Porsche Engineering
MAGAZIN

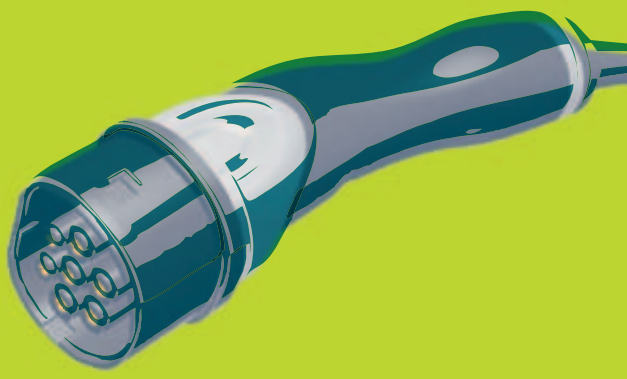
KUNDEN & MÄRKTE Porsche Engineering optimiert Krankabinen von Terex Cranes
PORSCHE HAUTNAH Sportwagen im kompakten SUV-Segment: der Porsche Macan
ENGINEERING INSIGHTS Vernetzte Welt durch Porsche Car Connect

AUSGABE 1/2014

www.porsche-engineering.de

Antriebe der Zukunft

BUNT



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

Die größten Erfindungen wurden in Garagen gemacht.
Ein Erfolgsrezept, dem wir treu geblieben sind.

Porsche Engineering
driving technologies

PORSCHE

918 Spyder: Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 3,1–3,0; CO_2-Emissionen 72–70 g/km; Stromverbrauch 12,7 kWh/100 km

Malte Radmann und Dirk Lappe,
Geschäftsführer von Porsche Engineering

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

_____ wie werden wir uns wohl in Zukunft fortbewegen? Und mithilfe welcher Energieträger? Und wo kommt deren Energie her? Unsere Antwort auf diese Fragen: Die Lösung wird *bunt* sein. Es wird in Zukunft nicht die eine ideale Antriebsart geben, sondern vielfältige und im Einzelnen passgenaue Lösungen.

Die Erzeugung von Elektrizität und Kraftstoffen wird zunehmend CO_2-neutral erfolgen. Wir werden uns mit einem Mix unterschiedlicher Antriebsarten und Energieträger bewegen – ob mit Brennstoffzelle, Batterie, Plug-in-Hybrid, Hybrid oder mit optimiertem Verbrennungsmotor –, und schaffen somit Schritt für Schritt CO_2-neutrale und nachhaltige Formen der Mobilität.

So viel zur vermeintlich einfachen Theorie. Und die Praxis? Zeigen wir Ihnen in diesem Heft: zum Beispiel unsere Expertise zur Auslegung und Simulation von E-Antrieben. „Elektrifiziert“ werden Sie durch unseren Artikel über die Erprobung am E-Maschinen-Prüfstand. Wer über Antriebe der Zukunft spricht, kommt am Porsche 918 Spyder nicht vorbei. Der Supersportwagen verbindet die Vorteile eines konventionellen Antriebs mit denen eines rein elektrischen Konzepts, wie es kein anderer seiner Klasse bislang geschafft hat. Wie schließlich die moderne Verbindung zwischen Fahrzeug und Fahrer funktioniert und wie sich der zugehörige Entwicklungsprozess gestaltet, wird im Artikel „Vernetzte Welt“ erläutert.

Antriebe der Zukunft bewegen uns und lassen uns an innovativen Mobilitätskonzepten arbeiten. Daraus resultiert eine bunte Vielfalt an Lösungen für eine mobile Zukunft, die den hohen Anspruch an Ökologie und Nachhaltigkeit erfüllen.

Wir sind dabei. Und Sie?

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

Ihr Malte Radmann und Ihr Dirk Lappe

Über Porsche Engineering

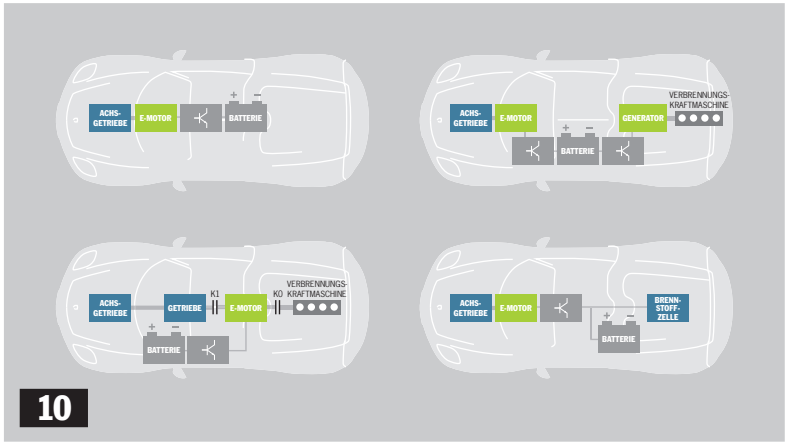
Zukunftsweisende Lösungen sind der Anspruch, den Ferdinand Porsche bereits im Jahr 1931 mit der Gründung seines Konstruktionsbüros verfolgt hat. Er legte damit den Grundstein für die heutige Porsche-Kundenentwicklung. Dem fühlen wir uns mit jedem Projekt, welches wir für unsere Kunden durchführen, verpflichtet.

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.

918 SPYDER: Kraftstoffverbrauch kombiniert 3,1 – 3,0 l/100 km; CO_2-Emission 72 – 70 g/km; Elektrischer Energieverbrauch (kombiniert): 12,7 kWh/100 km

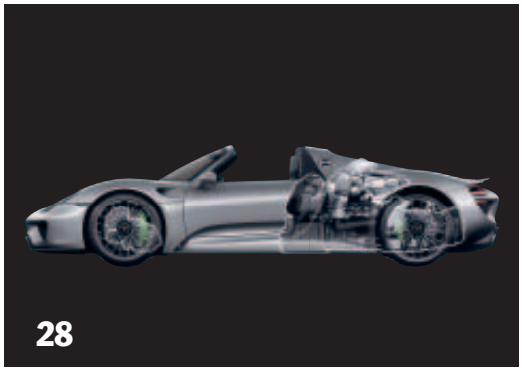
FREMDES TERRAIN

Wenn Baumaschinen von Porsche-Entwicklungen profitieren: Optimierte Krankabinen von Terex Cranes



10

22


28

38

44

ANTRIEBE DER ZUKUNFT

10 Identifiziert
Funktionsweise und Besonderheiten von E-Maschinen

16 Optimiert
Mit Simulation zum idealen elektrischen Antrieb

22 Elektrifiziert
Die Praxis der E-Maschinen-Erprobung

28 Porsche 918 Sypder
Zukunftsantriebe zu Ende gedacht

KUNDEN & MÄRKTE

32 Fremdes Terrain
Porsche Engineering optimiert Krankabinen von Terex Cranes

PORSCHE HAUTNAH

38 Sportlicher Alleskönner
Der neue Porsche Macan

ENGINEERING INSIGHTS

44 Vernetzte Welt
Fahrer und Fahrzeug – immer in Verbindung

03 Editorial
06 News
52 Impressum

PANAMERA S E-HYBRID: Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 3,1: CO_2-Emissionen 71 g/km; Stromverbrauch 16,2 kWh/100 km; Effizienzklasse DE/CH A+/A

MACAN: Kraftstoffverbrauch kombiniert 9,2–6,1 l/100 km; CO_2-Emission 216–159 g/km

918 SPYDER: Kraftstoffverbrauch kombiniert 3,1–3,0 l/100 km; CO_2-Emission 72–70 g/km; Elektrischer Energieverbrauch (kombiniert): 12,7 kWh/100 km

News

TECHNISCHE UNIVERSITÄT IN PRAG WÜRDIGT ZUSAMMENARBEIT

___ Die Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität (CTU) in Prag hat Porsche Engineering für die erfolgreiche Kooperation zwischen Forschung und Wirtschaft ausgezeichnet. Im Rahmen einer festlichen Versammlung wurde Malte Radmann, Geschäftsführer der Porsche Engineering Group GmbH, die Ehrenmedaille der Fakultät überreicht. Christoph Gümbel, Vorsitzender des Gesellschafterausschusses der Porsche Engineering Services, s.r.o. Prag, erhielt die Prof.-Hýbl-Medaille, benannt nach einem ehemaligen, besonders renommierten CTU-Professor. Auch Dr.-Ing. Miloš Polášek, Geschäftsführer der Porsche Engineering Services, s.r.o. in Prag wurde eine Fakultätsmedaille verliehen. Durch die seit 1996 bestehende Zusammenarbeit hat Porsche Engineering nachhaltig zur Weiterentwicklung der Universität beigetragen. Der Fokus der Zusammenarbeit liegt auf Forschungs- und Entwicklungsprojekten für die Automobilindustrie. ■

Malte Radmann, Geschäftsführer der Porsche Engineering Group GmbH, bekommt die Ehrenmedaille der Fakultät für Maschinenbau überreicht.

News

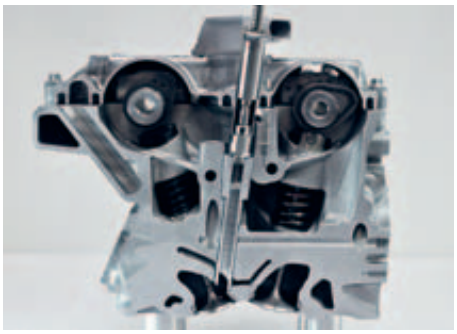
MERCEDES-BENZ LÄSST REKORDFAHRT VON 1983 IN NARDÒ REVUE PASSIEREN

KUNDENEVENT

___ Dass auf der Teststrecke des Nardò Technical Centers schon einige Rekordfahrten Geschichte geschrieben haben, ist kein Geheimnis. Einen dieser Meilensteine setzte der Mercedes-Benz 190 E 2.3-16 im August 1983. In nur 201 Stunden, 39 Minuten und 43 Sekunden legte der Vorgänger der heutigen C-Klasse damals eine Distanz von 50 000 Kilometern auf der 12,6 Kilometer langen Ringstrecke zurück – ein Weltrekord. Zum 30. Jahrestag dieses Ereignisses schickte Mercedes-Benz eines seiner drei originalen Weltrekordfahrzeuge zurück auf das Testgelände in Süditalien. Zusammen mit den Schöpfern und Zeitzeugen des damaligen Rekords erhielten rund 25 Journalisten die Gelegenheit, Ausstellungsfahrzeuge zu bewundern und den „Baby-Benz“ am Ort seines beachtlichen Erfolgs auszuprobieren und zu erleben – ein Event der ganz besonderen Art. ■

BERÜHRUNGSLOSE TEMPERATURMESSUNG VON MOTORKOMPONENTEN

NEUE MESSMETHODIK



___ Mit der berührungslosen Temperaturmessung bietet Porsche Engineering ein neues Verfahren zur Untersuchung von hoch belasteten Motorkomponenten. Diese Messmethodik ermöglicht die transiente Funktionsuntersuchung von thermisch und mechanisch sehr beanspruchten Motorventilen, bei der in Echtzeit unterschiedliche Einflüsse etwa von Geometrien, Werkstoffen oder Umgebungsbedingungen auf die lokale Bauteiltemperatur untersucht werden. Ebenso wird unmittelbar der Einfluss verschiedener Applikationsstände der Motorsteuerung analysiert und bewertet. Die Messungen erfolgen hochfrequent und eignen sich für den Prüfstand und die Erprobung im Fahrzeug. Im Rahmen der Teilnahme am Aachener Kolloquium in Peking im Herbst letzten Jahres wurde diese Messmethodik potenziellen Kunden erstmals vorgestellt, sie erhielt großen Zuspruch. ■

PORSCHE ENGINEERING UNTERSTÜTZT GREENTEAM DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NACHWUCHSFÖRDERUNG

___ Das GreenTeam, eine Gruppe von ambitionierten Studenten der Universität Stuttgart, tüftelt jährlich aufs Neue an einem eigenen vollelektrischen E-Rennwagen, um sich bei internationalen Formula-Student-Wettbewerben mit anderen Hochschülern zu messen. Durch Partnerschaften mit Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft werden die Entwicklungstätigkeiten des Teams aktiv gefördert. Bereits seit 2011 ist Porsche Engineering offizieller Sponsor und unterstützt das GreenTeam bei den laufenden Entwicklungsaufgaben mit wertvollem Wissen und Erfahrungen aus der Praxis. Ebenso stehen dem Team die Porsche-Engineering-Prüfstände für Testzwecke zur Verfügung, um den rein elektrischen Antrieb des Rennwagens kontinuierlich weiterzuentwickeln und beste Voraussetzungen für eine erfolgreiche Rennsaison zu schaffen. ■

Antriebe der Zukunft

____ Bunt. So wird die Welt der Antriebe in Zukunft aussehen. Eine CO_2-neutrale Mobilität ist das auf lange Sicht übergeordnete Ziel. Um dieses zu erreichen, ist ein ausgewogener Mix aus Antriebsarten und Energieträgern notwendig: alle Varianten werden stetig weiterentwickelt – seien es Batterie, Plug-In-Hybrid, Hybrid, Brennstoffzelle oder Verbrennungsmotor.

Hierbei berücksichtigen wir geltende Vorgaben und Einflussfaktoren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Und nicht nur das – allem voran steht unser eigener Anspruch nach kontinuierlicher Verbesserung und Weiterentwicklung. So gestalten wir Zukunft.

Wie wir das machen? Das erklären wir Ihnen unter anderem in den Beiträgen „Identifiziert“, „Optimiert“ und „Elektrifiziert“. Erfahren Sie mehr über theoretische Grundlagen, Besonderheiten sowie den Auslegungsprozess und das Testing von E-Maschinen. Anhand des Porsche 918 Spyder wird schließlich deutlich, wie Verbrenner und E-Maschine auf höchstem Leistungsniveau effizient harmonieren.

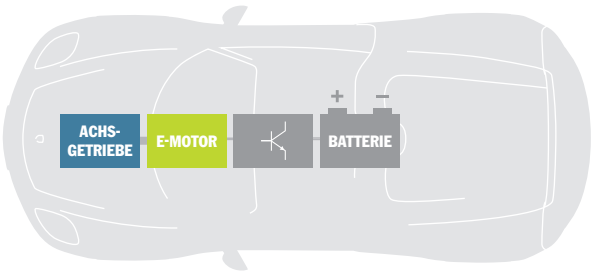
Es bleibt spannend in der Antriebswelt – wir dürfen optimistisch in eine bunte Zukunft blicken!

IDENTIFIZIERT

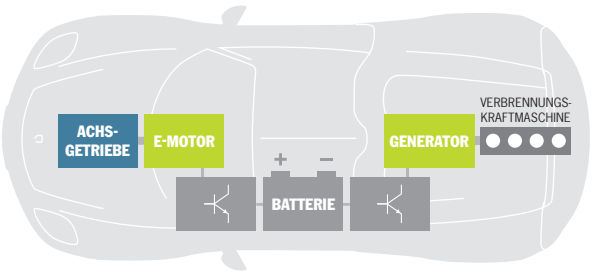
E-Maschinen – das Herz des elektrischen Antriebsstrangs

____ Bei der Betrachtung zukünftiger Antriebstechnologien spielt die Elektromobilität eine entscheidende Rolle: Nach und nach verlässt sie ihr Nischendasein und wird erfahrbare Realität – eine Herausforderung für etablierte Automobilhersteller. Die damit einhergehenden Veränderungen in der Automobilentwicklung erfordern den Umgang mit oftmals ungewohnten Technologien. Mit diesem Artikel stellen wir die theoretischen Grundlagen von E-Maschinen sowie deren Relevanz für die Funktionsweise zukünftiger Antriebssysteme vor.

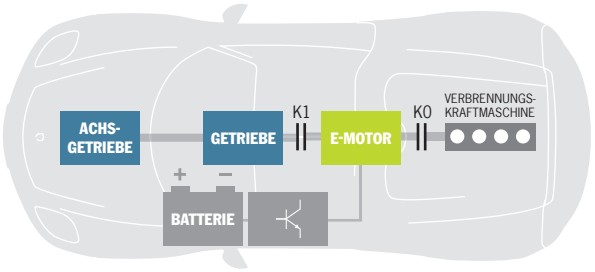
Text: Dr. Malte Jaensch



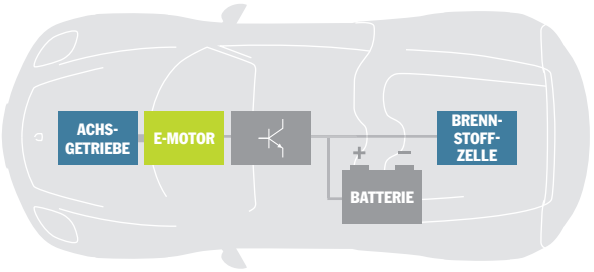
BATTERIEELEKTRISCHES FAHRZEUG



SERIELLES HYBRIDFAHRZEUG



PARALLELES HYBRIDFAHRZEUG



BRENNSTOFFZELLEN-FAHRZEUG

Topologien elektrischer Antriebssysteme

Vor über 150 Jahren setzte James Clerk Maxwell mit der Formulierung seiner nach ihm benannten Gleichungen (siehe unten) einen Meilenstein in der Entwicklung elektrischer Maschinen. Diese Gleichungen spiegeln ein trügerisches Bild von Simplizität wider. Eine Maschine mit nur einem bewegten Teil, dem Rotor, beschrieben mit einigen kurzen Gleichungen, scheint überschaubar einfach. Bei näherer Betrachtung erweisen sich elektrische Maschinen jedoch als überraschend komplex und vielschichtig.

