecken allerdings geringer als bei zylindrischen Zellen. Eine häufig verwendete Variante im Automobilbereich ist die sogenannte PHEV2-Hartgehäusezelle.

Bei der gestapelten Elektroden-Separator-Anordnung herrscht die geringste mechanische Belastung der Elektroden.

Außerdem ist die Wärmeverteilung gleichmäßig und der Kontakt zwischen Elektroden und Separator homogen. Die Zell-Innen-Raumerfüllung ist wegen des Separatorüberstandes etwas geringer als beim runden Wickel. Zudem ist die Fertigungsgeschwindigkeit langsamer als beim Wickeln. Die rechts stehende Abbildung zeigt eine Verbundfolien-Zelle mit einer gestapelten Elektroden-Separator-Anordnung für den Einsatz in Elektrofahrzeugen.

Sichere und leichte Zellgehäuse bilden noch einen Widerspruch

Bei den Zellgehäusen für die genannten Elektroden-Separator-Anordnungen haben die Hartgehäuse gegenüber den Verbundfoliengehäusen den Vorteil, dass die Seitenwände nur schwer deformierbar sind. Ferner kann ein CID (Current Interruption Device) als passives Sicherheitselement integriert werden. Das CID wird aktiviert, wenn innerhalb der Zelle hoher Druck entsteht, und trennt die Verbindung zwischen Elektrode und Zellaußenpol. Damit wird die Lithium-Ionen-Zelle elektrisch abgeschaltet, bevor ein kritischer Zustand entsteht. Die prozesstechnische Fertigung von Hartgehäusen ist jedoch aufgrund der Vielzahl an Bauteilen komplex und teuer. Zudem besitzen diese stabilen Zellgehäuse ein hohes Eigengewicht, was sich negativ auf die spezifische Energie entsprechender Zellen auswirkt.

Verbundfolien-Zellgehäuse besitzen dagegen ein sehr geringes Gesamtgewicht und bestehen aus deutlich weniger Bauteilen. Dadurch können hohe spezifische Energien realisiert werden. Aufgrund der flexiblen Form von Pouch-Zellen sind die Seitenwände jedoch leicht deformierbar und penetrierbar. Mechanische Stabilität wird erst durch zusätzliche Seitenwände in einem Modul erreicht. Außerdem kann in Verbundfolien-Zellgehäusen kein passives Sicherheitselement integriert werden.

Porsche-Know-how für die Wahl der bestgeeigneten Lithium-Ionen-Zelle

Lithium-Ionen-Zellen sind komplexe und sehr vielseitige Systeme. Die große Bandbreite an Materialien, die für die einzelnen Zellkomponenten zur Verfügung steht, und das Zelldesign gehen mit individuellen Eigenschaften und somit auch unterschiedlichen Vor- und Nachteilen hinsichtlich Sicherheit, Lebensdauer, Leistung, Kosten und Energie einher. Die exakte Kenntnis der Lithium-Ionen-Zelle mit allen chemischen und physikalischen Vorgängen ist jedoch die Grundvoraussetzung für die Auswahl der bestgeeigneten Zelle für das jeweilige Fahrzeug – seien es Sportwagen oder andere Fahrzeuge, an deren Entwicklung Porsche Engineering mitwirkt. ■



PANAMERA 4 E-HYBRID SPORT TURISMO

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 2,5 l/100 km
Stromverbrauch (kombiniert): 15,9 kWh/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 56 g/km

PANAMERA 4 SPORT TURISMO

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 7,9–7,8 l/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 180–178 g/km

PANAMERA TURBO SPORT TURISMO

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 9,5–9,4 l/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 217–215 g/km

PANAMERA 4S DIESEL SPORT TURISMO

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 6,8–6,7 l/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 178–176 g/km

PANAMERA 4S SPORT TURISMO

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 8,3–8,2 l/100 km
CO₂-Emission (kombiniert): 189–187 g/km



Sportlicher Zuwachs

Neue Karosserievariante in der Panamera-Familie

____ Die Panamera-Familie bei Porsche erhielt kräftigen Zuwachs: Im März feierte auf dem Genfer Automobilsalon der Panamera Sport Turismo seine Weltpremiere.

Die konsequente Weiterentwicklung der Panamera-Modellreihe – den Panamera Sport Turismo – gibt es gleich in fünf Versionen: als Panamera 4, Panamera 4S, Panamera 4S Diesel, Panamera 4 E-Hybrid und Panamera Turbo. Abgeleitet von der erfolgreichen Panamera-Sportlimousine, setzt die neue Variante mit einem unverwechselbaren Design ein weiteres Statement im Luxussegment. Gleichzeitig ist der bis zu 404 kW (550 PS) starke Sport Turismo variabel wie kein anderer Vertreter seiner Klasse. Mit großer Heckklappe, niedriger Ladekante, vergrößertem Gepäckraumvolumen und einem 4+1-Sitzkonzept wird das neue Panamera-Modell hohen Ansprüchen an Alltagstauglichkeit und Variabilität gerecht. „Der Panamera Sport Turismo ist für Porsche der Vorstoß in ein neues Segment unter Beibehaltung aller Porsche-typischen Werte und Attribute“, sagt Michael Mauer, Leiter Style Porsche. >

Bewährte Technologien bilden die Basis

Technisch und konzeptionell nutzt der Sport Turismo alle Innovationen der erst im vergangenen Jahr komplett erneuerten Panamera-Baureihe. Dazu gehören das digitalisierte Porsche Advanced Cockpit, wegweisende Assistenzsysteme wie das Porsche InnoDrive inklusive Abstandsregeltempomat, Fahrwerkssysteme wie eine Hinterachslenkung, die elektronische Wankstabilisierung Porsche Dynamic Chassis Control Sport (PDCC Sport) und leistungsstarke Antriebe. Darüber hinaus gilt: Alle Panamera Sport Turismo haben serienmäßig das Porsche Traction Management (PTM) an Bord, einen aktiven Allradantrieb mit elektronisch geregelter Lamellenkupplung. Ab den S-Modellen zählt zudem die adaptive Luftfederung mit Dreikammer-Technologie zur Serienausstattung.

Design und Konzept eines Allround-Sportwagens

Ebenso wie die coupéhafte Panamera-Sportlimousine kennzeichnen auch den Sport Turismo sehr dynamische Proportionen – geprägt von der Porsche-Design-DNA. Das Fahrzeug ist 5,049 Meter lang, 1,428 Meter hoch und 1,937 Meter breit. Dazwischen spannt sich ein großer Radstand von 2,950 Metern. Zusätzlich prägen kurze Karosserieüberhänge und die bis zu 21 Zoll großen Räder die Silhouette. Ab den B-Säulen, also dem Beginn der Fondtüren, kennzeichnet den

Sport Turismo nach hinten ein vollkommen eigenständiges Design. Über der ausgeprägten Schulter erstrecken sich eine lang gestreckte Fensterlinie und eine ebenso lange Dachkontur. Das Dach senkt sich nach hinten hin weniger stark ab als die Fensterlinie. Daraus ergibt sich eine markante und unverwechselbare D-Säule, die coupéartig in die Schulterpartie übergeht.

Erster, adaptiv ausfahrbarer Dachspoiler im Segment

Oben geht das Dach in einen adaptiven Spoiler über. Der Anstellwinkel des Dachspoilers wird abhängig von der Fahrsituation und den gewählten Fahrzeugeinstellungen in drei Stufen eingestellt und erzeugt auf der Hinterachse einen zusätzlichen Abtrieb von bis zu 50 Kilogramm.

Bis zu einer Geschwindigkeit von 170 km/h reduziert das aerodynamische Luftleitelement – zentraler Systembestandteil der Porsche Active Aerodynamics (PAA) – im eingefahrenen Zustand mit einem Winkel von minus sieben Grad den Luftwiderstand und trägt so zur Verbrauchsoptimierung bei. Ab 170 km/h fährt der Dachspoiler automatisch in die Performance-Stellung und erhöht mit einem Anstellwinkel von plus ein Grad Fahrstabilität und Querdynamik. In den Fahrmodi Sport und Sport Plus fährt der Dachspoiler bereits ab einer Geschwindigkeit von 90 km/h in diese Position. Aktiv unterstützend passt das PAA-System den Anstellwinkel des Dachspoilers ab 90 km/h auf plus 26 Grad an, wenn das op-



*Porsche E-Performance:
Panamera 4 E-Hybrid
Sport Turismo*



Adaptiver Dachspoiler in der Sport-Turismo-Modellreihe

tionale Panorama-Schiebedach geöffnet wird. In diesem Fall trägt der Spoiler dazu bei, die Windgeräusche zu minimieren.

Attraktives Interieurdesign

Auch das Interieurdesign bleibt den klassischen Porsche-Prinzipien treu: Die Mittelkonsole steigt an, der analoge Drehzahlmesser sitzt in der Mitte des Kombiinstrumentes, die Schalttafel ist flach und breitenbetont. Die Mittelkonsole mit Direct Touch Control verfügt über eine Oberfläche in Glasoptik mit berührungssensitiven Tasten für den direkten Zugriff auf die wichtigsten Funktionen. Dazwischen befindet sich der kompakte Wählhebel. In die Schalttafel ist ein hochauflösendes 12-Zoll-Touchdisplay integriert. Rechts und links vom Drehzahlmesser zeigen hochauflösende Displays virtuelle Instrumente, Karten und weitere Informationen an. In Verbindung mit der optionalen Vierzonen-Klimaautomatik sowie den Komfortsitzen hinten steht den Passagieren im Fond ein weiteres Touchdisplay zur Verfügung.

Drei Sitzplätze im neu konzipierten Fond

Als erster Panamera ist der neue Sport Turismo mit einer dreisitzigen Rückbank ausgestattet. Da die zwei äußeren Plätze – korrespondierend mit dem ebenso sportlichen wie komfor-

tablen Anspruch der Baureihe – als Einzelsitze ausgelegt sind, ergibt sich hinten eine 2+1-Konfiguration. Optional kann der Panamera Sport Turismo viersitzig mit zwei elektrisch einstellbaren Einzelsitzen hinten bestellt werden. Die höhere Dachlinie des Sport Turismo erleichtert hinten das Ein- und Aussteigen und gewährt dort deutlich mehr Kopffreiheit.

Die Nutzbarkeit des Gepäckraums profitiert von der weit öffnenden, serienmäßig elektrisch betätigten Heckklappe und der nur 628 Millimeter niedrigen Ladekante. Bis zur Oberkante der Rücksitze bietet der Sport Turismo mit bis zu 520 Litern (Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo: 425 Liter) 20 Liter mehr Stauvolumen als die Sportlimousine. Dachhoch beladen und mit umgeklappten Fondsitzen, erhöht sich der Zugewinn auf etwa 50 Liter. Die drei Rücksitzlehnen lassen sich separat oder komplett umklappen (Verhältnis 40:20:40), die Entriegelung vom Gepäckraum aus erfolgt elektrisch. Sind alle Lehnen umgeklappt, entsteht eine nahezu ebene Ladefläche. Das Ladevolumen vergrößert sich in diesem Fall auf bis zu 1.390 Liter (Panamera 4 E-Hybrid Sport Turismo: 1.295 Liter). Für den Gepäckraum des Panamera Sport Turismo gibt es auf Wunsch ein Laderaum-Management. Das variable System für den sicheren Transport umfasst unter anderem zwei in den Ladeboden integrierte Befestigungsschienen, vier Verzurrösen und ein Gepäckraum-Trennnetz. Zusätzlich wird optional eine 230-Volt-Steckdose im Kofferraum angeboten. ■

Alles unter einem Dach

Fahrzeugkonzept-Entwicklung im Umfeld veränderter Mobilität

____ Porsche Engineering beschäftigt sich mit allen Arten von Mobilitätskonzepten. Seit rund zehn Jahren zählen dazu verstärkt auch Fahrzeugkonzepte rund um die Elektromobilität. Die Kompetenz erstreckt sich von der Erweiterung bestehender Plattformen bis hin zu kompletten Neukonstruktionen. Die Erfahrung zeigt, dass beim Fahrzeugkonzept mit Elektroantrieb vieles, aber nicht alles anders wird.

Von Stefan Bender und Horst Plate

Die Automobile von heute sind im Grundsatz das Produkt einer rund 130-jährigen Weiterentwicklung, ausgehend von der Pferdekutsche. Seither haben sich grundsätzlich die Mittelzelle des Personenkraftwagens als Basis für die Positionierung der Menschen und der Vorder- sowie Hinterwagenbereich für Antrieb, Technikbereiche, Energiespeicher und einen mehr oder weniger großen Nutzraum etabliert.