Arbeitsweise

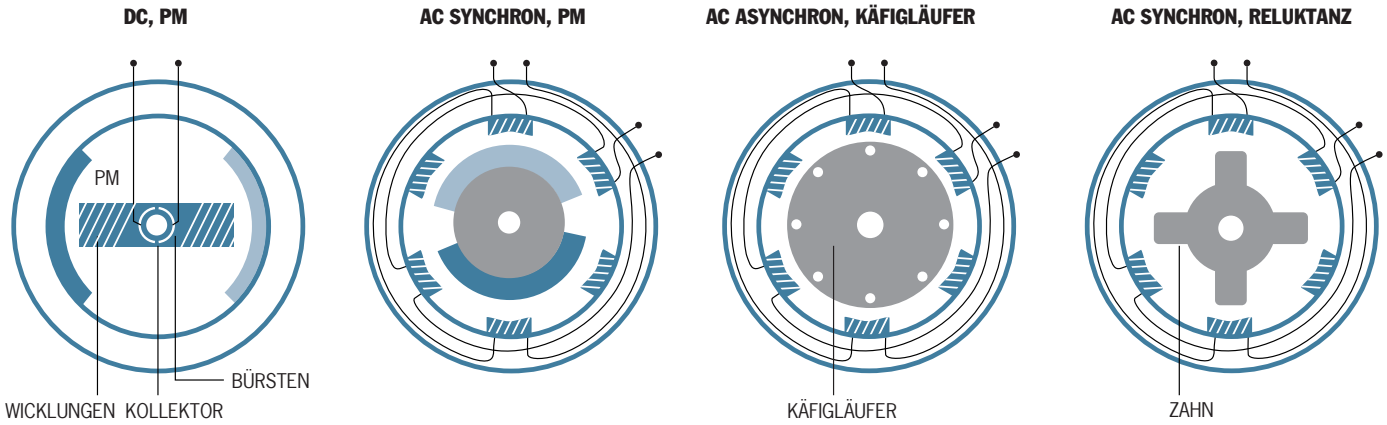
In einem E-Fahrzeug sind E-Motoren stets Teil eines größeren Systems, des elektrischen Antriebsstranges. Batterieelektrische Fahrzeuge haben den einfachsten Antriebsstrang: eine Hochvolt-Batterie liefert DC-Leistung, also Gleichstrom, welche von einem Frequenzumrichter in dreiphasige AC-Leistung, das heißt Wechselstrom, umgewandelt wird. Der E-Motor konvertiert diese elektrische Leistung nun in mechanische Leistung, also Drehmoment und Drehzahl. Dagegen weisen Hybrid- und Brennstoffzellen-Fahrzeuge oft erheblich komplexere Topologien auf (Abbildung linke Seite).

Die meisten elektrischen Maschinen nutzen die Interaktion zweier elektromagnetischer Felder, um Drehmoment zu erzeugen. Hierbei wird mindestens eines der beiden Felder durch den vom Umrichter gespeisten elektrischen Strom aufgebaut. Das andere Feld kann je nach Motorentyp durch Permanentmagnete (PM), induzierte Ströme oder ›

E ELEKTRISCHES FELD
ρ LADUNGSDICHTE
ε_0 VAKUUMPERMITTIVITÄT
B FLUSSDICHTE
μ_0 VAKUUMPERMEABILITÄT
t ZEIT
J STROMDICHTE

Gaußsches Gesetz	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$	Beschreibt den Zusammenhang zwischen dem elektrischen Feld und der Ladung
Gaußsches Gesetz für Magnetfelder	$\nabla \cdot B = 0$	Magnetische Feldlinien haben keinen Anfang und kein Ende, es gibt keine Monopole
Faradaysches Induktionsgesetz	$\nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t}$	Wechselnde Magnetfelder können Spannung induzieren, wie im E-Generator
Ampèresches Gesetz	$\nabla \times B = \mu_0 J$	Elektrische Ströme können Magnetfelder erzeugen, wie im E-Motor

Die Maxwell-Gleichungen



Funktionsprinzip eines E-Motors

eine zweite Stromquelle erzeugt werden (siehe Abbildung oben).

Eine der nützlichsten Eigenschaften elektrischer Maschinen ist, dass die Leistungsumwandlung reversibel verläuft. Als Generator verwendet, wandelt eine E-Maschine mechanische Leistung in elektrische Leistung, als Motor elektrische Leistung in mechanische. Diese Eigenschaft wird zum Beispiel beim rekuperierenden Bremsen ausgenutzt, um die kinetische Energie des Fahrzeugs zurück in die Batterie zu speisen.

Überlast

Im Gegensatz zum konventionellen Verbrennungsmotor ist die Leistungsabgabe von E-Motoren stark situationsabhängig. So kann der E-Motor kurzzeitig überladen werden und sehr hohe Leistungen bereitstellen. Somit wird eine erste Unterscheidung zwischen „S1“-Dauerleistung und kurzzeitiger Spitzenleistung erforderlich.

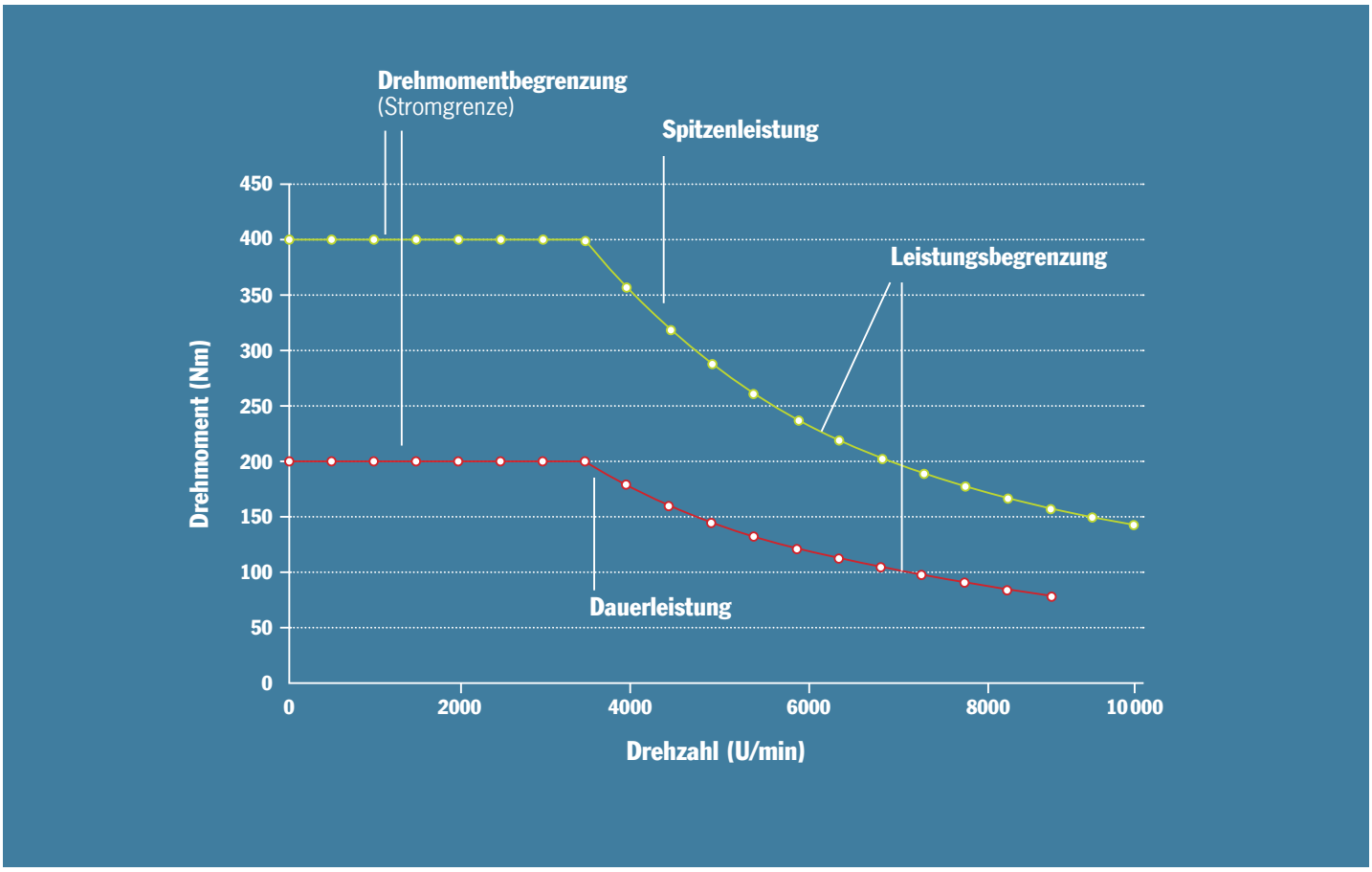
In bestimmten Fahrsituationen, wie zum Beispiel bergauf oder bei hoher Geschwindigkeit, ist Dauerleistung gefragt. In anderen Fahrzuständen, wie dem Erklimmen eines Bordsteins oder beim Überholen, ist Spitzenleistung wichtig. Je nach Maschinentyp kann die Spitzenleistung dem bis zu Fünffachen der Dauerleistung entsprechen. Dieser „turboboost“ trägt damit maßgeblich zum ungewöhnlichen Fahrverhalten von E-Fahrzeugen bei.

Unter Überlast steigt die Temperatur der stromführenden Kupferleitungen im E-Motor rapide an. Rechtzeitig vor dem Erreichen der Grenztemperatur muss die Leistung verringert werden, um die Maschine nicht zu beschädigen. Abgesehen von dieser zeitlichen Dimension beeinflussen noch weitere Faktoren wie Batteriespannung und Kühlmitteltemperatur das Überlastverhalten der Maschine. Diese vieldimensionale Leistungscharakteristik widersetzt sich unweigerlich der einfachen Darstellung, sei es auf einem Datenblatt oder als Teil eines Simulationsmodells.

Drehmoment-Drehzahl-Kurven

Wie bei Verbrennungskraftmaschinen (VKM) erweisen sich Drehmoment-Drehzahl-Kurven als nützliche Werkzeuge bei der Beschreibung des Verhaltens von E-Motoren (siehe Schaubild rechts oben). Die Drehmoment-Drehzahl-Kurven elektrischer Maschinen teilen typischerweise folgendes Merkmal:

Bis zu einer gewissen Drehzahl, der Eckdrehzahl, ist das Drehmoment in etwa konstant und die Leistung steigt linear.



Drehmoment-Drehzahl-Kurve

Jenseits der Eckdrehzahl nimmt das Drehmoment ab und die Leistung ist in etwa konstant. In diesem Bereich konstanter Leistung darf die Klemmenspannung des Motors nicht weiter linear mit der Drehzahl ansteigen, sie wird „künstlich“ niedrig gehalten. Das erfolgt durch eine bewusste Schwächung eines der beiden elektromagnetischen Felder innerhalb der Maschine. Diese Feldschwächung kann durch eine Phasenverschiebung des vom Umrichter gespeisten AC-Stromes erzeugt werden. Als Konsequenz daraus produziert ein Teil des Stromes dann jedoch kein Drehmoment mehr und das Drehmoment nimmt ab.

Die ersichtlich werdende Komplexität impliziert auch zunehmend hohe Anforderungen an die Vermessung, Validierung und Zertifizierung von E-Motoren. Durch den 250-kW-E-Maschinenprüfstand (siehe hierzu auch den Artikel „Elektrifiziert“ ab Seite 22) überprüft Porsche Engineering E-Maschinen im Kundenauftrag.

Grenzbedingungen (Limits)

Die momentan bereitstehende Leistung wird von einer Reihe Faktoren begrenzt: Die Temperatur des Strom führenden Kupferdrahtes ist durch die notwendige Beschichtung mit isolierenden Lacken auf typischerweise 140 bis 200 °C begrenzt. Da die Temperatur stark mit dem Strom korreliert, wirkt sich so die Kupfertemperatur auf den maximal möglichen Eingangsstrom aus.

Wenn Permanentmagnete Verwendung finden, wie es bei den meisten Fahrzeugantrieben der Fall ist, ergeben sich weitere Limitationen für die darstellbare Leistung des E-Motors. Moderne Neodym-Eisen-Bor-Magnete haben eine Temperaturfestigkeit von bis zu 220 °C. Wenn diese Grenze überschritten wird, können die Magnete unter Umständen sehr schnell demagnetisiert werden, irreversible Leistungseinbußen sind die Folge. Magneterwärmung ist ein komplexes, schwer verständliches Phänomen, beeinflusst unter anderem von Drehzahl, Batteriespannung und der Höhe und spektralen Zusammensetzung des vom Umrichter erzeugten AC-Stromes.

Da Magneterwärmung nicht nur schwer zu beschreiben, sondern auch schwer zu messen ist, sind entsprechende Modelle oft komplex und dennoch unscharf. Es ergibt sich, dass es hochintegrierter Simulationsmodelle bedarf, um das Verhalten des elektrischen Antriebssystems innerhalb des Fahrzeugsystems abbilden zu können, wie im nächsten Beitrag („Optimiert“) beschrieben.

Zusätzlich zu den besprochenen thermischen Grenzbedingungen existieren ›

die allgemeinen gültigen Grenzen für rotierende Maschinen. So wird die maximale Drehzahl durch die mechanische Festigkeit des Rotors und die verwendeten Wälzlager begrenzt. Zu jeder Zeit ist die verfügbare Motorleistung auf das begrenzt, was die Batterie und der Umrichter liefern können, abzüglich im Motor auftretender Verluste.

(A)Synchron

Von der großen Anzahl verschiedenster E-Motoren-Typen, die am Markt existieren, werden nur sehr wenige als Antriebsmaschinen im Automobilbau verwendet. Sehr häufig eingesetzt werden permanentmagneterregte Synchronmaschinen (PSM). Das Wort synchron beschreibt hier die Eigenschaft, dass der Rotor sich mit dem vom eingespeisten Strom erzeugten elektromagnetischen Feld mitdreht. Maschinen dieses Typs weisen relativ hohe spezifische Drehmomente und Leistungen sowie eine hohe Effizienz auf.

Der Rotor einer PSM kann entweder außerhalb oder innerhalb des Stators angeordnet sein. Ein Beispiel für eine Maschine mit internem Rotor ist die Vorderachs-Antriebsmaschine des 918 Spyder (siehe Seite 28). PSM mit externem Rotor haben durch den größeren Hebelarm ein erhöhtes spezifisches Drehmoment, sodass sie kürzer gebaut werden können. Maschinen dieser Art werden bei Parallelhybriden oft als integrierte Einheiten zwischen VKM und Getriebe gesetzt, wie zum Beispiel bei dem neuen Panamera S E-Hybrid.

Im Gegensatz zu PSM haben Asynchronmaschinen (ASM) keine Permanentmagnete auf dem Rotor. Drehmoment wird erzeugt durch die Reaktion zwischen dem elektromagnetischen Feld des Stators, hervorgerufen von dem eingespeisten AC-Strom, und einem durch Induktion erzeugten Rotorfeld. Rotor und Statorfeld drehen nicht mit der gleichen Drehzahl, daher der Zusatz „asynchron“. Denn gemäß dem Faradayschen Induktionsgesetz kann das Rotorfeld nur induziert werden, wenn es relative Bewegung, also Schlupf, zwischen Statorfeld und Rotor gibt.

ASM werden als sehr robust und kostengünstig angesehen, besonders im Vergleich zu PSM, welche aufgrund der für die Magnete benötigten seltenen Erden hohe Produktionskosten aufweisen. Leider sind bei vergleichbarer Leistung ASM generell ineffizienter und erheblich schwerer als PSM.

Fazit

Hochleistungselektromotoren für moderne elektrische Fahrzeugantriebe sind hochkomplexe mechatronische Systeme, trotz ihres scheinbar einfachen Aufbaus und ihrer eleganten mathematischen Beschreibung. Ein Verständnis der elektromagnetischen, thermischen und mechanisch-physikalischen Vorgänge im E-Motor ist somit essenziell für eine optimale Integration in jedes Antriebs- und Fahrzeugsystem.

Von den zahlreichen Elektromotorenherstellern werden verschiedenste Motorentypen und Bauformen angeboten, mit idiosynkratischen Vor- und Nachteilen. Die anforderungsgerechte Auswahl, Konfigurierung und Parametrierung einer E-Maschine erfordert den koordinierten Einsatz von Computermodellen und Messungen am Maschinenprüfstand.