Welche Veränderungen sind mit dem Übergang zur Elektromobilität zu erwarten? Um diese Frage zu beantworten, ist es wichtig zu wissen, was ein Fahrzeugkonzept ist und mit welchen wesentlichen Teilkonzepten es beschrieben werden kann. In erster Linie ist die optimale Unterbringung des Menschen als Nutzer das Ziel eines jeden Fahrzeugkonzeptes. Diese Festlegung erfolgt mit dem Ergonomiekonzept. Ausgehend davon werden die

Fahrzeuge über gesamtheitliche geometrische Zusammenhänge formal beschrieben und erhalten dann das sogenannte Maßkonzept. Das Maßkonzept als Hülle definiert den Raum für die Unterbringung der Personen und Komponenten sowie auch für das Fahrzeugdesign. Im Packagekonzept wird schließlich der komplette Bauraum für alle Systeme und Funktionen vorgegeben und harmonisiert. Eine Betrachtung dieser drei Konzepte in Hinblick auf die Elektromobilität lässt Rückschlüsse darauf zu, wie groß die zu erwartenden Veränderungen sein werden.

Am Nutzer orientiert: das Ergonomiekonzept

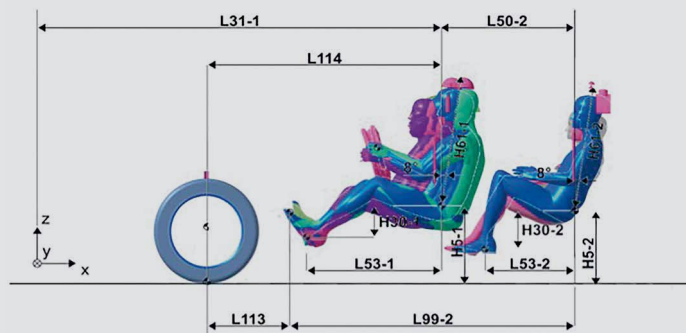
Die Konzeptentwicklung von Fahrzeugen orientiert sich grundsätzlich am Nutzer des Produktes. Darum beeinflussen die Erkenntnisse der Anthropome-

trie – die Wissenschaft von den menschlichen Körper- und Skelettmerkmalen und deren exakter Bestimmung – die ergonomischen Grundlagen entscheidend. Maßgebend sind dabei das ausgewählte Nutzerspektrum und die festgelegten Grenz- und Zielwerte für das Fahrzeug. Die Körperabmessungen und die Bewegungsräume werden als geometrische Größen des Nutzerspektrums (5. bis 95. Perzentil-Mensch) festgelegt, sie sind damit direkter Bestandteil sowie Basis des Maßkonzepts. Zusätzlich gestaltet der Konzeptentwickler das Ergonomiekonzept des neuen Fahrzeugs mit weiteren Auslegungen: Bedienung, Sicht nach außen oder auf Bedienelemente, unterschiedliche Bewegungsmuster wie Ein- oder Ausstieg, subjektive Einflüsse und Gewohnheiten der Nutzer.

Eine untergeordnete Rolle spielen hierbei die Unterschiede zwischen den >

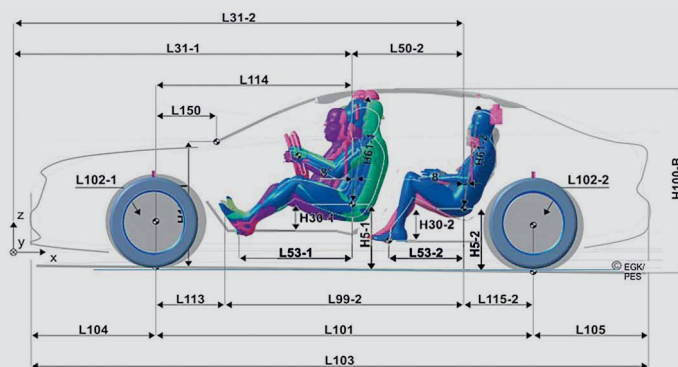
01 ERGONOMIE KONZEPT

Ergonomiekonzept eines anthropometrischen Auswahlkollektivs mit Hauptmaßen



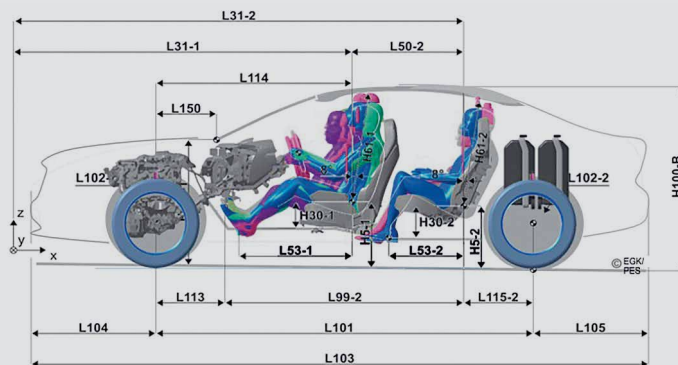
02 MASS KONZEPT

Ergonomie- plus Maßkonzept mit Stylingvorgaben und Package-Grenzflächen



03 PACKAGE KONZEPT

Ergonomie- plus Maßkonzept mit Stylingvorgaben und erstem Packagekonzept



Antriebskonzepten. Bei einer starken Fokussierung auf besondere Ausprägungen der Antriebskonzepte, beispielsweise zugunsten besonderer Fahrleistungen oder Nutzräume, müssen allerdings Kompromisse für eine spezifische Ergonomieausprägung gefunden werden. Dies kann sich unter anderem bis auf die primäre Bedienung des Fahrzeugs wie Lenken und Bremsen beziehen.

Das technische Grundgerüst und die grundlegende Fahrzeugtopologie, bestehend aus einigen sehr spezifischen Abmessungen, bilden die Architektur des Fahrzeugs. Sie wird geprägt durch das Zusammenspiel des Ergonomiekonzeptes mit dem Antriebskonzept sowie den gewünschten stylistischen Proportionen des Produktes. Stark unterschiedliche Antriebskonzepte wirken sich zum Beispiel über die Architektur auf das Maßkonzept aus. Eine wesentliche Aufgabe für den Konzeptentwickler besteht schließlich darin, die Vorgaben aus den Zielwerten und den Gesetzen in das Maßkonzept einzubringen und dieses als Grundgerüst dem Styling zur Verfügung zu stellen.

Raum und Technik: das Maßkonzept

Auf Basis der Abmessungen aus dem Ergonomiekonzept ergibt sich von innen nach außen der Kern des Maßkonzeptes eines Fahrzeugs. Das Maßkonzept beschreibt die geometrischen Werte und Zusammenhänge. Es berücksichtigt dabei gesetzliche Einflüsse ebenso wie die physikalischen Größen für Funktionsräume und der klassischen Bauräume für die notwendigen Systeme. Des Weiteren sind Räume und Abmessungen im Maßkonzept vorzuhalten für Änderungen durch den Betrieb des Fahrzeugs wie Temperaturdifferenzen. Sehr viele Maße sind dabei Teil komplexer Maßketten, die im nachfolgenden iterativen Entwicklungsprozess zwischen den Entwicklungsresorts harmonisiert werden. Die Konzept-

entwicklung hat dabei verschiedene marken- und länderspezifische Randbedingungen sowie Sicherheitsanforderungen zu berücksichtigen. Die technischen Einflüsse auf das Maßkonzept werden primär vom Entwicklungsbereich des OEMs definiert. Übergeordnet bestimmen die Belange des Gesamtunternehmens die Produktentstehung, und als weitere maßgebliche Eckpfeiler dienen die Anforderungen Gesetz, Kunde, Markt und Umwelt.

Elektroantrieb verändert Maßkonzept kaum

Angesichts des begonnenen Wandels zur Elektromobilität stellt sich die Frage, ob die Veränderungen einen Einfluss auf die genannten Eckpfeiler des Gesamtkonzeptes und damit auf das Maßkonzept haben. Aus der Sicht des Kunden kann man davon ausgehen, dass er die heutigen Annehmlichkeiten der Mobilität beibehalten oder sogar erweitert haben möchte. Sicheres und komfortables Reisen wird weiterhin im Vordergrund stehen. Zudem erwartet er die gewohnte Vielfalt und die unterschiedlichen Fahrzeugausprägungen wie Sportwagen, Limousine oder Familienvan. Der Kunde wird auch morgen unterschiedliche Anforderungen an ein Auto haben, seien diese anwendungsbezogen (zum Beispiel Van oder Citycar) oder basierend auf persönliche Präferenzen (Sportwagen oder Limousine).

Bereits die heute geltenden gesetzlichen Regelungen nehmen sehr wohl Einfluss auf die formale Gestaltung moderner Fahrzeuge. Auffallend sind hierbei die steigenden Sicherheitsanforderungen, die sich eindeutig in größeren und schwereren Fahrzeugen widerspiegeln. Durch die Elektromobilität wird es zusätzliche Anforderungen hauptsächlich im Bereich der Hochvoltsicherheit geben, grundlegende Veränderungen am Maßkonzept sind jedoch nicht zu erwarten.

Markt und Umwelt üben ihre Einflüsse vor allem dahingehend aus, dass die Erfüllung strengerer Umweltauflagen und die Erschließung neuer Absatzgebiete voraussichtlich nur noch mit Nullmissionenfahrzeugen möglich sein werden. Aber auch hier gilt, dass dafür keine Änderungen im Maßkonzept erforderlich sind. Bezogen auf ein Fahrzeugmaßkonzept wird die Elektromobilität in der Summe also keine gravierenden Veränderungen hervorrufen.

Alles am richtigen Platz: das Packagekonzept

Im Packagekonzept geht es darum, die Ziele der Fachabteilungen mit ihren zum Teil konträren Anforderungen in Einklang zu bringen. Dabei ist ein Großteil der Komponentenpositionen schon durch die zuvor beschriebenen Maß- und Ergonomiekonzepte bestimmt. Auch beim Packagethema beeinflussen gesetzliche und markenspezifische Anforderungen das Konzept erheblich. Die Positionierung der Fahrzeugbeleuchtung ist beispielsweise nur in sehr engen Vorgaben möglich und eine typische markenspezifische Eigenheit. Bei Porsche ist dies beispielsweise auch die linksseitige Zündschlossposition. Der Konzeptentwickler hat hierbei die Aufgabe, diese markenspezifischen Eigenheiten zu ermöglichen und technisch zu harmonisieren – in enger Zusammenarbeit mit den Fachbereichen.

Moderne Fahrzeuge, vor allem im Premiumsegment, sind heute mit zahlreichen zusätzlichen Systemen ausgestattet, sodass schon die reine Unterbringung der im Lastenheft stehenden Funktionen und Features ein hohes Maß an Disziplin und Kompromissbereitschaft erfordert. Die Unterbringung von Komponenten steht im ständigen Konflikt mit Komfortthemen wie Kofferraumvolumen und Böschungswinkel, ergonomischen Themen wie Sichtwinkel und Kopffreiheiten sowie nicht zuletzt länderspezifischen Si-

cherheitsanforderungen wie Fußgängerschutz und Kopfaufschlag im Interieur.

Elektroantrieb verändert Packagekonzept entscheidend

Der elektrische Antrieb erleichtert in Zukunft packageseitig die Lösung bestimmter Zielkonflikte, verursacht dafür aber andere. Im aktuellen Dilemma der Reichweitsituation von Elektrofahrzeugen aus hinreichender Batteriekapazität und schneller Auflademöglichkeiten kommt der Hochvoltbatterie (HV-Batterie) eine entscheidende Rolle zu. Die HV-Batterie ist bisher das größte und schwerste Einzelteil in einem Elektrofahrzeug, zudem gelten besondere Sicherheitsanforderungen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, dem Packagekonzept der HV-Batterie besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Für die Position der neuen Komponenten steht nur ein begrenzter Raum zur Verfügung. Es gibt drei grundsätzliche Verortungsmöglichkeiten für eine HV-Batterie: im Vorderwagen, unter der Fahrgastzelle oder im Hinterwagen. Die Position hat auch Einfluss auf die Fahrzeugausprägung – tiefe Sitzpositionen und flache Fahrzeuge mit einer HV-Batterie unter der Fahrgastzelle stehen beispielsweise zunächst im Widerspruch.

Dagegen bietet die elektrische Antriebsarchitektur größere Gestaltungsmöglichkeit, die Komponenten im vorhandenen Bauraum unterzubringen. Denkbar sind Mehrmotorenkonzepte in Vorder- und Hinterwagen bis hin zu Rad-einzelantrieben. Allerdings schwindet der Vorteil des prinzipiell kleineren Packmaßes von Elektromotoren bei Mehrfachverbauungen. Auch die Anforderungen an die funktionale Sicherheit werden größer, sodass die Regelungsaufwendungen steigen. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Hochvoltversorgung der Antriebe zusätzliche Herausforderungen mit sich bringt.

Batterie bestimmt Packagekonzept für Elektrofahrzeuge

Unter dem Strich ergibt sich für das Packagekonzept eines Elektrofahrzeugs, dass die neuen Komponenten und der gleichzeitige Entfall von konventionellen Bauteilen eine konzeptionelle Veränderung erfordern. Im Vordergrund steht dabei die Integration von Batteriesystemen. Durch das große Volumen und die technische Komplexität stellt dieser Integrationsprozess eine Kernanforderung im Bereich Package dar. In der Entwicklung wird dieser Anforderung oftmals auf Basis bereits etablierter, mit Verbrennungsmotor angetriebener Fahrzeuge nachgekommen.