Die zunehmende politische und wirtschaftliche Bedeutung der elektrischen

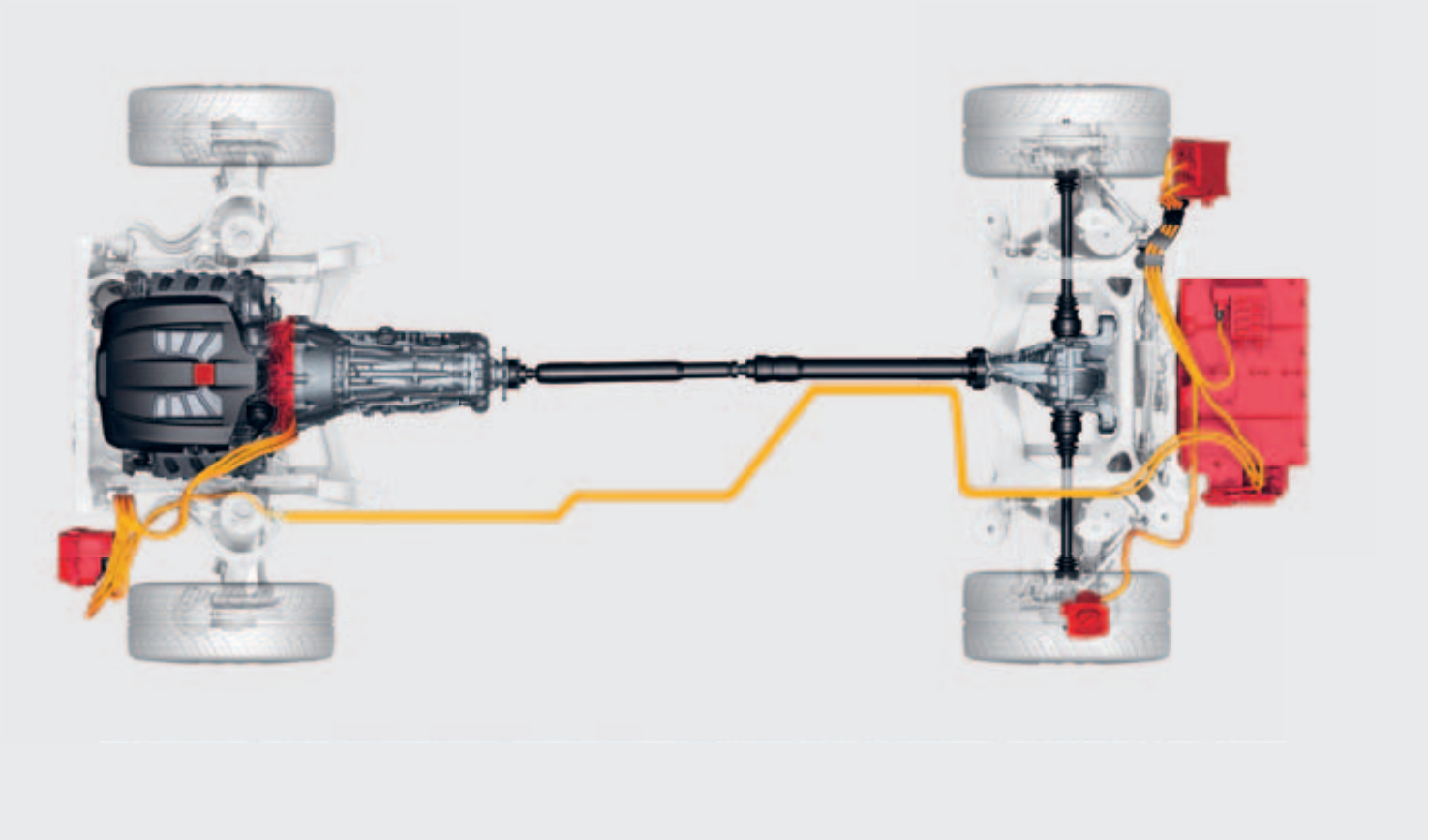
Hybrid-Antriebssystem im Panamera S E-Hybrid

Das nahtlose Zusammenspiel von Verbrennungsmotor und Elektromotor bildet ein Antriebskonzept, das hohe Performance mit hoher Effizienz vereint. Die neue Lithium-Ionen-Batterie kann am externen Stromnetz über den Fahrzeugladeanschluss geladen werden. Der leistungs- und drehmomentstarke Elektroantrieb stellt eine adäquate elektrische Performance sicher. Die Motoren sind weiterhin mechanisch direkt mit den Achsen verbunden, sodass die Porsche-typische Leistung jederzeit abgerufen werden kann: über den Verbrennungsmotor oder besonders sportlich gemeinsam über beide Antriebe – das sogenannte Boosten.

Mobilität zwingt die etablierten Automobilhersteller, zeitnah neue Produkte zu entwickeln für einen wirtschaftlich und technologisch anspruchsvollen sowie sehr dynamischen Markt. Porsche Engineering steht bereit, die entstehenden Herausforderungen anzunehmen und zusammen mit unseren Kunden die Technologien der Zukunft zu bewegen. ■

PANAMERA S E-HYBRID: Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 3,1: CO_2-Emissionen 71 g/km; Stromverbrauch 16,2 kWh/100 km; Effizienzklasse DE/CH A+/A

Der Panamera S E-Hybrid: zukunftsorientiert



Hybrid-Antriebssystem im Panamera S E-Hybrid

OPTIMIERT

Konzeption und Auslegung des optimalen elektrischen Antriebs

____ Die effektive Gestaltung von elektrischen Antriebssträngen steht heute mehr denn je im Fokus bei der Fahrzeugentwicklung. Porsche Engineering beschäftigt sich deshalb unter anderem mit umfassenden Simulationen in vielen Bereichen der Elektromobilität.

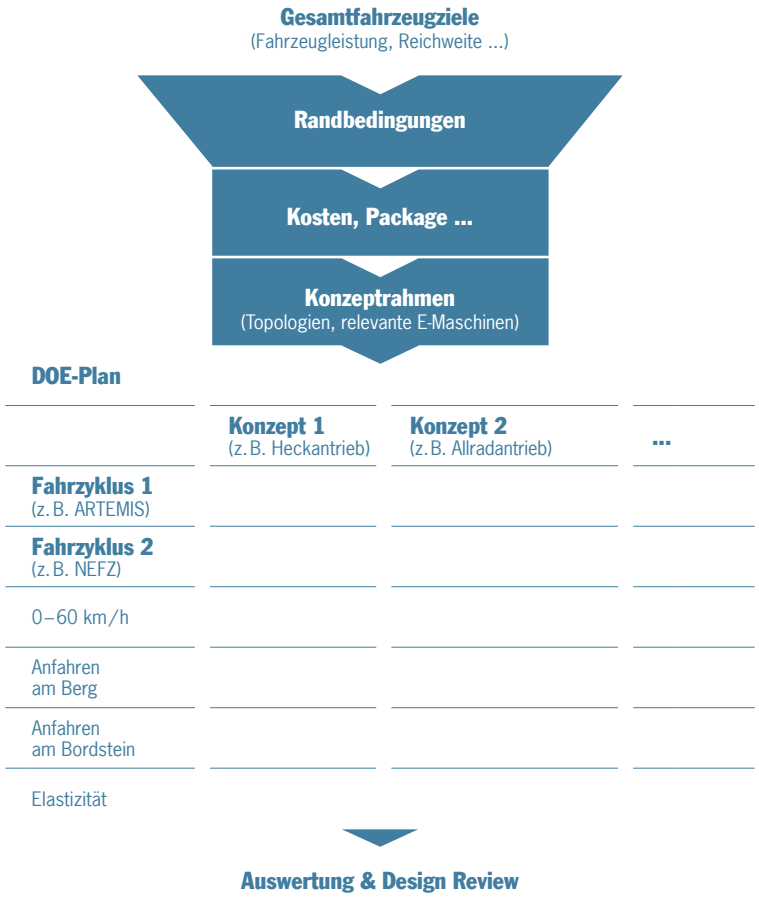
Text: Adam Barák, Thorsten Böger, Torsten Dünninghaus, Thomas Sadorf

Bei der Entwicklung von Fahrzeugen mit elektrischem Antrieb ist die Konzeption und Auslegung des Antriebsstranges eine zentrale Aufgabe. Hierbei gilt es, die Anforderungen aus dem Lastenheft fest im Fokus zu behalten und gleichzeitig die Komponenten E-Maschine, Leistungselektronik, Traktionsbatterie und Getriebe ideal aufeinander abzustimmen.

Die zur Diskussion stehenden Fahrzeugkonzepte werden häufig von externen Randbedingungen stark eingeschränkt. So lässt der zur Verfügung stehende Bauraum beispielsweise nur eine bestimmte Motor-Getriebe-Kombination zu, Achsabstände limitieren maximale Gangübersetzungen und der Einsatz von mehrstufigen Getrieben und Kupplungen ist nicht möglich.

Ein weiterer limitierender Faktor sind die späteren Produktionskosten, die möglicherweise von vornherein dem Einsatz wirkungsgradoptimaler PSM-Konzepte (permanenterregte Synchronmotoren) entgegenstehen. Auch Konzepte mit mehreren Gängen, Kupplungen oder mehreren Motoren können so von vornherein ausscheiden. Nicht zu vergessen sei an dieser Stelle auch der Zeitfaktor, denn bei Projekten mit hohem Innovationsgrad spielt die zur Verfügung stehende Zeit eine wichtige Rolle. All dies führt zu der Frage, in welcher Weise die vorhandenen Ressourcen eingesetzt werden müssen, um den bestmöglichen Antrieb ins Fahrzeug zu bringen.

Neben projektspezifischen Randbedingungen in Bezug auf Package und Budget stehen vor allem Ziele an die Fahrleistungen, den Verbrauch und die Reichweite an erster Stelle. Die wichtigsten Manöver, um die Fahrleistung zu bestimmen, sind die Vollastbeschleunigung von null bis 100 km/h und das Anfahren am Berg und am Bordstein. Die Auslegung für den Verbrauch und die Reichweite richtet sich nach zielmarktspezifischen Randbedingungen, gesetzlichen Vorgaben (in der EU zum Beispiel der Neue Europäische Fahrzyklus – NEFZ) und den Kundenanforderungen an das Fahrzeug wie beispielsweise die Ermittlung eines kundennahen Verbrauchs im CADC (Common Artemis Driving Cycles).

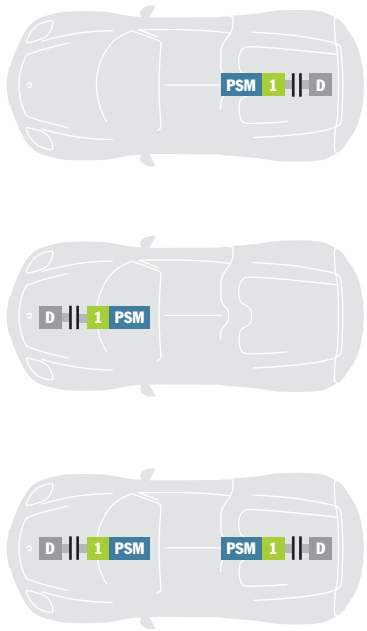


Entscheidungsablauf für eine effektive Antriebsgestaltung

Definition der Topologie

Zu Beginn der Entwicklung muss zuerst einmal die Zieltopologie des Fahrzeugs festgelegt werden. Dies ist eine sehr komplexe Aufgabe, das Ergebnis ist stark abhängig vom Fahrzeugtyp und von den technischen Erwartungen an das Fahrzeug. Es gibt eine beliebig große Anzahl von möglichen Anordnungen und Kombinationen der Antriebskomponenten, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile haben. ›

Beispiele für verschiedene Topologien



Simulationsmethoden bei Porsche Engineering

eCruise

Ein bei Porsche Engineering eigens entwickeltes Berechnungsprogramm für schnelle Vorauslegungen, basierend auf Microsoft Excel

AVL Cruise

Gesamtfahrzeugsimulation zur Bestimmung von Fahrleistung und Verbrauch

Matlab/Simulink

Fahrleistungs- und Verbrauchssimulation in Kombination mit komplexen Subsystemmodellen und Regelsystemen

Eine mögliche Variante ist eine Topologie mit einer E-Maschine an der Vorderachse und einer zweiten an der Hinterachse. Sie bietet sowohl beim Antreiben die Vorteile eines Allradantriebs als auch bei der Fahrstabilität das höchste Potenzial zum regenerativen Bremsen. In dieser Topologie könnten zum Beispiel unterschiedliche Motortypen kombiniert werden. Ein Motor mit idealem Wirkungsgrad würde einen Großteil des Fahrbetriebs abdecken, während ein günstigerer und vom Wirkungsgrad her nicht idealer Motor den geforderten Spitzenleistungen gerecht wird. So könnten zum Beispiel die Kosten gesenkt werden mit minimalem Einfluss auf den Verbrauch.

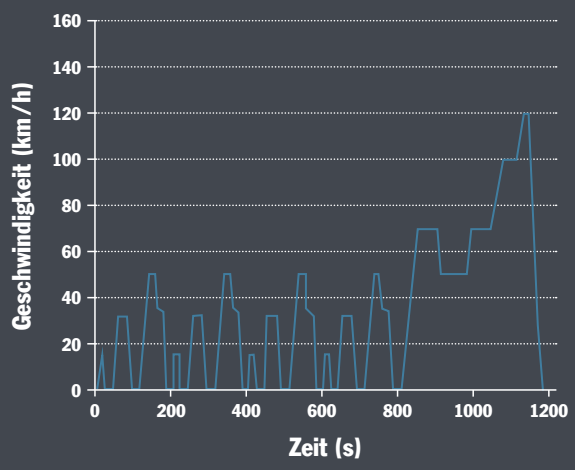
Einer der ersten Schritte ist es, die Randbedingungen aus dem Projektsteckbrief in technische Eigenschaften umzusetzen. Hierbei ist es entscheidend, die Wechselwirkungen der Systemkomponenten zu berücksichtigen. Dazu folgendes Beispiel: Dem Wunsch nach einer großen Reichweite könnte durch eine ausreichend große Traktionsbatterie Rechnung getragen werden. Durch das hohe Gewicht der Batterie wird jedoch das Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs reduziert. Die Kosten der größeren Batterie, das Package und der höhere Energieverbrauch stehen hier vielen anderen Randbedingungen kontrovers gegenüber.

Fahrleistungs- und Verbrauchssimulation

Zur Ideenfindung und der anschließenden Auswahl geeigneter Konzepte dienen bekannte Werkzeuge wie beispielsweise der morphologische Kasten und die Entscheidungsmatrix. Die Fahrleistungs- und Verbrauchssimulation trägt hier beträchtlich dazu bei, im Vorfeld die Potenziale verschiedener Konzepte auszuloten und miteinander zu vergleichen. Die Bandbreite der infrage kommenden Konzepte und die zur Auswahl stehenden Komponenten werden hierbei bereits eingeschränkt. Um die verbleibenden relevanten Antriebsstrangkonzepte beurteilen zu können, werden die Modelle nun weiter detailliert. In einem DOE-Plan (Design of Experiment) werden die Konzepte und die erforderlichen Berechnungen zusammengetragen. Liegen die Ergebnisse vor, können die einzelnen Konzepte im Detail verglichen und bewertet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse und festgestellten Tendenzen erlauben eine feinere Granulierung der Konzepte, um so die optimale Auslegung des Antriebsstranges zu bestimmen.

Bei Porsche Engineering stehen für diese Aufgabe die Programme Matlab/Simulink, AVL Cruise und eCruise zur Verfügung. Bei eCruise handelt es sich um ein inhouse entwickeltes Berechnungsprogramm zum in der Konzeptphase einfa-

Neuer Europäischer Fahrzyklus – NEFZ

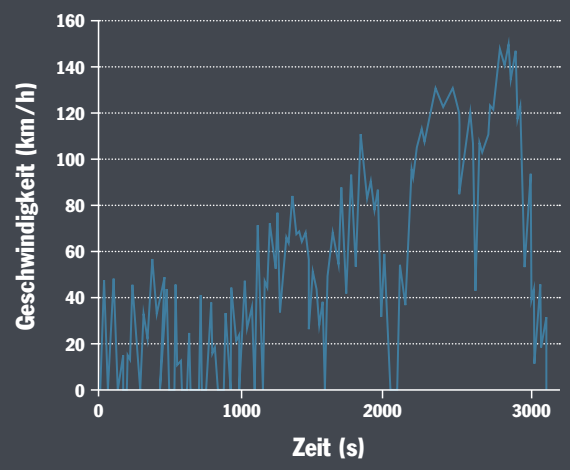


Der NEFZ ist der gesetzlich vorgeschriebene Fahrzyklus in Europa und China bei der Ermittlung von Verbrauchswerten. Er besteht aus Konstantfahrten, konstanten Beschleunigungen, Verzögerungen und Standphasen.

Maximalgeschwindigkeit	120,0 km/h
Durchschnittsgeschwindigkeit	33,6 km/h
Standzeit	20,0 %
Länge	11 km
Maximalbeschleunigung	1,0 m/s²
Maximalverzögerung	–1,4 m/s²

Beschreibung NEFZ

Common ARTEMIS Driving Cycles – CADC



Der CADC ist im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes ARTEMIS entstanden. Er leitet sich aus realen Fahrprofilen ab.

Maximalgeschwindigkeit	150,4 km/h
Durchschnittsgeschwindigkeit	59,2 km/h
Standzeit	9,7 %
Länge	51,7 km
Maximalbeschleunigung	2,3 m/s²
Maximalverzögerung	–3,6 m/s²

Beschreibung CADC

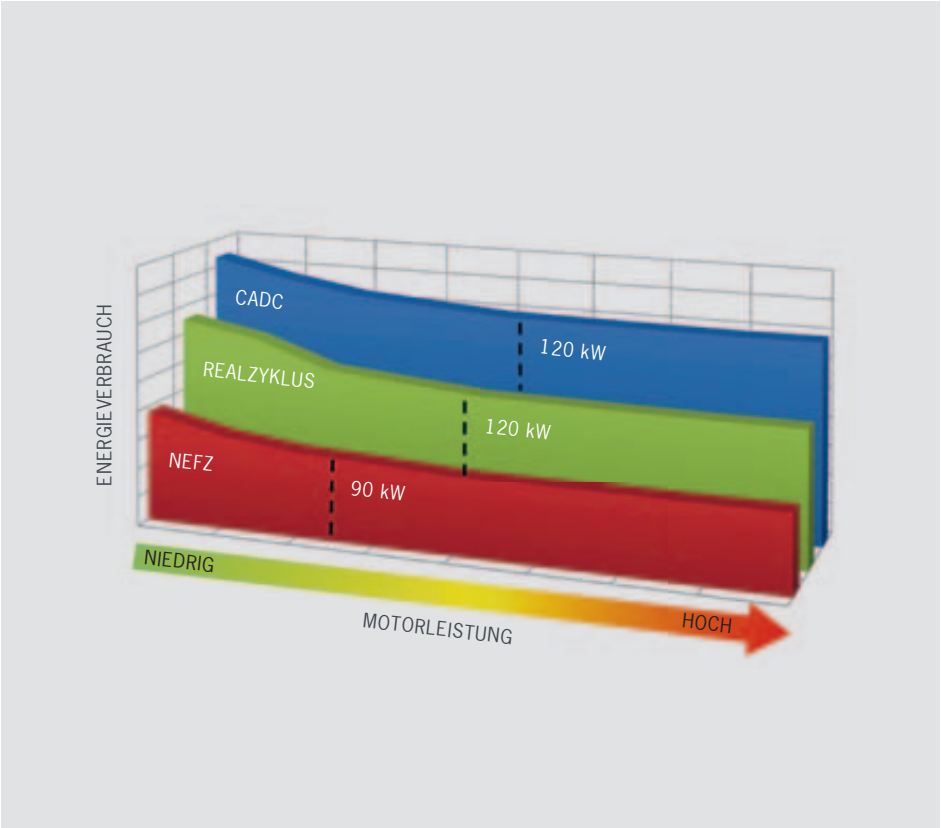
chen und schnellen Quantifizieren der Verbräuche und Fahrleistungen.