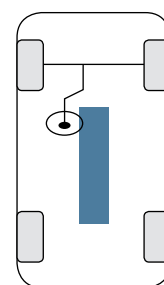
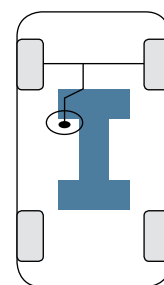
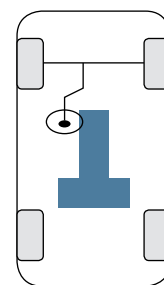
So wurde zum Beispiel der Porsche Boxster im Rahmen eines Forschungsprojekts zu einem vollelektrischen Boxster E umgebaut und angepasst. Dabei bot der Bereich, in dem bisher der Mittelmotor untergebracht war, einen eleganten Platz für eine HV-Batterie. Neben dem Volumen konnten durch das hohe Gewicht der Batterie eine ausgezeichnete Gewichtsverteilung sowie weitere sportwagentypische Eigenschaften wie die Karosserieform oder eine tiefe Sitzposition beibehalten werden.

Es hat sich allerdings auch herausgestellt, dass die auf zweisitzige Fahrzeuge zugeschnittene „Mittelbatterie“ nur schwer auf Kompaktfahrzeuge und Limousinen übertragbar ist. So haben sich für andere Fahrzeugtypen mittlerweile diverse variable Konzepte zur Unterbringung der HV-Batterie ergeben. Generell sind der Entwicklung keine Grenzen gesetzt, daher ist auch in Zukunft mit neuen, innovativen Ansätzen zu rechnen.

Die Herausforderung: eigenständiges Konzept für E-Fahrzeuge

Die übergeordnete Aufgabe in der nahen Zukunft besteht darin, ganzheitliche

Konzepte zu entwickeln, mit denen E-Fahrzeuge konventionell angetriebene Fahrzeuge adäquat ersetzen können. Dabei spielen modifizierte Packagekonzepte eine besonders prägende Rolle in Bezug auf das geänderte Gesamtkonzept in E-Fahrzeugen. So wird das Fahrzeugkonzept der Zukunft letztlich durch andere Komponenten im Package bestimmt – bei gleichbleibenden Anforderungen an das Maßkonzept. Ebenso sind Anpassungen durch die zunehmende Digitalisierung des Fahrzeugs erforderlich. Es ist also ersichtlich, dass sich durch die Einführung von elektrischen Fahrzeugen einiges im Fahrzeugkonzept verändern wird – aber eben doch nicht alles. ■



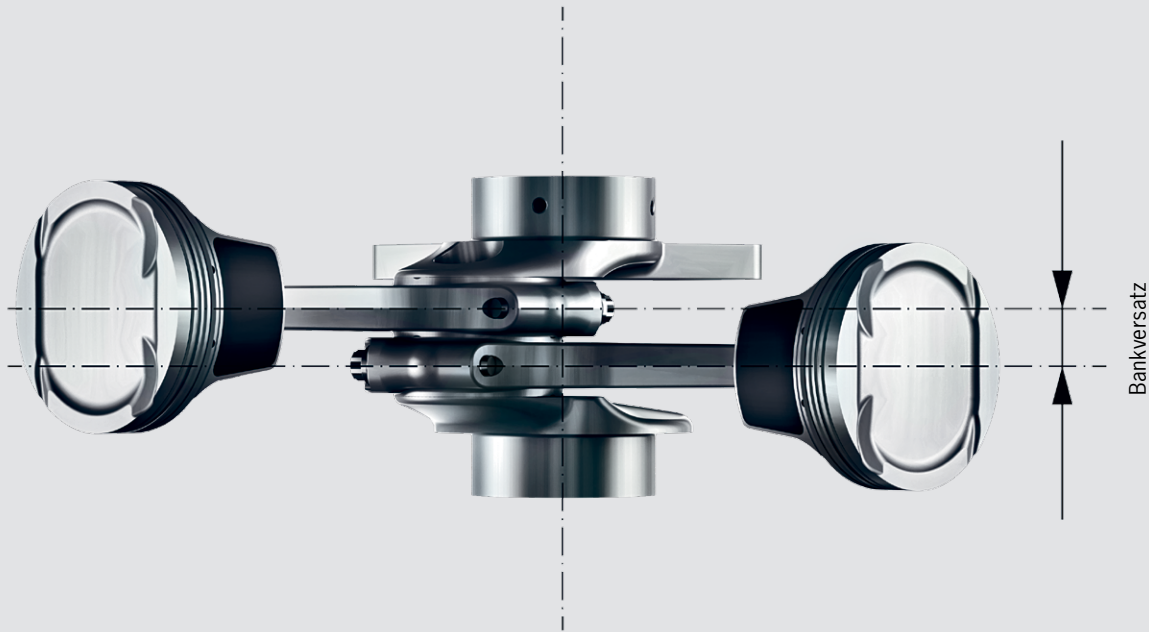
Konzeptvarianten für die Unterbringung der HV-Batterie

Hab' acht

Das Erfolgsmodell V8-Motor und seine Grundlagen

____ Leistungsstarke Achtzylindermotoren gehören seit Jahrzehnten genauso zu Porsche wie der traditionelle Sechszylinder-Boxer. Auch Porsche Engineering entwickelt unter anderem V8-Motoren – im Kundenauftrag. Warum dieser Motorentyp so gefragt ist, offenbaren die grundsätzlichen Zusammenhänge der Triebwerksarchitektur der V8-Maschine.

Von Matthias Penzel, Vincenzo Bevilacqua und Thomas Raab



Der Zylinderbankversatz entspricht beim klassischen V-Motor der Breite eines Pleuelfußes, der Bankversatz lässt sich aber auch durch die Verwendung ineinandergreifender Gabelpleuel vermeiden (z. B. bei Harley-Davidson).

Luxuslimousinen oder Sportwagen, SUVs oder Pick-up-Trucks – in all diesen Fahrzeugkategorien genießt der Achtzylinder-Verbrennungsmotor in V-Anordnung eine hervorragende Reputation. Je nach Anwendungsfall steht er für Luxus und Komfort oder Sportlichkeit und Emotion. Grund für die Beliebtheit des V8 gegenüber anderen Triebwerkskonfigurationen sind seine prinzipiellen Vorteile.

Der V8 ist nur unwesentlich länger als ein Reihenvierzylinder mit gleichem Zylinderabstand. Der geringe Mehrbedarf an Baulänge ergibt sich aus dem Versatz der beiden Zylinderbänke (siehe Abbildung auf der linken Seite). Somit ist der V8 auch für Hybridtriebstränge mit zusätzlicher E-Maschine am Kurbelwellenflansch interessant, wie das Beispiel Porsche 918 Spyder zeigt.