Definition der Motorgröße

Ist die Topologie festgelegt, gilt es, die Größe und Art der E-Maschine bzw. der E-Maschinen zu definieren. Abhängig von den geforderten Fahrleistungen, den angesetzten Bewertungszyklen und den dort auftretenden Motorbetriebspunkten wird die minimal notwendige Antriebsleistung bestimmt.

Im NEFZ wird zum Beispiel aufgrund der geringen Dynamik mit konstanten Beschleunigungen, Verzögerungen von max. 1,4 m/s², eine Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h und den vielen Konstantfahrten weniger Antriebsleistung benötigt und insgesamt verhältnismäßig wenig Energie verbraucht. Dadurch wird der Motor im Zyklus häufig im niedrigen Leistungsbereich betrieben. E-Maschinen mit hoher Effizienz bei geringen Leistungen sind hier vorteilhaft.

Im Vergleich dazu hat ein dynamischer Zyklus wie der CADC höhere ›



Einfluss der Motorgröße auf den Energieverbrauch in den verschiedenen Fahrzyklen

Beschleunigungen und Verzögerungen von maximal 3,6 m/s². Darüber hinaus liegt die Maximalgeschwindigkeit bei 150 km/h und es gibt kaum Anteile mit Konstantfahrten. Aufgrund dessen wird ein größerer Leistungsbereich der E-Maschine beansprucht.

Für einen niedrigen Zyklusverbrauch muss der Wirkungsgrad in einem weiten Bereich des Kennfelds hoch sein. Zudem wird in einem dynamischen Zyklus nicht nur kurzzeitig eine höhere Leistung verlangt (Rekuperationsbremsung), sondern über längere Phasen. Hat der Motor zu wenig Leistung, kann beim Bremsen nicht die volle Energie zurückgewonnen werden und der Motor wird früher thermisch überlastet. Die Motorsteuerung geht dann in den Derating-Betrieb. Für eine definierte Abkühlphase steht jetzt nur eine reduzierte Motorleistung zur Verfügung. Je größer die thermische Masse des Motors und je höher die Leistung, desto seltener kommt ein Fahrzeug in den Abregelbereich. Auch dies spricht für eine Motormindestgröße bei der Auslegung eines ernst zu nehmenden elektrischen Antriebs.

Einfluss des regenerativen Bremsens

Größere Motoren in Kombination mit angemessenen Getriebeübersetzungen bieten zusätzliche Vorteile während des regenerativen Bremsens (Rekuperation). Bei einem konventionellen Fahrzeug wird hierbei die Bewegungsenergie über die Reibbremse in Wärme umgewandelt und ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Elektrofahrzeuge können einen großen Teil der Bewegungsenergie zurückgewinnen: Beim Bremsen schaltet der Elektromotor in den Generatorbetrieb, wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um und speichert diese in die Hochvolt-Batterie zurück.

Die Menge der Bremsenergie, die zurückgewonnen werden kann, hängt in erster Linie von der Motorleistung, der

Getriebeübersetzung und von der Rekuperationsfähigkeit des Bremsenmanagements ab. Da beispielsweise beim Bremsen in der Kurve die Traktion an der Hinterachse früh limitiert wird, ist es vorteilhaft, die elektrische Bremskraft zwischen der Vorder- und Hinterachse zu verteilen, um das maximale Potenzial der regenerativen Bremsung zu gewinnen.

Definition der Getriebeübersetzung

Ist in einer Topologie ein Getriebe mit nur einer Gangstufe vorgesehen, stellt die Übersetzung immer einen Kompromiss zwischen optimaler Kraftübertragung, möglichst geringem Verbrauch und der Höchstgeschwindigkeit dar.

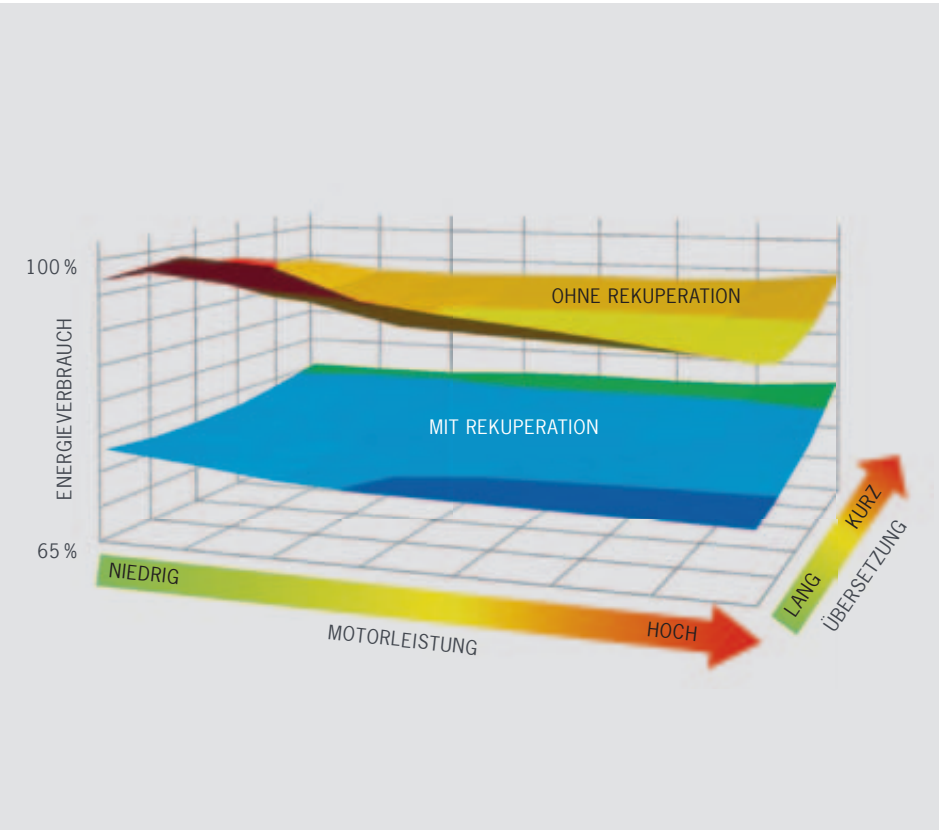
Zum einen definiert die Getriebeübersetzung, wie schnell der Motor im Verhältnis zu dem Rad dreht und wie viel Motormoment für eine definierte Beschleunigung des Fahrzeugs notwendig ist. Da der Wirkungsgrad des Elektromotors vom abgegebenen Moment und von der Motordrehzahl abhängig ist, führt die gegebene Getriebeübersetzung in einem Fahrzyklus zu bestimmten Wirkungsgraden des Motors.

Zum anderen wird das Fahrzeug mit langer Übersetzung schlechtere Beschleunigungswerte erreichen, aber gleichzeitig – ausreichende Leistung vorausgesetzt – auch eine höhere Maximalgeschwindigkeit. Mit einer kurzen Übersetzung ist die Situation genau anders herum.

Da die drei Ziele (Beschleunigung, Verbrauch und Höchstgeschwindigkeit) möglicherweise jeweils unterschiedliche Übersetzungen benötigen, können Mehrganggetriebe eine Lösung sein. Diese ermöglichen es, die Fahrleistung und Arbeitspunktverteilung des Motors weiter zu verbessern. Jedoch ist auch hier die Gesamtsystembetrachtung sehr wichtig, da die komplexeren Getriebe tendenziell schlechtere Wirkungsgrade haben und sich somit der Nutzen reduziert. Ob sich der Einsatz lohnt, muss im Einzelfall und mit Hinblick auf die Projektziele entschieden werden.

Fazit

Die Herausforderungen im Rahmen der Elektrifizierung des Antriebs sind vielfältig. Neue Motor- und Batteriekonzepte werden kontinuierlich weiterentwickelt wie auch deren komplexe Steuerungssysteme und die Integration in die Fahrzeuge. Dies stellt stets neue Anforderungen an die Ingenieure, die flexibel und innovativ auf die veränderte Situation reagieren müssen. Porsche Engineering stellt sich seit Jahren in vielfältigen Projekten erfolgreich dieser Herausforderung. ■



Energieeinsparung im CADC durch Rekuperation

ELEKTRIFIZIERT

Erprobung am E-Maschinen-Prüfstand

____ Um neue Antriebsstrangkonzepte von der Auslegung und Simulation in die Realität zu übertragen, ist umfassendes Testing erforderlich. Insbesondere die Erprobung einer elektrischen Maschine und die Interpretation der Ergebnisse stellen dabei eine große Herausforderung dar. Der elektrische Antriebsstrang bietet viele Vorteile, hat aber auch einige sehr spezielle Eigenschaften, die das besondere Augenmerk der Ingenieure erfordert. Prüfstände bei Porsche Engineering ermöglichen komplexe Erprobungen und detaillierte Auswertungen, die für den Entwicklungsprozess von Bedeutung sind.

Text: Johannes Aehling, Stefan Gatzemann, Dr. Jan-Peter Müller-Kose
Fotos: Jörg Eberl

Sind Auslegungs- und Simulationsphasen einer elektrischen Maschine abgeschlossen, wird das Erstmuster gefertigt und am E-Maschinen-Prüfstand auf Herz und Nieren getestet. Im Zuge der Erprobung kommt es zum Abgleich von Theorie und Realität, wofür spezielles Know-how der Ingenieurinnen und Ingenieure notwendig ist. Zudem wird in dieser Phase vor allem sichergestellt, dass die Maschine den Kundenanforderungen entspricht. Die Tests am Prüfstand begleiten die Entwicklung eines elektrischen Antriebs über alle Baumuster hinweg – vom Konzept bis zur Serie. Vor Beginn der Vermessung muss die Maschine jedoch durch den Applikateur zum Leben erweckt werden.

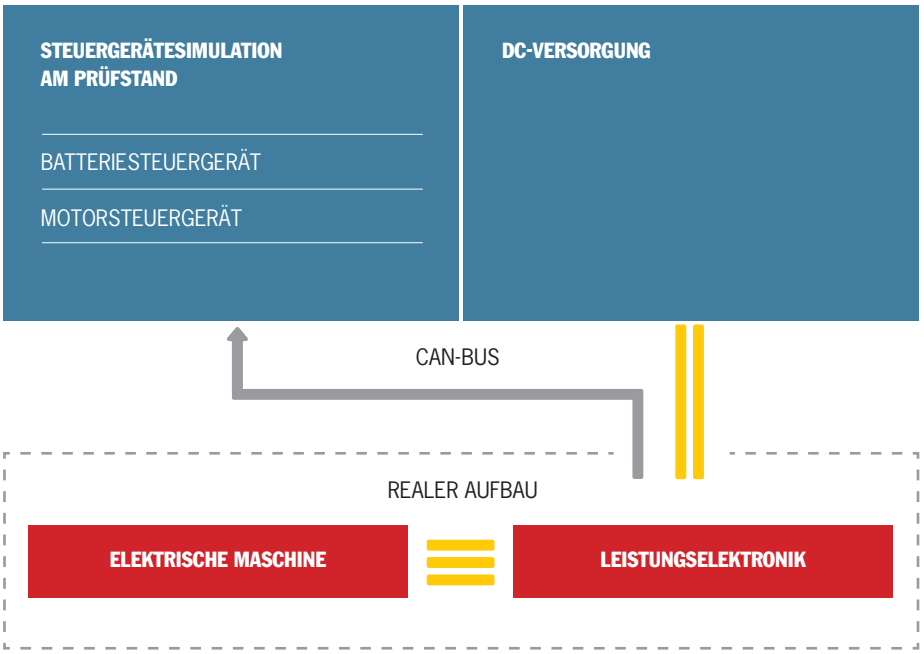
Applikation

Der Applikateur ermöglicht die Kommunikation beziehungsweise das Zusammenspiel von elektrischer Maschine und Leistungselektronik. Diese beiden Komponenten müssen zunächst aufeinander abgestimmt werden. Hierfür bietet ein Prüfstand zwei mögliche Vorgehensweisen: Die elektrische Maschine kann entweder mit einem Universalumrichter betrieben werden oder es kommt bereits der später im Fahrzeug vorgesehene Umrichter zum Einsatz.

Werden mit dem gleichen Universalumrichter verschiedene Maschinen betrieben, so zeigt der Vergleich der Messreihen die Unterschiede der Maschinenvarianten auf. Diese Leistungselektronik ist oftmals wesentlich leistungsfähiger als die für die Serie geplante Einheit. Sie kann so die Maschine an ihre physikalischen Grenzen bringen und ermöglicht eine genaue Abschätzung von deren Leistungslimits. Im Gegensatz dazu ist es mit einer Leistungselektronik aus dem späteren Antriebsstrang möglich, beide Komponenten direkt im Zusammenspiel zu prüfen. Eine Vergleichbarkeit existiert dann auf der Systemebene Umrichter und elektrische Maschine. Hier werden die Leistungsgrenzen des späteren Antriebs ausgelotet. ›

Die Erprobung am Prüfstand begleitet die Entwicklung eines elektrischen Antriebs über alle Baumuster hinweg – vom Konzept bis zur Serie.

PRÜFSTANDSAUFBAU



Simulation relevanter CAN-Teilnehmer aus dem Fahrzeug am Prüfstand

Elektrische Maschinen sind im Fahrzeug nicht mit einer Drehmomentmesstechnik ausgerüstet. Somit kann die Leistungselektronik das Drehmoment nicht direkt regeln. Im Wesentlichen stellt die Leistungselektronik einen Strom zur Verfügung und erzeugt damit ein Drehmoment. Über diese Korrelation wird eine Umwandlung von Soll-Drehmoment in einen Soll-Strom und damit von Drehmomentregelung in Stromregelung durchgeführt. Während der Applikation wird die elektrische Maschine an verschiedene Betriebspunkte gefahren. Aus den Messwerten von Leistungselektronik und Prüfstand werden die Parameter zur Applikation der Kennlinien und Kennfelder abgeleitet. Insbesondere die Werte der Drehmomentsensorik, welche nur am Prüfstand existiert, sind hier wichtig, damit eine Strom-Drehmoment-Korrelation ermittelt werden kann.

Neben der reinen Ermittlung der Maschinenparameter gehören weitere Entwicklungsaufgaben zu einer Applikation. So sind die Umrichter in der Regel mit Funktionen ausgestattet, die das System vor Schäden schützen sollen. Darunter fallen zum Beispiel das Einhalten der Stromgrenzen der Hochvolt-(HV-) Batterie oder die Temperaturüberwachung der elektrischen Maschine. Damit diese Funktionen appliziert werden können, müssen währenddessen diverse Vorgaben in der Restbus-Simulation der Systemumgebung geändert werden. Diese provozieren dann eine Reaktion der jeweiligen Schutzfunktionen. Am Beispiel der Stromgrenzen würden die Parameter der Stromabregelung so eingestellt, dass ein Überschreiten des Batteriestroms und damit Schädigungen der Batterie im Fahrzeug verhindert werden.

Im Fahrzeug werden häufig elektrische Maschinen mit Permanentmagneten verwendet. Hier gilt es, die Temperaturabhängigkeit der Magnete besonders zu beachten, da sich über die Temperatur auch der Fluss der Magnete ändert. Der Magnetfluss steht in direktem Zusammenhang mit dem erzeugten Drehmoment, weshalb dieses bei steigender Temperatur sinken würde. Die Entwicklungsingenieure sprechen hier von der sogenannten Flussnachführung. Sie kompensiert die Temperaturabhängigkeit des Drehmoments. Damit die Nachführung appliziert werden kann, ist eine elektrische Maschine mit spezieller Messtechnik (Rotortelemetrie) erforderlich. Die Ausrüstung einer solchen Maschine mit entsprechender Technik ist mit besonderem konstruktiven und finanziellen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund muss durch Design Freezes

eine entsprechende Planungssicherheit geschaffen werden.

Dies gilt im Besonderen für die Konstruktion der E-Maschine. Jegliche Änderungen im elektromagnetischen System – in den Materialien oder hinsichtlich der Anbindung des Kühlmantels nach der Applikation der Temperaturabhängigkeiten – können sich negativ auf die Drehmomentgenauigkeit auswirken, was dazu führt, dass über die verschiedenen Baumuster hinweg die Applikation mehrfach nachgezogen und angepasst werden muss.

Nach erfolgreicher Applikation kann mit der eigentlichen Erprobung der elektrischen Maschine begonnen werden.

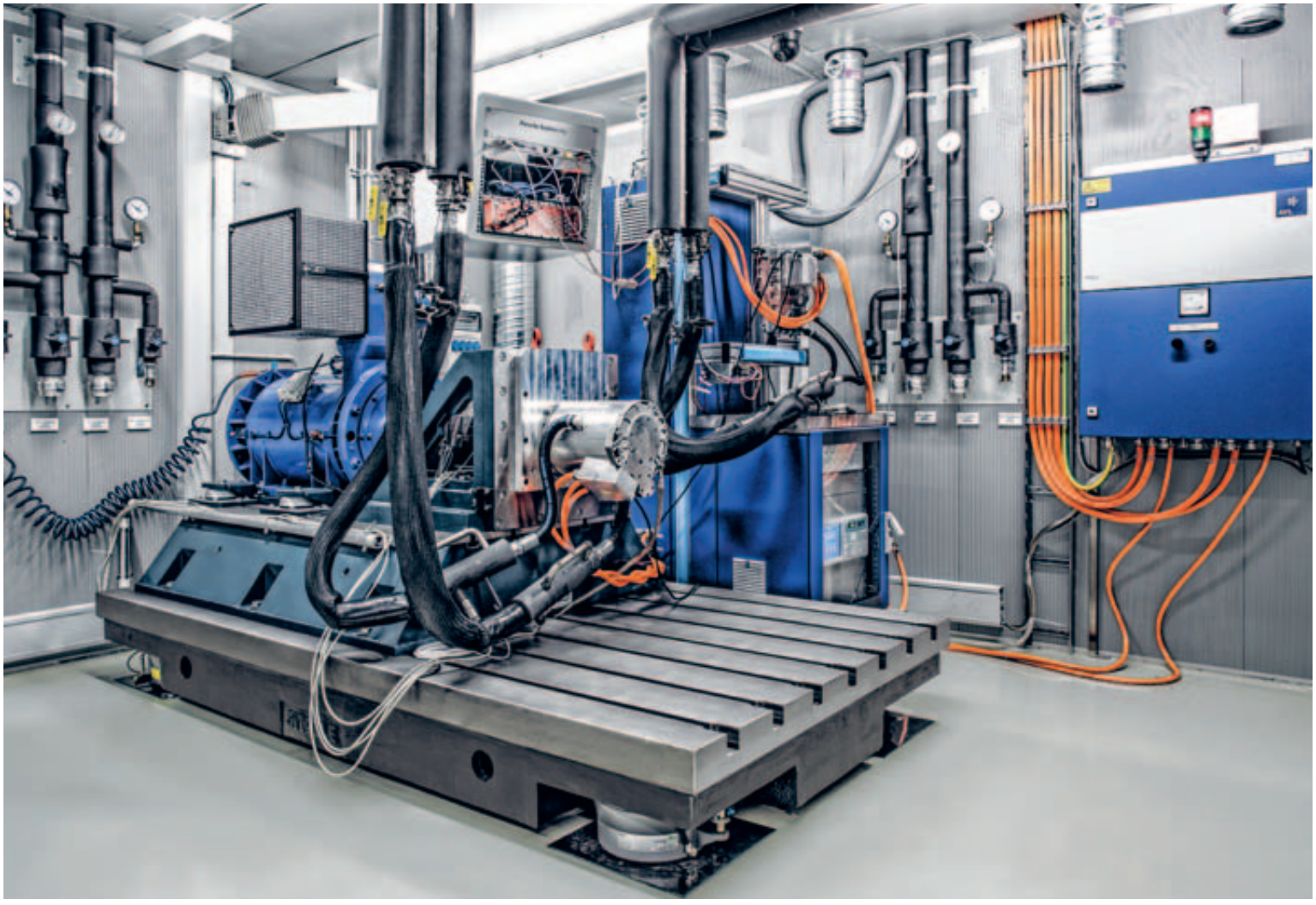
Erprobung

Bei der Erprobung wird zwischen folgenden vier verschiedenen Anforderungskategorien unterschieden:

> Performance
> Betriebsfestigkeit
> Missbrauch
> Referenzvermessung

In der Performance-Erprobung liegt der Fokus auf den Leistungsdaten der elektrischen Maschine. Bei der Validierung der Betriebsfestigkeit wird die elektrische Maschine auf Lebensdauer getestet. Spezielle Prüfzyklen raffen das Lastkollektiv über Lebensdauer thermisch wie mechanisch auf wenige Wochen. Bei Missbrauchsversuchen werden mögliche Fehlerfälle und Fehlerreaktionen überprüft. Die Referenzvermessung dient dem Ermitteln der Streuung in den Leistungsdaten. Hier werden mehrere Maschinen gleichen Typs nacheinander vermessen, um die Streubreite zu dokumentieren.

Damit alle Anforderungen abgeprüft werden können, wird bei Porsche Engineering auf einen eigens erstellten und vielfach bewährten Prüfkatalog ›



Am Prüfstand kann die elektrische Maschine entweder mit einem Universalumrichter oder mit dem später im Fahrzeug vorgesehenen Umrichter betrieben werden.

TECHNISCHE DATEN

DC-Versorgung	
Nennleistung	250 kW
max. HV-Spannung	800 V
max. DC-Strom	600 A
Lastmaschine	
Maschinentyp	ASM
Nennleistung	250 kW
max. Drehmoment	600 Nm
max. Drehzahl	15 000 U/min
Kühlmittel	
T_{min}	–40 °C
T_{max}	+140 °C
Messtechnik	
Leistungsmessgerät	WT1800
Drehmomentmessflansch	HBM T12
Porsche-Messtechnik	SMT 5
Steuergerätezugriff	ES593

zurückgegriffen. Dieser beinhaltet mehr als 70 durchzuführende Einzeltests aus der Serienentwicklung, die alle Entwicklungsaspekte abdecken. Zu den wichtigen Standarderprobungen gehört die Prüfung der Wirkungsgradkennfelder. Diese Werte dienen später unter anderem auch den Berechnungsingenieuren zur Ermittlung einer Reichweitenabschätzung des Fahrzeugs. Im Gegensatz zu einer Verbrennungskraftmaschine besitzt eine elektrische Maschine eine sehr große Überlastfähigkeit, die ein Vielfaches der Dauerleistung erreichen kann. Um diesen kurzzeitigen Überlastbereich zu untersuchen, werden verschiedene Maximalkennlinien ermittelt. Die Definition, welchem zeitlichen Wert der Begriff „kurzzeitig“ entspricht, wird üblicherweise in der Auslegung bereits definiert.

Neben der Bestimmung von Kennwerten und Kennfeldern am Prüfstand sind auch sogenannte kundenrelevante Prüfzyklen wichtig. Sie bilden das spätere Nutzerverhalten im Fahrzeug ab und sind je nach Markt und Fahrzeugklasse differenziert. Die Komponenten spiegeln in einem kundenrelevanten Zyklus den Betrieb im Gesamtverbund mechanisch und thermisch wider. Von Interesse sind hierbei stabile und reproduzierbare Beschleunigungs- und Fahrkomfortwerte, die mit den Anforderungen aus klassischen Antrieben mithalten müssen.

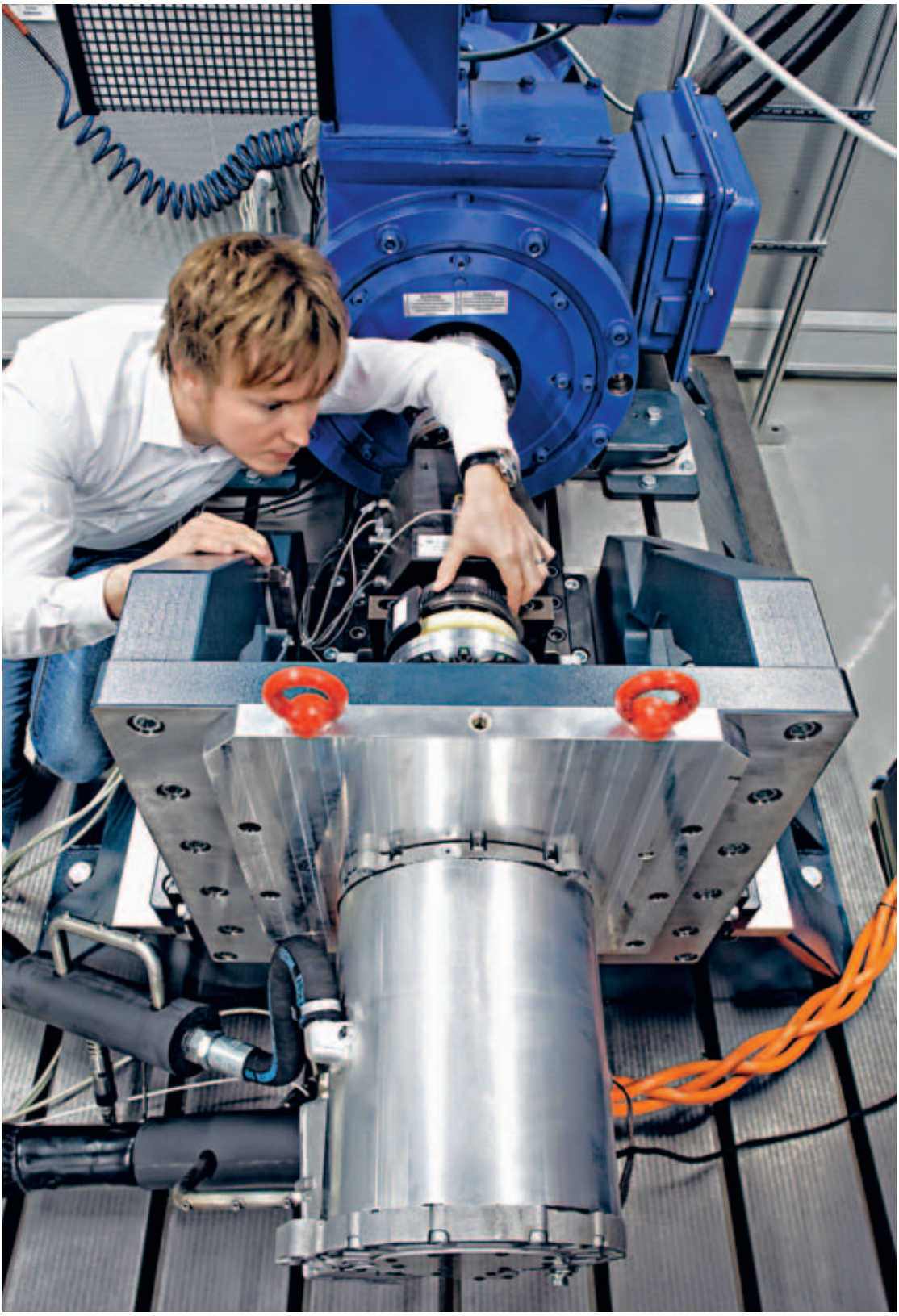
Neben den Tests im Gesamtverbund oder als Einzelkomponenten wird die Bedeutung einer detaillierten Betrachtung von Subkomponenten im Rahmen der Erprobung oftmals unterschätzt. Porsche Engineering berücksichtigt dies vom ersten Konzept an innerhalb der Performanceerprobungen. Für die erfolgreiche Integration des Antriebs ins Fahrzeug zählt hierbei jedes Detail. Ein Beispiel sind die vielfältigen Umgebungsbedingungen im Automotive-Bereich. Hier sieht sich der Entwickler zum Beispiel mit Fragen der Materialverträglichkeit konfrontiert, die im Standardumfeld einer elektrischen Maschine normalerweise nicht auftreten. Durch eine frühe Einbeziehung aller Faktoren können jedoch Probleme frühzeitig erkannt oder vermieden werden.

In der Erprobung ist die Vergleichbarkeit und die Reproduzierbarkeit der erzeugten Ergebnisse ein wichtiger Grundsatz. Der Prüfstand von Porsche Engineering ist diesbezüglich gegenüber anderen internen und externen Prüfständen validiert und die Darstellung der Messergebnisse normiert. Der neue E-Maschinen-Prüfstand ergänzt somit auf ideale Weise die umfangreiche Testlandschaft von Porsche.

Auswertung und Analyse

Noch während der Erprobung werden die Zwischenergebnisse vom Versuchsingenieur kontinuierlich analysiert. Bei Fehlern oder Auffälligkeiten sind oftmals schnelle Sondermessungen erforderlich, um die eigentliche Ursache zu identifizieren. Grundsätzlich gilt: Je früher ein Problem analysiert und je schneller die Ursache identifiziert wird, desto geringer ist die Auswirkung auf das Projekt. Ein Fehler, der erst spät im Projekt entdeckt wird, ist wesentlich kostenintensiver als im frühen Projektstadium. Durch die kontinuierliche Kontrolle der Ergebnisse kann die Wahrscheinlichkeit einer Schädigung des Prüflings minimiert werden.

Jede Einzelkomponente wird bei Porsche Engineering stets aus Gesamtfahrzeugsicht betrachtet. Hierfür stehen Experten aus den verschiedenen Bereichen der Fahrzeugentwicklung zur Verfügung, die im Problemfall auch interdisziplinär schnell konsultiert werden



Jede Einzelkomponente wird bei Porsche Engineering stets aus Sicht des Gesamtfahrzeugs betrachtet.

können. Sehr häufig berühren Probleme mehrere Themenfelder, sodass sich ein Gesamtbild erst in der Diskussion mit Experten aus unterschiedlichen Bereichen ergibt.

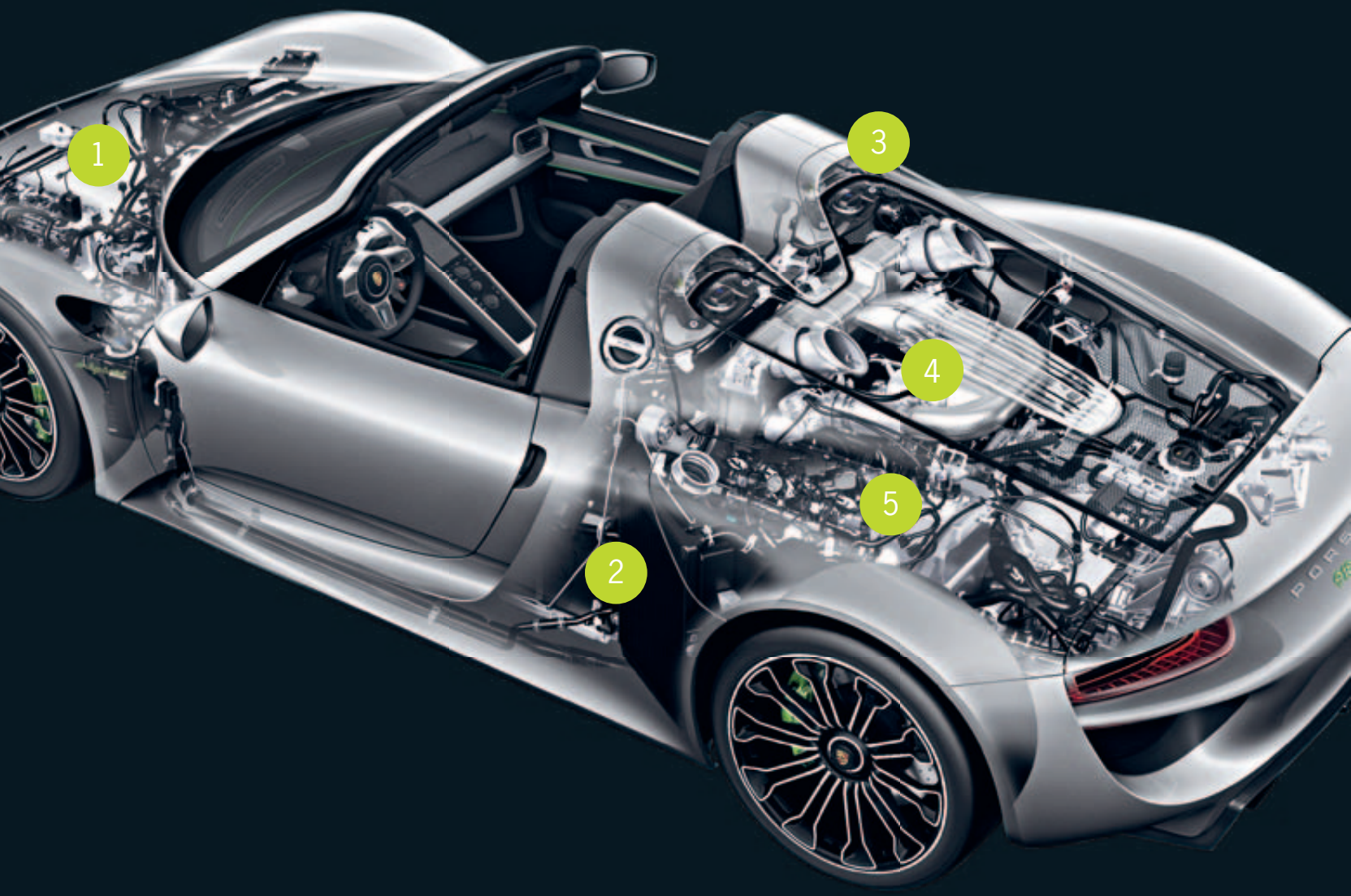
Zum Abschluss der Erprobung wird ein Bericht inklusive einer ausführlichen Interpretation der Ergebnisse erstellt. Die Interpretation führt zu einer Liste von Maßnahmen, welche der Ingenieur ergreifen kann, um seine Komponente weiterzuentwickeln und somit den Regelkreis zwischen Auslegung und Erprobung zu schließen. ■

PORSCHE 918 SPYDER

Mobilität der Zukunft? Nicht ohne den Porsche 918 Spyder. Mit der Entwicklung des neuen Supersportwagens setzt Porsche bahnbrechende Maßstäbe. Der Plug-in-Hybrid gibt entscheidende Impulse für neue Technologien und innovative Fahrzeugkonzepte.

Konsequent verbindet der Porsche 918 Spyder als Plug-in-Hybridfahrzeug einen Hochleistungs-Verbrennungsmotor mit effizienten elektrischen Antrieben zu Fahrleistungen, die mehr als außergewöhnlich sind: Das Beste aus beiden Welten beschert diesem Supersportwagen die Dynamik einer über 652 kW (887 PS) starken Rennmaschine bei einem Verbrauch, der mit rund drei Liter auf 100 Kilometer (nach NEFZ) noch unter dem der meisten heutigen Kleinwagen liegt.

Über dieses innovative Antriebskonzept hinaus schlägt Porsche bei diesem Technologieträger mit spektakulären Lösungen wie der Karosserie aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK), der vollvariablen Aerodynamik, der adaptiven Hinterachslenkung und der oben mündenden „Top Pipes“-Abgasanlage weitere neue Wege ein.



Das Antriebskonzept

Das eine oder das andere?
Das Beste von beidem.

Der 918 Spyder als Performance-Hybrid

Die Anordnung und Funktionsweise der Motoren machen den 918 Spyder zum Performance-Hybrid. Das bedeutet: Er kann sowohl an der Hinterachse vom Verbrennungsmotor angetrieben werden als auch allein von der hinteren Elektromaschine oder gemeinsam über beide Antriebe. Abhängig von der Antriebsstrategie schaltet sich an der Vorderachse eine weitere Elektromaschine hinzu, welche die Vorderräder antreibt.