Die Aufteilung des Gesamthubraums in viele Einzelzylinder ergibt eine gleichmäßige Drehmomentabgabe und damit Laufruhe. Beim V8 im Viertaktverfahren sind es somit vier Krafthübe je Kurbelwellenumdrehung. Größere Zylinderzahlen bieten noch mehr Laufruhe und dadurch Komfort, haben aber durch eine größere Baulänge und ein höheres Aggregatgewicht Nachteile in der Fahrzeugarchitektur und der Achslastverteilung zur Folge. Bei Sportwagen zum Beispiel lässt sich dies durch eine Mittelmotoranordnung oder bei Frontmotoren durch konsequentes Einrücken eines Zehn- oder Zwölfzylindermotors zur Fahrzeugmitte hin bedingt kompensieren. Für Fahrer und Beifahrer bedeutet das allerdings räumliche Einschränkungen – was wiederum bei Luxuslimousinen kein gangbarer Weg ist. Hier geht die Motorbaulänge vollständig in die Längsgeometrie des Fahrzeugs ein, führt etwa beim V12-Motor zu einem längeren Radstand oder Überhang und somit zu Nachteilen in der Agilität des Fahrzeugs. Sonderbauformen wie der W12 kompensieren diesen Nachteil des klassischen V12, allerdings mit höherem technischem Aufwand. Der klassische V8 stellt also einen guten Kompromiss von geringem Bauraumbedarf bei einfacher Triebwerksarchitektur, hoher Leistungsdichte und hervorragender Laufruhe dar.

Die Grundlagen von V-Motoren

Klassische V-Motoren zeigen ein besonderes Merkmal: Die zwei Pleuelstangen des jeweils gegenüberliegenden Zylinderpaares laufen auf einem gemeinsamen Hubzapfen der Kurbelwelle (siehe Abbildung auf Seite 50 oben). Dabei spielt der Bankwinkel des V keine Rolle, denn auch bei einigen Motoren mit horizontal gegenüberliegenden Zylindern greifen zwei Pleuel auf einem gemeinsamen Hubzapfen an. Triebwerke wie die des Porsche 917 werden deshalb nicht den Boxer-

sondern den V-Motoren zugeordnet, dann allerdings mit 180 Grad Bankwinkel. Beim Boxermotor, wie er für den Porsche 911 charakteristisch ist, laufen die Pleuel der gegenüberliegenden Zylinderpaare dagegen auf separaten Hubzapfen, die gegeneinander um 180 Grad versetzt sind. Deshalb besitzt das Boxeraggregat in der modernen Architektur auch mehr Kurbelwellenhauptlager als der vergleichbare V-Motor. Die heute übliche Anzahl der Hauptlager ist

- > für V-Motoren = (Zylinderzahl : 2) + 1
- > für Boxermotoren = Zylinderzahl + 1

Daraus ergibt sich wiederum ein weiterer Unterschied im Versatz der beiden Zylinderbänke: Im V-Motor wird der Bankversatz durch die Breite des Pleuels bestimmt, beim Boxer beträgt er einen halben Zylinderabstand.

Bankwinkel

Der Bankwinkel des V-Motors beeinflusst die Motorhöhe und -breite sowie die Lage des Schwerpunkts in der Hochachse. Idealerweise wird er bei V-Motoren so gewählt, dass sich ein gleichmäßiger Zündabstand ergibt. Für den Viertakt-V8-Motor bedeutet das: 720 Grad Zyklenwinkel, also zwei Kurbelwellenumdrehungen für ein vollständiges Arbeitsspiel geteilt durch die Zylinderzahl 8, ergeben 90 Grad Bankwinkel oder ein ganzzahliges Vielfaches davon.

Derivat mit Kunstgriff: V6-Motor

Der nutzbare Bauraum (oder wenn Fahrzeugplattformen mit V-Motoren unterschiedlicher Zylinderzahl angeboten werden sollen) kann Abweichungen von dieser Regel erfordern. Ein Beispiel dafür ist der V6-Motor: Für eine regelmäßige Zündfolge benötigt dieser Viertaktsechszylindermotor einen Bankwinkel von 120 Grad, was mit einer unerwünscht großen Baubreite verbunden ist. Zusätzlich wird meist der Einbauraum von einer V8-Variante mit 90 Grad Bankwinkel vorgegeben. Folglich wird auch der V6 mit 90 Grad Bankwinkel ausgeführt. Zur Kompensierung der sich daraus ergebenden ungleichmäßigen Zündfolge bedient man sich eines Kunstgriffs: Der „falsche“ Bankwinkel wird durch einen zusätzlichen Versatz der Hubzapfenkröpfungen an der Kurbelwelle ausgeglichen. Dies erfordert sogenannte Split-Pin-Kurbelwellen oder sogar Einzelkröpfungen, sogenannte Flying Arms, mit einem Winkelversatz um den fehlenden Betrag (siehe Abbildungen auf Seite 50). Bei einem V6 mit einem Bankwinkel von 90 Grad beträgt dieser folglich 30 Grad. >

Gestaltung der Kurbelwelle

In der Grundauslegung eines V8-Motors haben die Konstrukteure einen weiteren wichtigen gestalterischen Spielraum: die Anordnung der Kurbelkröpfungen auf der Kurbelwelle. Diese beeinflusst entscheidend die prinzipielle Charakteristik des Triebwerks – sei es sportlich aggressiv oder mit komfortbetonter Laufruhe und Vibrationsfreiheit.

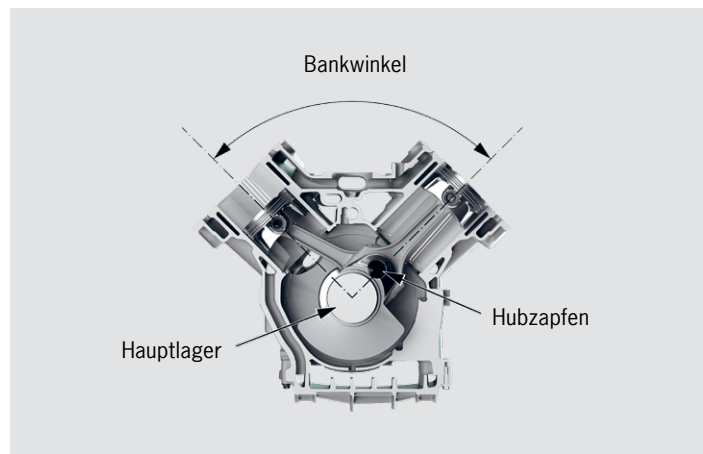
Die Entscheidung bezüglich der Anordnung der Kurbelkröpfungen orientiert sich am Spannungsfeld zwischen maximalem Leistungspotenzial und bestmöglichem Ausgleich der freien Massenkräfte und -momente. Aufgrund der kinematischen Kopplung im Kurbeltrieb entstehen die Massenkräfte aus der oszillierenden Bewegung von Kolben- und Pleuellmassen. Je nachdem, ob diese Massenkräfte ein- oder zweimal pro Kurbelwellenumdrehung entstehen – etwa durch die Kolbenbewegung auf- oder abwärts –, spricht man von Kräften erster oder zweiter Ordnung der Motordrehzahl. Ergibt sich für die freien Massenkräfte zudem noch ein Hebelarm in Bezug auf die Motormitte, entstehen daraus freie Massenmomente. Freie Massenkräfte und/oder -momente machen sich bei steigender Drehzahl in Form von zunehmenden Vibrationen bemerkbar, die gerade in der ersten und zweiten Ordnung als unangenehm empfunden werden und nur teilweise durch die Motorlager entkoppelbar sind.