Der V8-Hochdrehzahlmotor

Hauptantriebsquelle ist der 4,6-Liter-Achtzylindermotor. Dank einer Leistung von 447 kW (608 PS) erreicht das Hochleistungsaggregat das Niveau eines Rennmotors. Und trotzdem ist er der leichteste V8-Motor, der bei Porsche je in Serie ging. Das geringe Gewicht des Herzstückes von nur 135 Kilogramm und seine tiefe Position schaffen die besten Voraussetzungen für eine äußerst dynamische Fahr-Performance und für höchste Präzision bei der Leistungsentfaltung.

Die Elektromaschinen

Die beiden Elektromaschinen sitzen vor der Hinter- und hinter der Vorderachse und überzeugen durch eine außerordentliche hohe Leistung im Verhältnis zu Gewicht und Größe. Die mechanische Gesamtleistung liegt bei 210 kW (286 PS). Der 918 Spyder erreicht eine rein elektrische Höchstgeschwindigkeit von 150 km/h und eine rein elektrische Beschleunigung von null auf 100 km/h in 6,2 Sekunden. Hinzu kommt das besonders schnelle Ansprechverhalten des elektrischen Antriebs. Das maximale Drehmoment von 475 Nm liegt bereits ab dem Stillstand an.

High-Performance-Traktionsbatterie

Die flüssigkeitsgekühlte Lithium-Ionen-Batterie ist mit 230 kW die derzeit leistungsfähigste Hybrid-Batterie. Mit einem Gesamtgewicht von nur 138 Kilogramm bei einem Energiegehalt von 6,8 kWh, einer sehr schnellen Leistungsabgabe und entsprechendem Boost der Elektromaschinen erfüllt sie den energetischen Anspruch, der von einem Supersportwagen für das 21. Jahrhundert erwartet werden kann. Speziell für den 918 Spyder entwickelt – und auf Performance getrimmt.

Das High-Performance-Hybrid-Bremssystem

Der 918 Spyder kann über beide Elektromaschinen bremsen und damit Energie für die Traktionsbatterie zurückgewinnen (Rekuperation). Das High-Performance-Hybrid-Bremssystem verbindet dabei auf einzigartige Weise eine sehr hohe Rekuperationsleistung mit einem authentischen Bremspedalgefühl. Das intelligente hydraulische System blendet dabei – für den Fahrer unmerklich – zwischen dem elektrischen sowie dem hydraulischen Bremsen der PCCB-Bremsanlage (Porsche Ceramic Composite Brake) über und stellt in jeder Fahrsituation eine konstante Rückmeldung im Bremspedal sicher.

Der 918 Spyder ist in der Zukunft angekommen. Und er hinterlässt eine neue Wirklichkeit. Schon heute. ■

1. ELEKTROMASCHINE VORDERACHSE
2. HIGH-PERFORMANCE-LITHIUM-IONEN-BATTERIE
3. FAHRZEUGLADEANSCHLUSS
4. V8-HOCHDREHZAHLMOTOR
5. ELEKTROMASCHINE HINTERACHSE

918 SPYDER: Kraftstoffverbrauch kombiniert 3,1 – 3,0 l/100 km; CO_2-Emission 72 – 70 g/km; Elektrischer Energieverbrauch (kombiniert): 12,7 kWh/100 km

6:57 min

Rundenzeit Nordschleife
918 Spyder mit Weissach-Paket

652 kW

(887 PS) Systemleistung

210 kW

(286 PS) Die höchste E-Maschinen-Leistung in einem Serienhybrid

2,6 s

Beschleunigung
auf 100 km/h

3,1–3,0 l/100 km

Kraftstoffverbrauch im NEFZ

Fremdes **Terrain**

Porsche Engineering optimiert Krankabinen von Terex Cranes

_____ In Sachen Entwicklungsprojekte für externe Kunden bewegt sich Porsche Engineering gerne auf fremdes Terrain und überträgt die Erfahrungen aus der Automobilentwicklung auf andere Branchen. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit dieser Art stellt die Optimierung des Krankabinen-Designs für Terex Cranes dar, das jüngst mit einem Designpreis ausgezeichnet wurde.

Text: Jörg Thoma, Frederic Damköhler
Fotos: Terex Corporation

Der Terex® Challenger 3160.
Aus der Kooperation zwischen Porsche Engineering und Terex Cranes entstand im Zuge der Krankabinenoptimierung ein neues Markengesicht für die Kranmodelle.

TEREX

Krankabinen und Porsche: Was auf den ersten Blick nicht so recht zusammenzupassen scheint, wurde zu einer spannenden und erfolgreichen Kooperation. Wer zum ersten Mal einen Kran bedient, ist von den komplexen Bedienabläufen überrascht. Schnell wird deutlich, dass für ein sicheres Manövrieren des Krans optimale Arbeitsbedingungen gegeben sein müssen. Mit dem Streben nach stetiger Verbesserung wandte sich der Baumaschinenhersteller Terex Cranes an Porsche Engineering, der ein neues Fahrzeugkabinen- und Krankabinen-Design entwickeln sollte – was schließlich das Markengesicht von Terex sichtbar beeinflusst hat.

Terex® Quadstar 1075L

Die Designauszeichnung

Die Terex Corporation zählt weltweit zu den größten Herstellern des Maschinen- und Anlagenbaus und entwickelt Lösungen für Arbeitseinsätze rund um den Globus. Das Unternehmen verfügt über jahrelange Erfahrungen und eine umfangreiche Produktpalette, unter anderem in den Bereichen der Baumaschinen und Krane. Der neue Terex-Raupenkran „Superlift 3800“ stellt den Erfolg des Unternehmens unter Beweis. Dieser wurde jüngst mit dem Designpreis des Bundeslandes Rheinland-Pfalz ausgezeichnet. Alljährlich prämiert das hiesige Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung exzellent gestaltete Serienprodukte aus Industrie und Handwerk. Der Vice President Marketing bei Terex Cranes, François Truffier, erklärt: „Bei Terex Cranes sind wir von der Wichtigkeit unserer Investitionen in das Produktdesign überzeugt – dies gilt sowohl für funktionale als auch für ästhetische Gesichtspunkte. Das Ergebnis ist ein Kran, der die Bediener begeistert und der den unverwechselbaren Family Look von Terex Cranes trägt.“

Funktionalität und Ästhetik

Ein wesentlicher Teil des prämierten „Superlift 3800“-Designs ist auf die Zusammenarbeit mit Porsche Engineering zurückzuführen. Bereits im Jahr 2006 wandte sich Terex erstmals an Porsche Engineering mit der Aufgabe, sowohl das Exterieur als auch das Interieur der Fahrzeug- und Krankabine neu zu gestalten. Funktionalität und Ästhetik sollten miteinander einhergehen und neben technischen Aspekten ein anmutendes Design vorweisen.

Die Stichworte Ergonomie, Funktionalität und Mobilität bildeten die Leitidee für die Neukonzeption des Designs. Mit der Entwicklung des Exterieurs und Interieurs einer Baumaschinenkabine begab sich Porsche Engineering jedoch auf ein bis dahin branchenfremdes Gebiet. Die Ingenieurinnen und Ingenieure standen vor der Aufgabe, ihr Expertenwissen aus dem Bereich der Kraftfahrzeuge auf Baumaschinen zu übertragen.

Kundenorientierte Lösungen

Umfangreiche Marktanalysen und aufschlussreiche Gespräche mit Terex-Kunden lieferten erste, wichtige Hinweise dazu, welche Gestaltungskriterien grundlegend erfüllt sein müssen, um den komplexen Ansprüchen der Kranführung gerecht zu werden. So wurden verschiedene Kabinen auf ihre Merkmale und Eigenschaften hin untersucht und kundenorientierte Lösungen ermittelt, die den Anforderungskatalog für die Entwicklung bildeten.

Durch das Einbeziehen von Terex-Kunden wurde deutlich, dass Komfort und Ergonomie keine Luxusmerkmale sein sollten, sondern wesentliche Bestandteile der Mobilität. Somit hatten sie bei der Auslegung des Fahrerarbeitsplatzes höchste Priorität. Die Bedienung eines Krans verlangt Kompetenz und absolute Konzentration auf die Komplexität der Funk-

tionen. Physikalisches Unbehagen in jeglicher Form, beispielsweise aufgrund von umständlicher Bedienung oder Sichtbehinderung durch ein nicht optimales Design, erschwert dem Kranführer die Arbeit. Aufgabe von Porsche Engineering war es, an der Optimierung verschiedener Komponenten zu arbeiten, um das anspruchsvolle Manövrieren eines Krans zu erleichtern.

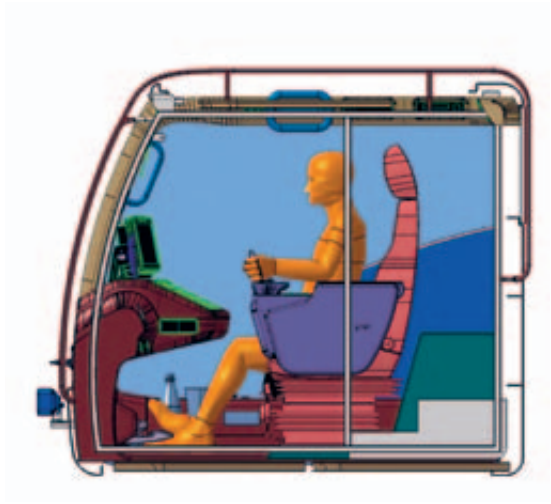
Effizienz und Komfort im Kabineninneren

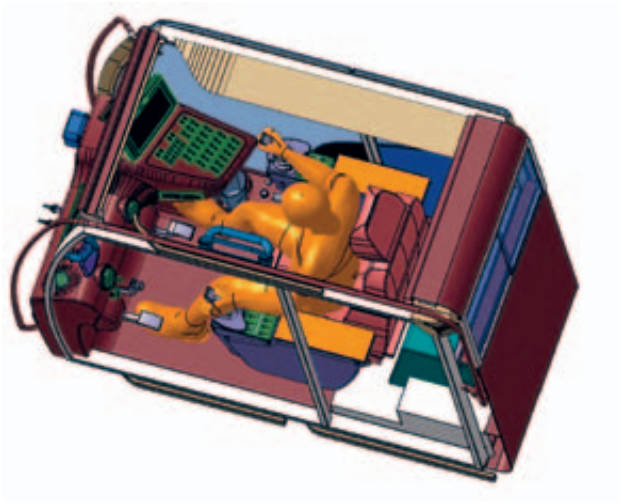
Das Interieur einer Kabine muss exakt bemessen sein, damit die Lenkung des Krans und die Bedienung aller Steuervorgänge vom Arbeitsplatz aus möglich sind und zugleich Platz und Zugang für Kundendienstvorgänge und Reparaturen garantiert ist. Eine große Herausforderung bestand darin, die einzelnen Komponenten im Innenraum so zu positionieren, dass sie gut erreichbar und angenehm zu bedienen sind.

Für eine räumlich optimierte Anordnung und eine bessere Benutzerfreundlichkeit wurden die einzelnen Bedienelemente der Kabine auf die verschiedensten Ansprüche geprüft und ihre ideale Position bestimmt. Die verbesserten ergonomischen Eigenschaften des Steuerknüppels verhelfen beispielsweise zu fehlerfreien und präzisen Arbeitsabläufen. Mit der neuen Kransteuerung kann sich der Kranführer uneingeschränkt auf seine Arbeit konzentrieren. Das intuitiv zu bedienende System bietet Effizienz und Komfort, indem der Nutzer über einen Touchscreen das Display individuell konfigurieren kann. Der Sitz wird mit seinen flexiblen Anpassungsmöglichkeiten und unter Einhaltung ergonomischer Anforderungen der komplexen Bedienung des Krans gerecht. Je nach Körpergröße und Gewicht des Kranführers ist er individuell und einfach verstellbar. Zusätzliche Ablageflächen, einzeln verstellbare Luftdüsen für Heizung und Klimaanlage und ein klimatisiertes Handschuhfach, das auch als Kühlbox nutzbar ist, sorgen für den angemessenen Komfort am Arbeitsplatz und unterstützen die Leistungsfähigkeit des Kranführers.

Positionierung und Zugang

Bei den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen muss der Kran zunächst an seine Einsatzorte gebracht und anschließend in eine sichere Arbeitsposition manövriert werden, um seine uneingeschränkte Leistungsfähigkeit zu gewährleisten. Erst wenn der Kran richtig positioniert ist, kann der Kranführer mit seiner Arbeit beginnen. Auch der sichere Zugang zur Kabine muss spezifischen Ansprüchen gerecht werden. So wurden unter anderem die Position der Griffe und die Trittbreite der Stufen neu überdacht, um einen komfortablen Einstieg zu ermöglichen. ›





Erste Entwürfe der ergonomisch optimierten Krankabine mit neu angeordneten Bedienelementen

Terex-Krane – hier der mit einem Designpreis ausgezeichnete „Superlift 3800“ – sind weltweit in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten im Einsatz.

„Bei der Schaffung einer starken und homogenen ‚Terex Cranes'-Marke haben wir beachtliche Fortschritte gemacht. Produktdesign und Family Look haben dazu in erheblichem Maße beigetragen. Die prägende Markenidentität ist heute an allen Neuprodukten deutlich zu erkennen."

François Truffier, Vice President Marketing

Optimierte Sichtverhältnisse

Sowohl in der Fahrzeug- als auch in der Krankabine bildet eine möglichst uneingeschränkte Sicht zunächst die Basis für fehlerfreie Arbeitsabläufe. Die Größe und Form der Fenster müssen eine maximale Sicht ermöglichen. Die Fahrerkabine kommt ohne B-Säule aus, was die Sicht zum Außenspiegel erheblich verbessert. Elektrisch verstell- und beheizbare Außenspiegel sorgen unter anderem für den notwendigen Überblick und bleiben bei verschiedensten Wetterbedingungen einsatzfähig.

Durch eine spezielle Parkposition des Scheibenwischers in der Oberwagenkabine erhält der Kranführer freie Sicht auf die Last während des Hubs – auch bei geöffneter Frontscheibe. Dachscheibenwischer und getöntes Sicherheitsglas wirken Niederschlag oder starker Sonnenstrahlung entgegen.

Das überarbeitete Beleuchtungssystem sorgt ebenfalls für mehr Sicherheit. Die Beleuchtung im Innenraum sowie der Einsatz unterschiedlicher Scheinwerfer ermöglichen es dem Kranführer, sich an die verschiedenen Lichtverhältnisse anzupassen und das Arbeitsumfeld bestmöglich auszuleuchten.

Erste Entwürfe und Validierung des neuen Designs

Bereits 2007 wurden die ersten Konzeptentwürfe des neuen Designs von Fahrzeug- und Krankabine auf der „bauma" in München vorgestellt. Auf der weltweit größten Fachmesse für Baumaschinen, Baustoffmaschinen, Bergbaumaschinen, Baufahrzeuge und Baugeräte konnten die Besucher über einen Bildschirm einen virtuellen Rundgang durch die Krankabine machen und die optimierte Bedienung des Krans nachempfinden. Aufschlussreiche Gespräche mit erfahrenen Terex-Kunden bestätigten den Baumaschinenhersteller und damit auch Porsche Engineering in den bisherigen Resultaten der Kooperation.

Das Resultat sind Kabinen, die in ihrer Gestaltung Ergonomie und Mobilität vereinen und dadurch sicheres und konzentriertes Arbeiten gewährleisten. Mit der Optimierung wurde ein Design geschaffen, das mit seinem Styling und seinen technischen Ansprüchen überzeugt und Funktionalität mit Ästhetik sinnvoll verbindet.

Die neue Markenidentität

Die Formgebung der Kabine und der anmutende Innenraum haben Terex Cranes nachhaltig geprägt. So wurde das Konzept der Fahrer- und Krankabine im Laufe der Zeit auf mehrere Kranmodelle übertragen: Das neue Markengesicht lässt einen Terex-Kran unverwechselbar als solchen erkennen. Der Frontbereich der Kabinen, der das Wappen des Baumaschinenherstellers trägt, hat ernste und kraftvolle Züge, welche die Stärke und Kompetenz der Terex-Krane demonstrieren. „Bei der Schaffung einer starken und homogenen ‚Terex Cranes'-Marke haben wir beachtliche Fortschritte gemacht. Produktdesign und Family Look haben dazu in erheblichem Maße beigetragen. Die prägende Markenidentität ist heute an allen Neuprodukten deutlich zu erkennen", so François Truffier. ■

MACAN: Kraftstoffverbrauch kombiniert
9,2–6,1 l/100 km; CO_2-Emission 216–159 g/km

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

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

Der neue Porsche Macan

Erster Sportwagen im kompakten SUV-Segment

____ Als erster Porsche im Segment der kompakten SUV setzt der Macan neue Maßstäbe für Fahrdynamik und Fahrspaß, sowohl auf befestigten Straßen als auch im Gelände.

Sein Name ist abgeleitet von der indonesischen Bezeichnung für Tiger. In ihm vereinen sich die typischen Fahreigenschaften, die einen Porsche seit jeher ausmachen: Spitzenwerte beim Beschleunigen und Bremsen, enorme Durchzugskraft, extreme Agilität und höchste Lenkpräzision, all das verbunden mit einem hohen Niveau an Komfort und Alltagstauglichkeit.

Design: Tief verwurzelt in der Porsche-Sportwagentradition

Das Design des Macan zeigt in vielen Details seine Sportwagengene. Die Formensprache setzt Sportlichkeit, Dynamik und Präzision um, ergänzt um Eleganz und Leichtigkeit. Runde Linien sind mit gezielt positionierten Präzisionskanten kombiniert. Die Fenstergrafik der Seitenansicht und die sich am Heck absenkende Dachlinie lehnen sich beispielsweise an den 911 an. Die Rückleuchten als weiteres herausragendes Designmerkmal des Macan sind sehr prägnant dreidimensional ausgeformt und mit LED-Technik ausgestattet.