Im Wesentlichen kommen in klassischen V8-Motoren daher zwei Kröpfungsvarianten vor: die „flache Kurbelwelle“, bei der alle Hubzapfen auf einer gemeinsamen Ebene liegen (Flat-Plane), und die „Kreuzwelle“, bei der die Hubzapfen der vier Zylinderpaare jeweils in einem Winkel von 90 Grad zueinander (Cross-Plane) stehen (siehe Abbildung auf Seite 51).

Emotionaler Klang: Cross-Plane-V8

Typisch für den Cross-Plane-V8-Motor ist der charakteristische Sound, geprägt durch das emotionale Mündungsgeräusch, oft auch als „Brabbeln“ bezeichnet. Was jedoch für Enthusiasten angenehm klingt, beeinflusst den Gasaustausch im Motor. Ein verlustarmer Ladungswechsel ist aber eine Grundvoraussetzung für die optimale Ausnutzung des Hubraums in puncto Zylinderfüllung und Liefergrad und damit des Leistungspotenzials. Grundsätzlich kann der Ladungswechsel durch zwei Effekte behindert werden:

- > Strömungswiderstände in Ein- und Auslassstrecke oder
- > unvollständiger Gasaustausch und damit eine Restgasmenge im Zylinder.



V-Motor mit 90-Grad-Bankwinkel



Split-Pin-Kurbelwelle V6 (a) und V6-Kurbelwelle mit Flying Arms (b)

Heißes Restabgas fördert zudem bei Ottomotoren die Neigung zu harter, explosionsartiger Verbrennung nach der Zündung, dem sogenannten Klopfen. Anhaltendes Klopfen führt unausweichlich zu Kolbenschäden. Um dies unter allen Umständen zu vermeiden, muss eine Klopfregelung entsprechend eingreifen – die Zündung kann damit aber nicht mehr zum thermodynamisch optimalen Zeitpunkt erfolgen, was zu entsprechenden Einbußen im thermischen Wirkungsgrad führt.

Ein V8-Motor mit Cross-Plane-Kurbelwelle weist dieses Restgasproblem in besonders ausgeprägter Form auf. Trotz der im

Allgemeinen gleichmäßigen Zündfolge beim Gesamtmotor mit 90-Grad-Bankwinkel verbleibt eine ungleichmäßige Zündfolge je Zylinderbank. Dabei zünden zwangsläufig immer zwei Zylinder einer Bank direkt nacheinander (90-Grad-Zündabstand). Konkret bedeutet das, dass der Auslass-Druck-Impuls des späteren Zylinders bereits erfolgt, wenn die Auslassventile des vorher gezündeten Zylinders noch offen stehen. Folglich wird Abgas in diesen Zylinder zurückgedrückt, wodurch die Qualität des Ladungswechsels leidet.

In der Praxis konnte dieser Nachteil bisher nur mit höherem Aufwand kompensiert werden: zum Beispiel durch entsprechend große Längen der einzelnen Abgaskrümmerröhre – hier liegen die Grenzen jedoch meist im Fahrzeug-Package – oder durch bankübergreifende Abgaskrümmerröhre für V-Motoren, bei denen die Auslassseite im V-Winkel liegt. Im Rahmen eines aktuellen V8-Motorenprojektes hat Porsche Engineering an dieser Stelle erstmals neue Wege beschritten. Mit spezifischen Steuerzeiten für jeden einzelnen Zylinder wird das Restgasproblem mit minimalem Aufwand eliminiert. Sowohl in der Simulation als auch am Motorprüfstand konnte dies eindrucksvoll nachgewiesen werden.

Der Cross-Plane-V8-Motor punktet dagegen traditionell im zweiten wichtigen Kriterium: Laufruhe und Vibrationsfreiheit. Bezüglich der freien Massenkräfte und -momente ist die Cross-Plane-Anordnung ideal. Zwar verbleibt ein freies Massenmoment erster Ordnung, dieses kann aber relativ einfach durch Ausgleichsmassen auf den äußeren Gegengewichten der Kurbelwelle kompensiert werden. So entsteht ein perfekter Ausgleich.

Der doppelte Vierzylinder: Flat-Plane-V8

Die Kurbelwelle für den Flat-Plane-V8-Motor sieht aus wie die eines Reihenvierzylinders – bis auf die breiten Hubzapfen, die beim V8 zwei Pleuel führen. Die Ähnlichkeit zum Vierzylinder kommt nicht von ungefähr: Der Flat-Plane-V8 verkör-

pert den initialen Gedanken, der zur Entwicklung von V8-Motoren führte, zwei Reihenvierzylinder in Winkelanordnung zu kombinieren. Daraus resultieren auch die grundsätzlichen Vor- und Nachteile dieser Konfiguration. Die freien Massenkräfte des Vierzylinders bleiben in der zweiten Ordnung erhalten und summieren sich in der V-Anordnung vektoriell. Der Ladungswechsel wird dagegen deutlich harmonischer. Die Zündung beim Flat-Plane-V8 springt von einer Zylinderbank zur nächsten, wodurch die Restgasproblematik des Cross-Plane-V8 entfällt. Aufgrund des gleichmäßig wechselseitigen Ausschlebens der Abgase ergibt sich aber auch ein völlig eigenständiger Motoren-sound, der nach eben zwei Reihenvierzylindern klingt – schrill und aggressiv. Aus der Summe dieser Eigenschaften qualifiziert sich der Flat-Plane-V8 mehrheitlich für den Einsatz in Hochleistungssportwagen wie etwa dem 918 Spyder.