Die Betonung von Agilität und Breite setzt sich im Interieur des Porsche Macan fort. Eine durchdachte Linienführung, präzise Übergänge und eine hochwertige Verarbeitung schaffen eine stimmige Verbindung aus Sportlichkeit, Wertigkeit und Eleganz.

Drei verschiedene Motorisierungen

Der neue Porsche Macan wird mit drei Motorisierungen angeboten, denen eines gemeinsam ist: Sie bieten Performance, Effizienz und Emotionen und machen damit aus jeder Variante einen typischen Porsche.

Der Macan S wird vom neuen Dreiliter-V6-Biturbo-Motor angetrieben. Er ist bei einer Bohrung von 96 Millimetern und einem kurzen Hub von 69 Millimetern besonders drehfreudig ausgelegt. Er entfaltet seine maximale Leistung von 250 kW (340 PS) bei 5500 bis 6500 U/min. Für den Sprint von null auf 100 km/h vergehen lediglich 5,4 Sekunden (5,2 Sekunden mit Sport Chrono Paket), die Höchstgeschwindigkeit beträgt 254 km/h.

Der Macan S Diesel ist mit seinem Dreiliter-V6-Turbodieselmotor ein echter Langstreckensportler: Er verbindet sehr gute Fahrleistungen mit einem geringen Treibstoffverbrauch. Das aus dem Cayenne bekannte und weiterentwickelte Aggregat mit 190 kW (258 PS) ist über die Motorapplikation eigens für den Macan angepasst, arbeitet perfekt mit dem Porsche-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) zusammen und stärkt so den sportlichen Charakter des Fahrzeugs. Das hohe Drehmoment von 580 Newtonmetern bei 1750 bis 2500 U/min ermöglicht in jeder Situation ein souveränes Beschleunigen. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 230 km/h, die Beschleunigung von null auf 100 km/h erfolgt in 6,3 Sekunden (6,1 Sekunden mit Sport Chrono Paket).

Für den Macan Turbo hat Porsche den 3,6-Liter-V6-Biturbo-Motor neu entwickelt. Das Triebwerk entfaltet seine maximale Leistung von 294 kW (400 PS) bei 6000 U/min. Damit hat der Macan Turbo im Segment der kompakten SUV keinen Konkurrenten. Für die kraftvolle Durchströmung des 90-Grad-V6-Triebwerks sorgen zwei Turbolader mit einem Ladedruck von bis zu 1,2 bar. Die Leistung resultiert in einer Beschleunigung von null auf 100 km/h in nur 4,8 Sekunden (4,6 Sekunden mit Sport Chrono Paket) und einer Höchstgeschwindigkeit von 266 km/h. Der neue Porsche-Motor basiert auf dem Dreiliter-V6-Biturbo mit einem von 69 Millimeter auf 83 Millimeter vergrößerten Hub und macht die jahrzehntelange Erfahrung von Porsche bei der Entwicklung von Sportmotoren erstmals für einen Kompakt-SUV verfügbar. ›

Als erster Sportwagen unter den kompakten SUV ist der Macan alltagstauglich, aber niemals alltäglich. Er zeigt sich citytauglich, jung, sportlich und dynamisch.

Eine Neuheit beim Macan ist die Motorhaube mit einer auf der Unterseite integrierten Rohluftführung für die Beatmung des Motors. Zwei Kanäle leiten die durch die vorderen Lufteinlässe einströmende Luft direkt in Richtung der beiden Turbolader. Die Kanäle sind entsprechend des Luftbedarfs für den Antriebsmotor exakt dimensioniert. Gleich mehrere Gründe sprechen für die integrierte Rohluftführung: die Platzverhältnisse im Motorraum, eine zusätzliche Gewichtsersparnis, eine möglichst tiefe Anordnung der Motorhaube und die Erfüllung der strengen Anforderungen des Fußgängerschutzes.

Zugleich sind die Motoren höchst schadstoffarm: Alle drei Versionen des Macan erfüllen die Abgasnorm Euro 6. Die Verbrauchswerte im NEFZ reichen von 6,1 l/100 km (Macan S Diesel) bis 9,2 l/100 km (Macan Turbo).

Technologien für höchste Effizienz

Nicht nur Performance ist ein Attribut des Macan, sondern auch höchste Effizienz. Der Macan steht mit seiner Antriebstechnik und den Effizienztechnologien in bester Sportwagentradition an der Spitze seines Segments. Neben den Turbo-Downsizing-Motoren, dem serienmäßigen Porsche-Doppelkupplungsgetriebe (PDK) und einem insgesamt intelligenten Materialmix tragen mehrere Technologien zu einem niedrigen Treibstoffverbrauch bei – beispielsweise die elektromechanische Servolenkung, die automatische, erweiterte Start-Stopp-Funktion mit Motorstopp im Anhaltevorgang sowie das intelligente Thermomanagement.

Sportlicher Alleskönner für Straße und Gelände

Für den Macan wurden ausgewählte Fahrwerkstechnologien eingesetzt, die vom 911 abgeleitet wurden. Diese bilden die Basis dafür, sportwagentypische Fahreigenschaften auch in einem kompakten SUV darzustellen.

Aktiver Allradantrieb und Porsche Traction Management (PTM)

Der aktive Allradantrieb ist Teil des Porsche Traction Management (PTM) und serienmäßig bei allen Macan-Modellen. Zusammen mit den weiteren Bestandteilen des Systems – der elektronisch geregelten, kennfeldgesteuerten Lamellenkupplung, dem automatischen Bremsdifferenzial (ABD) und der Antriebsschlupfregelung (ASR) – sorgt er für Traktion und Sicherheit. Der Allradantrieb des Macan zeichnet sich auch durch eine hohe Stelldynamik aus und unterstützt mit seiner Auslegung den Sportwagencharakter des Macan. Porsche hat sich für eine flexible Verteilung des Antriebsmoments über ein angeflanschtes Zusatzgetriebe entschieden (Hang-On-Allradantrieb), wie es auch in den Allradvarianten des 911 zum Einsatz kommt. Die Hinterachse ist immer angetrieben. Die Vorderachse ›

Das Heck mit dezenten Konturen und harmonischen Rundungen vereint Sportlichkeit mit Eleganz.

Der Macan ist, verbunden mit einem hohen Niveau an Komfort und Alltagstauglichkeit, ein sportlicher Alleskönner für Straße und Gelände.

erhält ihr Antriebsmoment in Abhängigkeit des Sperrgrads der elektronisch geregelten Lamellenkupplung.

Offroad-Modus

Ergänzt wird die Straßenperformance durch herausragende Offroad-Fähigkeiten. Ein Rampenwinkel von 17,1 Grad (mit Luftfederung im Geländeniveau: 19 Grad), eine Bodenfreiheit von 198 Millimetern (230 Millimeter) und ein Böschungswinkel vorn von 24,8 Grad (26,6 Grad) sowie 23,6 Grad hinten (25,3 Grad) sprechen auch hier eine klare Sprache.

Bremsen mit herausragender Leistung

Der Macan führt auf dem üblichen hohen Niveau der Marke auch hier sein Marktsegment an: Er hat die leistungsfähigsten Bremsen. An der Vorderachse kommen Sechskolben-Festsattelbremsen in Aluminium-Monobloc-Bauweise zum Einsatz. An der Hinterachse sorgen in allen Modellen Kombi-Faustsattel-Bremsen mit integrierter elektrischer Parkbremse für die Verzögerung.

Mischbereifung: funktionale und optische Vorteile

Sportwagentypisch ist die Bereifung des Macan: Die breiteren Reifen an der Hinterachse steigern im Zusammenspiel mit dem heckbetont ausgelegten Allradantrieb die Traktion und erhöhen die Fahrstabilität. Die Vorderreifen tragen zur sportlich präzisen Lenkung und damit zur Agilität des Fahrzeugs bei. Serienmäßig erhalten alle Porsche Macan das Reifendruckkontrollsystem (RDK). Es erhöht die Fahrsicherheit und den Komfort, indem es bei zu geringem Reifenfülldruck oder schnellem Druckverlust warnt.

Der Macan verbindet alle Sportwagen-Merkmale mit den Vorteilen eines SUV und ist ein echter Porsche.

Drei Fahrwerksvarianten für den Macan

Für den Macan gibt es drei Fahrwerksvarianten. Bereits die serienmäßige Stahlfederung im Macan S und Macan S Diesel erfüllt hohe Anforderungen an Performance, Fahrspaß, Geländetauglichkeit und Komfort. Konsequenter Leichtbau etwa über Achs- und Fahrwerksteile aus Aluminium trägt zu Fahrdynamik und Fahrkomfort bei.

Die zweite Fahrwerksvariante ist die Kombination der Stahlfederung mit dem Porsche Active Suspension Management (PASM) – Standard im Topmodell Macan Turbo. Für Macan S und Macan S Diesel kann PASM als Option gewählt werden. Das elektronisch geregelte Stoßdämpfer-Verstellsystem regelt aktiv und kontinuierlich die Dämpferkraft an Vorder- und Hinterachse. Die Stahlfederung zusammen mit PASM erfüllt noch besser hohe Anforderungen an Langstreckenkomfort, Performance und Agilität.

Als dritte Fahrwerksvariante und exklusiv in diesem Fahrzeugsegment steht für den Porsche Macan optional eine Luftfederung inklusive Niveauregulierung, Höhenverstellung und PASM zur Verfügung. Sie bietet die größtmögliche Spreizung zwischen Fahrdynamik und Komfort und genügt auch höchsten Ansprüchen an Komfort, Sportlichkeit und Performance.

Sämtliche Fahrwerkskomponenten, die Fahrwerksabstimmung des Macan sowie die Bremsen sichern ihm eine Ausnahmestellung als *der* Sportwagen in seiner Klasse.

Ein echter Porsche

In der Summe seiner Eigenschaften erfüllt der Macan voll und ganz die Ansprüche an einen straßentauglichen SUV – er ist perfekt auf der Straße unterwegs und bietet dabei die besonderen Reserven von Allradantrieb und Offroad-Performance. Kein anderes Fahrzeug dieses Marktsegments fährt sich auf der Straße selbst in höheren Geschwindigkeitsbereichen so präzise und stabil.

Das macht den Macan zu einem echten Porsche und damit zum Sportwagen unter den kompakten SUV. ■

MACAN-ERPROBUNG IN NARDÒ

Im Rahmen der Entwicklung des neuen Porsche Macan wurden auf der Teststrecke des Nardò Technical Center im süditalienischen Apulien verschiedene Erprobungsmaßnahmen und Tests vorgenommen. Neben der Hochgeschwindigkeitserprobung auf dem 12,6 Kilometer langen Rundkurs wurden beispielsweise auch Bremstests, Ölverbrauchsmessungen oder Rennstarts durchgeführt. Die neuen Macan-Modelle wurden dabei insbesondere im Grenzbetrieb untersucht. Das Nardò Technical Center bietet mit seiner Vielzahl an Strecken die ideale Infrastruktur zur Durchführung von hoch anspruchsvollen Belastungstests, die insbesondere für Rückschlüsse auf das Langzeitverhalten eines Fahrzeugs im Rahmen eines Entwicklungsprozesses von großer Bedeutung sind.

Porsche Car Connect umfasst Services, die das Fahrzeug über ein Smartphone mit dem Kunden verbinden. Hierzu zählen Remote Services, Vehicle Tracking System und spezielle E-Mobility-Services.

Vernetzte Welt

____ Die Vernetzung moderner Fahrzeuge schreitet stetig voran. Porsche Car Connect (PCC) bindet erstmals den Fahrer aktiv in ein IT-Back-End ein. Erfahren Sie in diesem Artikel, welche Vorteile PCC mit sich bringt und gewinnen Sie einen Einblick in den umfangreichen Entwicklungsprozess des innovativen Systems, an dem Porsche Engineering beteiligt war.

Text: Thomas Pretsch, Jochen Spiegel
Fotos: Jörg Eberl

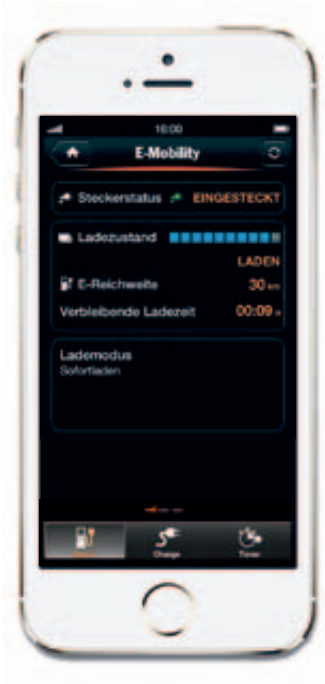
16:00
E-Mobility
Steckerstatus
EINGESTECKT
Ladezustand
LADEN
30 km
E-Reichweite
00:09 h
Verbleibende Ladezeit
Lademodus
Sofortladen
Laden
Timer

Das System „Porsche Car Connect“ ermöglicht dem Fahrer, auf eine Reihe von Fahrzeugfunktionen zuzugreifen, ohne dass er sich in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugs befindet – ganz einfach mittels Smartphone-App. Diese Form beziehungsweise Ausweitung der Vernetzung stellt neue Anforderungen an die komplette Entwicklungskette – von der Spezifikation der Funktionen über die Applikation im Fahrzeug bis hin zu manuellen, halb automatisierten oder voll automatisierten Tests – und bringt viele Fragen mit sich: Wie bringt man Fahrer- und Fahrzeugdaten möglichst komfortabel zusammen, wo doch der Kunde bei der Bestellung des Fahrzeugs weder Fahrgestellnummer noch das Kennzeichen kennt? Wie kann das System schnell und effizient in Betrieb genommen werden? Soll der Kunde mehrere Telefone mit einem Fahrzeug verbinden oder vielleicht sogar mehrere Fahrzeuge mit einem Smartphone steuern können? Um auf solche Fragen passende Antworten und Lösungen zu finden, müssen neue Prozesse entworfen, getestet und schließlich etabliert werden.

Was genau ist Porsche Car Connect (PCC)?

Porsche Car Connect integriert zwei zusätzliche Komponenten in die Vernetzungswelt moderner Fahrzeuge: das Smartphone des Fahrers und einen Sicherheitsserver. Letzterer stellt die korrekte Authentifizierung und dementsprechend eine sichere Kommunikation zwischen den beiden Komponenten – Fahrzeug und Smartphone – sicher. Der Funktionsumfang von PCC gliedert sich in drei große Blöcke: E-Mobility-, Remote- und Security-Services.

Die Funktionen im Paket „E-Mobility“ erlauben beispielsweise das komfortable Setzen von Abfahrts-Timern, sprich dem Zeitpunkt, zu dem das Fahrzeug vollständig geladen und für die Abfahrt zur Verfügung stehen soll. Hat der Kunde auch die Option „Standklimatisierung“ erworben, kann das Fahrzeug bis zum Abfahrtszeitpunkt wunschgemäß klimatisiert werden. Der Vorteil liegt auf der Hand: Wird das



E-Mobility-Statusanzeige

E-Reichweite mit aktuellem Ladezustand

Fahrzeug zum Beispiel bereits beheizt, während es am Stromnetz angeschlossen ist, so muss die hierfür notwendige Energie nicht der Hochvolt-Batterie entnommen werden.

Der Bereich „Remote Services“ liefert unter anderem Informationen zu Kilometerstand, Restreichweite, Reifendruck oder zum Status von Türen und Fenstern. Das Fahrzeug kann geortet und dessen Position auf der Karte angezeigt werden, sodass sich schließlich problemlos eine Route zum Fahrzeug berechnen lässt. Sofern die Zündung ausgeschaltet ist, können auch Blinker und Hupe kurz aktiviert werden, um das Fahrzeug leichter ausfindig zu machen. Zudem lassen sich mithilfe einer Kartendarstellung Bereiche eingrenzen, bei deren Überschreitung eine Meldung an das Smartphone des Kunden gesendet wird.

Unter dem Menüpunkt „Security“ finden sich Funktionen des Porsche Vehicle Tracking Systems (PVTS) wieder, welches bereits seit 2005 optional für alle Porsche-Modelle erhältlich ist. Unter anderem umfasst dieses Paket einen automatischen Notruf im Falle eines Unfalls mit Auslösung der Airbags und einer erweiterten Pannenhilfe. Ruft der Kunde über die Smartphone-App „Porsche Assistance“ Hilfe, können zusätzlich Informationen zum Fahrzeugstandort und zu Fahrzeugzuständen übermittelt werden, was im Pannenfall schnelle und gezielte Hilfe ermöglicht.

Privatsphäre und Datenschutz sind gewährleistet

Bei der Vielfalt an Möglichkeiten zur Ortung des Fahrzeugs sei angemerkt, dass es dem Fahrer – auch aus datenschutzrechtlichen Gründen – jederzeit problemlos möglich ist, über seine Daten selbst zu bestimmen. Dazu gehört unter anderem auch sein Aufenthaltsort. Über einen entsprechenden Menüpunkt im Kombiinstrument kann die Verknüpfung von einem oder gegebenenfalls mehreren Smartphones mit dem Fahrzeug temporär gelöst werden. Hiervon ausgenommen sind natürlich die sicherheitsrelevanten Funktionen wie die Ortung bei Auslösung des automatischen Notrufs oder im Falle eines Fahrzeugdiebstahls.

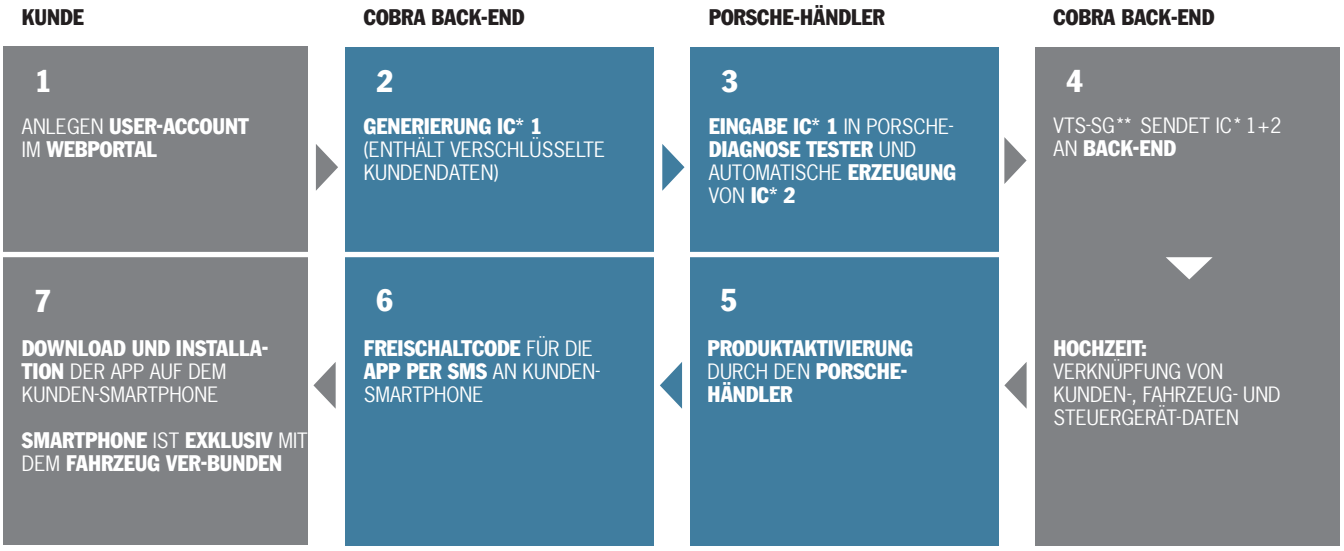
Abgleich von Fahrer- und Fahrzeugdaten

Zum Zeitpunkt der Konfiguration des Fahrzeuges kennt der Kunde, wie bereits erwähnt, weder die Fahrgestellnummer noch das Kennzeichen. Es musste also ein Weg gefunden werden, die Daten des Fahrers zu gegebener Zeit mit denen des Fahrzeugs zusammenzuführen.

Hierfür wurde ein Prozess entwickelt, der eine einfache, schnelle und sichere Verknüpfung der Daten ermöglicht: Zunächst legt der Kunde einen PCC-Account über die Porsche-Website (www.porsche.com/connect) unter Angabe seiner E-Mail-Adresse und seiner Handy-Nummer an. Er erhält in diesem Zuge eine E-Mail sowie eine SMS mit einem Bestätigungscode, den er im nächsten Schritt zur Verifizierung dieser Angaben eingeben muss. Sind schließlich mit Name und Adresse die persönlichen Angaben vervollständigt, wird dem Kunden der Installationscode (IC) zugeschickt, den er seinem Händler für die Inbetriebnahme des Systems übergibt.

Hat der Händler das Fahrzeug erhalten, kann er mittels Porsche integriertem Diagnose Tester (PiDT) und Installationscode die Inbetriebnahme durchführen. Der Prozess wurde auf höchste Automatisierung hin ausgestaltet, um Fehlkonfigurationen des Systems durch Fehlbedienungen ausschließen zu können. Während der Inbetriebnahme werden beispielsweise automatisch Informationen zu Ausstattung, Farbe und Fahrgestellnummer ausgelesen. Nun findet zum ersten Mal eine Kommunikation mit dem Sicherheitsserver statt: Der vom Händler eingegebene Installationscode des Kunden wird zusammen mit den automatisch ausgelesenen Fahrzeugdaten an den Server gesendet, wo nun die Datensätze von Kunde und Fahrzeug miteinander verknüpft werden. Dies stellt die Grundlage für die Konfiguration des Systems im Fahrzeug und die nachfolgenden Funktionstests dar. Um länderspezifischen Versicherungsanforderungen gerecht zu werden, wird die Auslösung von Hupe, Blinkern und Wegfahrsperre durch den PiDT ›

Kundenportal für Porsche Car Connect



* Installationscode; **„Vehicle Tracking System"–Steuergerät

Anmelde- und Inbetriebnahmeprozess

Mehrere Dimensionen beeinflussen die Funktionalität der Smartphone-App

automatisiert geprüft. Nach erfolgreichem Testen wird das System automatisch durch den Server aktiviert und der Kunde erhält eine Willkommens-SMS mit Hinweis auf die PCC-App und dem hierfür erforderlichen Aktivierungscode. Nach Installation der App und Eingabe des Aktivierungscodes kann der Kunde auf sein Fahrzeug zugreifen.

Je nach Bedarf können im Nachgang über das Portal weitere Fahrzeuge und Smartphones hinzugefügt und beinahe beliebig verknüpft werden. So besteht beispielsweise die Möglichkeit, mehrere Fahrzeuge über eine App zu steuern und zwischen den Fahrzeugen zu wechseln. Ebenso können mehrere Smartphones Zugriff auf ein Fahrzeug erhalten.

Das Erscheinungsbild der App variiert

Während der Inbetriebnahme werden einige Daten zur Fahrzeugkonfiguration ausgelesen und an den Server gesendet. Beim ersten Öffnen der App wird diese Konfiguration geprüft und das Erscheinungsbild automatisch angepasst, insbesondere in Bezug auf die fahrzeugtyp-spezifischen Menüpunkte sowie die optional buchbaren Pakete wie die Untermenüs E-Mobility, Remote Services und Security.

Innovatives Testing im Rahmen des Entwicklungsprozesses

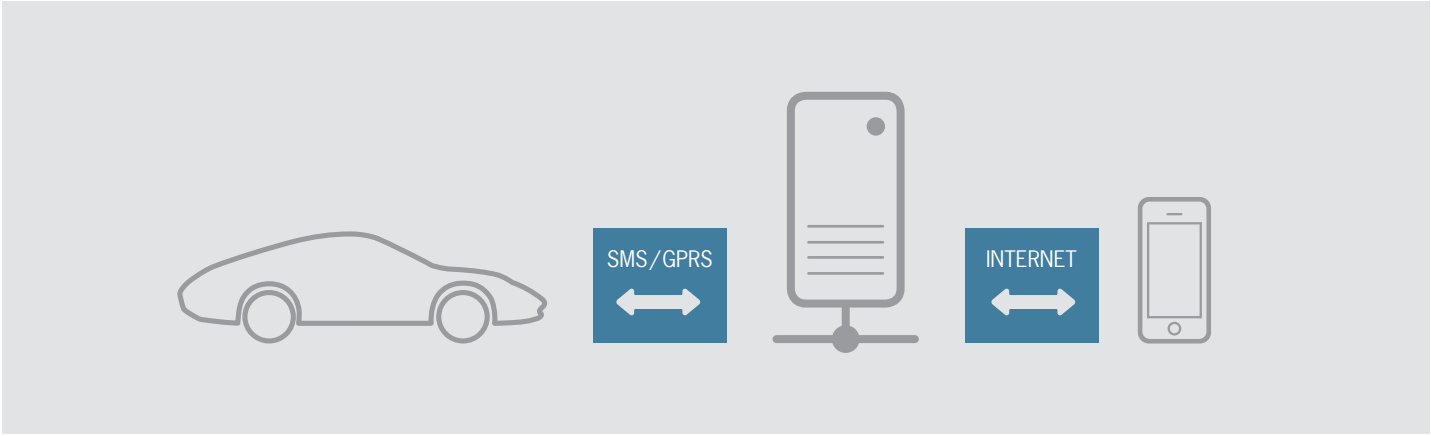
Es existiert also eine Vielzahl an Ausprägungen sowohl in Bezug auf das Erscheinungsbild der Smartphone-App als auch auf die zugrunde liegenden Funktionalitäten. Hinzu kommt die Erweiterung der Vernetzung über das Fahrzeug hinaus bis zum Smartphone des Kunden. Demzufolge mussten auch im Bereich Testing neue Wege beschritten werden, um die Kommunikationskette „End-to-End“ prüfen zu können. Der Begriff Vernetzung im Kontext PCC muss dementsprechend mehrdeutig verwendet werden.

Einerseits ist an dieser Stelle die Vernetzung des VTS-Steuergerätes innerhalb des Fahrzeugs und die daraus folgenden Abhängigkeiten zu unterschiedlichen Steuergeräten zu nennen. Ein Beispiel ist hier das Setzen eines Abfahrts-Timers, bei dem neben dem korrekten Routing ebenfalls das Kombiinstrument und die Ladeelektronik eine entscheidende Rolle spielen, um die Gesamtfunktion abzubilden.

Die wohl größte Herausforderung stellt jedoch die Kommunikationsstrecke „Smartphone – Back-End – Steuergerät“ dar, welche eine völlig neue Form des Testings im Bereich der Automobilindustrie fordert. Wie in der unten stehenden Abbildung veranschaulicht, müssen nicht nur die Einzelkomponenten validiert werden, sondern gleichermaßen deren Schnittstellen und somit die vollständige End-to-End-Kette.

Werden nun zusätzlich diejenigen Aspekte ergänzt, dass zu jeder Einzelkomponente unterschiedliche Release-Zyklen, Baureihen und Smartphone-Generationen sowie mehrere Dimensionen bei der Kundenkonfiguration (siehe Seite links, Grafik unten) zugrunde liegen, wird die Komplexität dieser neuen Anforderungen schnell deutlich.

Um die erläuterten Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen, mussten im Bereich „Testumgebungen“ neue Wege beschritten werden. Fahrzeuge wurden dabei zu speziellen Aggregateträgern aufgerüstet, um ein möglichst kundennahes Umfeld zu repräsentieren. Hierfür erfolgte die Integration von Porsche Car Connect in bereits bestehende seriennahe Fahrzeugstrukturen, die neben Anpassungen im Signalrouting ebenfalls den Einsatz von Simulationen beinhalteten. Ein Beispiel ist der Einsatz des Schnittstellen-Steuergerätes (SSG) zur ›



Kommunikationskette End-to-End

Simulation der Ladeelektronik. Mithilfe des SSGs konnten E-Mobility-Umfänge in ein konventionelles Fahrzeug gebracht werden. Ermöglicht wurden Funktionen wie das Setzen eines Abfahrts-Timers oder das Auslesen des Klimastatus, sodass diese letztlich am Kunden-Front-End, der Smartphone App, validiert werden konnten.

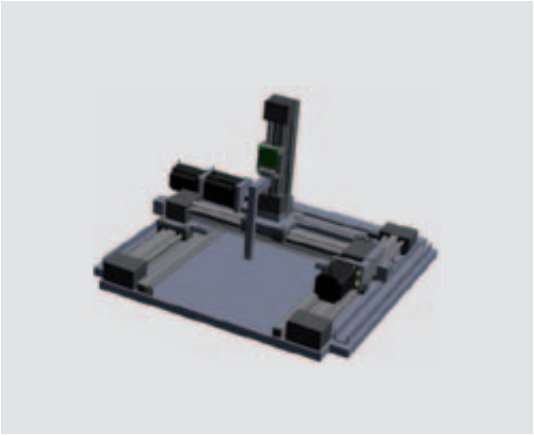
Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Erweiterung der Datenlogger im Rahmen der Mobilfunkkommunikation/Luftschnittstelle. Um den Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Server nachzuverfolgen und temporäre Einschränkungen in der Verfügbarkeit des Steuergeräts im GSM-Netz zu verstehen, wurden spezielle Logger direkt am Steuergerät angebracht. Mit diesen kann die interne Steuergerätekommunikation erfasst und entsprechend analysiert werden.

Zur Bewältigung der vielfältigen Testfälle, insbesondere deren Permutationen, wurde auf automatisiertes Testing an Hardware-in-the-Loop-Systemen (HiL-Systemen) gesetzt. In diesem Zusammenhang wurde ein bestehendes HiL-System so erweitert, dass die Anforderungen der vollständigen End-to-End-Kette automatisiert getestet werden können.

Neben der Steuerung von Netzteilen, beispielsweise für Spannungsabfall- bzw. Bordspannungsausfall-Szenarien, können die am VTS-Steuergerät befestigten Antennen (u. a. GPS- und GSM-Antenne) automatisiert getrennt und verbunden werden. Eine weitere wesentliche Rolle spielt hierbei ein in den HiL modular integrierter Roboter (Abbildung unten links), welcher beliebige Smartphones automatisiert bedient. Ein typischer Anwendungsfall ist der Mechanismus „Spielschutz“, welcher die Kommunikation zum Fahrzeug unterbindet, wenn dieses mehr als hundert Mal aus der Ferne per Smartphone-App geweckt worden ist.

Unter einem „Hardware-in-the-Loop-System“ versteht man im Kontext der Automobilindustrie einen Simulationsaufbau, welcher echte Hardwarekomponenten (z. B. Steuergeräte) mit softwarebasierter Simulation verbindet und somit ein möglichst realitätsnahes Testing ermöglicht.

Weiterhin musste berücksichtigt werden, dass Porsche Car Connect bereits über mehrere Baureihen hinweg angeboten wird. Aus diesem Grund wurde an dem HiL-System ein modulares Einschub-Konzept etabliert, um beliebige Baureihen abzubilden und entsprechend in die Testumgebung mit einzubeziehen. Unterstützt werden die an diesem speziell angepassten HiL durchgeführten automatisierten Tests durch weitere konkret auf den Fahrzeugverbund bezogene Versuche an Fachbereich-HiLs. Hier steht die Vernetzung der Steuergeräte im Mittelpunkt und erlaubt dadurch einen übergreifenden Blick auf das Gesamtfahrzeug.



Bedienroboter für beliebige Smartphones

Die Brücke zwischen Automatisierung und Kundenverhalten

Für eine angestrebte vollständige Abdeckung der Funktionen von Porsche Car Connect sind insbesondere aus Kundensicht Erprobungen im Dauerlauf, Breitenerprobung sowie die eigenen teaminternen Erprobungen unerlässlich.

Aufgrund der Tatsache, dass das Kommunikationsmodul eine entscheidende Rolle innerhalb des VTS-Steuergeräts spielt, sind Erprobungen im länderübergreifenden Umfeld unabdingbar und es bedarf hierbei eines speziellen Know-hows im Bereich Kommunikation und Mobilfunk, um den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen Rechnung zu tragen. Die konzentrierte Entwicklersicht auf die Produkte stellt einen weiteren Bestandteil der Untersuchung von offenen funktionalen Themen dar.

Der Dauerlauf ist als Brücke zwischen Entwickler und Kunde anzusiedeln. Hier wird das Produkt mehrfach täglich verwendet und es werden definierte Prüfkataloge bearbeitet. Dies führt zu wichtigen Rückmeldungen bezüglich Verhalten im

Eine Vielzahl an Erprobungen ist unerlässlich für eine vollständige Abdeckung der Funktionen von PCC aus Kundensicht.

überdurchschnittlichen Gebrauch. Der jeweilige Fahrer durchläuft gemäß den Vorgaben im Prüfkatalog systematisch die Smartphone-App und dokumentiert dabei sämtliche Auffälligkeiten. Die Breitenerprobung im Gegenzug spiegelt das typische durchschnittliche Kundenverhalten wider und prüft realistische Verhaltensmuster.

Noch viele weitere Komfort-Funktionen sind möglich

Die Erweiterung der vernetzten Komponenten um den Kunden selbst bietet viele Ansatzpunkte, neue Funktionen für die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug umzusetzen. Dem Kunden bietet Porsche Car Connect somit weitere Möglichkeiten, mit dem Auto zu interagieren und erhöht das Maß an Komfort enorm.

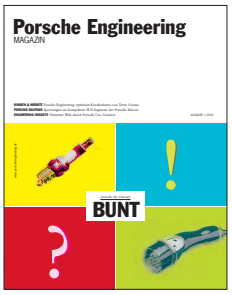
Für die Entwicklungsingenieure bringen diese neuen Funktionen sowie die Erweiterung der Vernetzung über das Fahrzeug hinaus eine Reihe neuer Anforderungen in den Bereichen Spezifikation, Applikation und Testing mit sich, was sich in den kommenden Jahren noch deutlich erweitern wird. Themen wie Remote Diagnostics oder Car-to-Car und Car-to-Infrastructure stehen in ihrer Umsetzung noch ganz am Anfang und bieten viel Potenzial für weitere Entwicklungen. Porsche Engineering wird diese neue vernetzte Welt aktiv mitgestalten. Wir dürfen gespannt sein. ■

PANAMERA S E-HYBRID: Kraftstoffverbrauch kombiniert 3,1 l/100 km: CO_2-Emissionen 71 g/km; Stromverbrauch 16,2 kWh/100 km; Effizienzklasse DE/CH A+/A

IMPRESSUM

Porsche Engineering
MAGAZIN

AUSGABE 1/2014



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

REDAKTIONSLEITUNG
Frederic Damköhler
REDAKTION | KOORDINATION
Nadine Guhl
ANZEIGEN
Frederic Damköhler
GRAFISCHE GESTALTUNG
VISCHER&BERNET, Stuttgart
ÜBERSETZUNG
RWS Group GmbH, Berlin
GESAMTHERSTELLUNG
Kraft Druck GmbH
76275 Ettlingen

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

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

www.porsche-engineering.de

www.porsche-consulting.com

Warum sollte man Kunden nur zufriedenstellen,
wenn man sie auch begeistern kann.

Porsche Consulting.

PORSCHE

Kraftstoffverbrauch (in l/100 km) kombiniert 3,1–3,0; CO_2-Emissionen kombiniert 72–70 g/km; Stromverbrauch 12,7 kWh/100 km

www.porsche-nardo.com

Damit aus Leistung eine runde Sache wird,
muss man sie genauso testen.

Nardò Technical Center.

Nardò Technical Center
Porsche Engineering

PORSCHE