Unterschiedliche Zündfolgen je nach Hersteller

Während der Zündabstand den Kurbelwellendrehwinkel angibt, der zwischen der Zündung zweier Zylinder zurückgelegt wird, definiert die Zündfolge die eindeutige Sequenz der Zylinder nacheinander. Bank- und Kröpfungswinkel lassen dabei als geometrisch fixe Größen nur bestimmte Reihenfolgen zu. Die jeweilige Anordnung definiert, welcher Kolben wann seinen oberen Totpunkt (OT) durchläuft. Zündfolgen von Flat- und Cross-Plane-Motoren unterscheiden sich deshalb prinzipiell. Moderne Flat-Plane-V8-Motoren feuern fast durchgängig in identischer Sequenz; bei den Cross-Plane-V8-Motoren sind es hingegen im Wesentlichen fünf herstellerspezifische Zündfolgen. Dabei ist bereits ein Umstand berücksichtigt, der leicht Verwirrung stiften kann: Weltweit gibt es unterschiedliche Definitionen, welcher Zylinder als erster gezählt wird und wie die weiteren Brennräume beziffert werden. Dadurch ergeben sich scheinbar andere Zündfolgen. Um diese Effekte der unterschiedlichen Zylinderzählung bereinigt, reduziert sich die Varianz der Zündfolgen verschiedener Hersteller deutlich. ➤



Cross-Plane-V8-Kurbelwelle



Flat-Plane-V8-Kurbelwelle

Beginnt man die Zündfolgenzählung stets mit Zylinder 1 nach DIN 73021, ergeben sich beim Flat-Plane-V8 theoretisch je Drehrichtung acht mögliche Zündfolgen. Beim Cross-Plane-Motor sind es 16, da hier die Winkellage der mittleren Hubzapfen austauschbar ist. Jedoch wird nicht jede theoretisch mögliche Zündfolge auch praktisch umgesetzt. Ziel ist stets der bestmögliche Kompromiss zwischen folgenden Kriterien:

- > Ladungswechsel
- > Beanspruchung der Kurbelwellenhauptlager
- > Schwingungsanregung des Kurbeltriebs durch Verformung der Kurbelwelle unter Last
- > Drehungleichförmigkeit

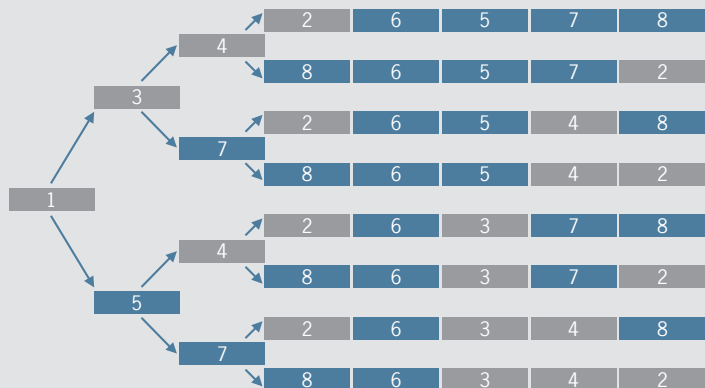
Porsche Engineering hat den Zielkonflikt der optimalen Zündfolge sowohl für Flat-Plane- als auch Cross-Plane-V8-Motoren eingehend analysiert. Flat-Plane-Motoren feuern nahezu alle gleich, wobei sich auch bei abweichender Reihen-

folge immer ein Banksprung verwirklichen lässt. Auch das Ergebnis für die Cross-Plane-Varianten überrascht nicht: Gerade mit Fokus auf die maximale Robustheit der Kurbelwellenlagerung ist die Zündfolge 1-3-7-2-6-5-4-8 die beste Wahl in der Summe der Eigenschaften – dies ist auch die Zündfolge aller Cross-Plane-V8-Motoren von Porsche seit dem 928. Dennoch haben auch die anderen ausgeführten Zündfolgen ihre Berechtigung, hier variieren die Schwerpunkte der Hersteller bei ihren Konzeptentscheidungen. Bei den Analyseergebnissen zeigt sich ein weiterer interessanter Punkt: Es gibt bestimmte Zündfolgen, die nie in der Realität umgesetzt wurden, aber ebenfalls eine sehr gute Ausgewogenheit in der Erfüllung der genannten Zielkriterien zeigen.

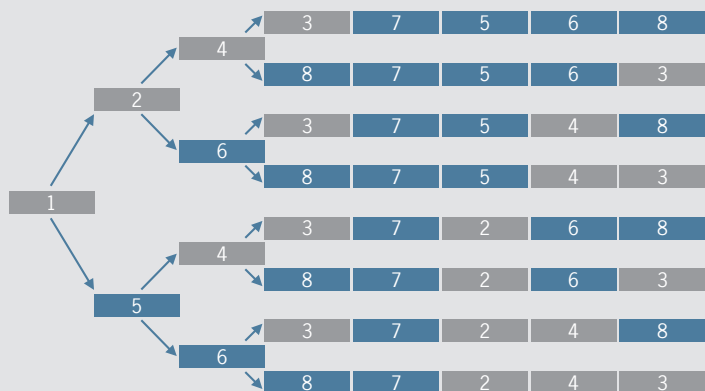
Fest steht in jedem Fall: Auch im Wettbewerb verschiedenster Antriebe für zukünftige Mobilitätskonzepte wird der V8 seinen festen Platz bei der Motorisierung hochwertiger Fahrzeuge behalten – nicht nur als Ikone, sondern aufgrund der Summe seiner technischen Eigenschaften. ■

■ Zylinderbank 1 ■ Zylinderbank 2

Kröpfungvariante 1



Kröpfungvariante 2



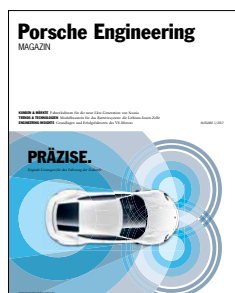
Theoretisch mögliche Zündfolgen für eine Drehrichtung beim Cross-Plane-V8

IMPRESSUM

Porsche Engineering

MAGAZIN

AUSGABE 1/2017



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

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.

REDAKTIONSLEITUNG

Frederic Damköhler

REDAKTION | KOORDINATION

Nadine Guhl

ANZEIGEN

Frederic Damköhler

GRAFISCHE GESTALTUNG

VISCHER & BERNET, Stuttgart

ÜBERSETZUNG

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

GESAMTHERSTELLUNG

Weng Druck GmbH, Dinkelsbühl



www.porsche-engineering.de

PORSCHE DESIGN

COMPUTING



PORSCHE DESIGN **BOOK ONE**
DESIGNED TO PERFORM



www.porsche-design-computing.de