

# Porsche Engineering

MAGAZIN

**PORSCHE HAUTNAH** Der Porsche 718 Boxster – zwei Generationen, eine Idee

**KUNDEN & MÄRKTE** Auf Erprobung mit Porsche Engineering

**ENGINEERING INSIGHTS** Optimierter variabler Ventiltrieb – vom Konzept zur Serienfreigabe

AUSGABE 1/2016

[www.porsche-engineering.de](http://www.porsche-engineering.de)



**e-technology**



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

**Porsche Engineering**  
driving technologies



**PORSCHE**



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

## Über Porsche Engineering

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

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

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

\_\_\_\_\_ mit dem Mission E zeigen wir die Porsche-Vision für Elektromobilität auf – eine Elektromobilität, die alltags-tauglicher sein und jenseits des bisher Möglichen liegen wird. Wie wir das realisieren? Durch die intelligente Weiterentwicklung und Kombination von existierenden Technologien, Funktionen und Komponenten. Wir nennen das e-technology.

Wie wäre es zum Beispiel mit einer Ladepause von nur 15 Minuten, nach denen wieder 80 Prozent des maximalen Ladezustands hergestellt sind, d.h. 400 Kilometer Reichweite? Die 800-Volt-Ladetechnologie macht dies möglich. Oder was halten Sie von Effizienzgewinnen in der Entwicklung des elektrischen Antriebstrangs durch präzise Simulationsmodelle? Das Engineering hält mit all diesen Veränderungen Schritt – von der ersten innovativen Idee bis zur Realisierung des finalen Produkts. Und gewährleistet so beispielsweise auch bei immer leistungsstärkeren elektrischen Energieflüssen eine optimale elektromagnetische Verträglichkeit.

Wo das alles hinführt? In eine nachhaltige Zukunft – ganz in der Tradition unterschiedlichster Kunden-, Forschungs- und Fahrzeugprojekte, mit denen wir den Weg dorthin stetig beschreiten: von Ferdinand Porsches Vollhybrid-Konzept „Semper Vivus“ im Jahr 1900 über vollelektrische Forschungs-Boxster und Serien-Hybridfahrzeuge bis hin zum Mission E, der in einzigartiger Weise zeigen wird, was e-technology bedeutet.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre und viel Spaß beim Lesen!

Ihr Malte Radmann und Ihr Dirk Lappe

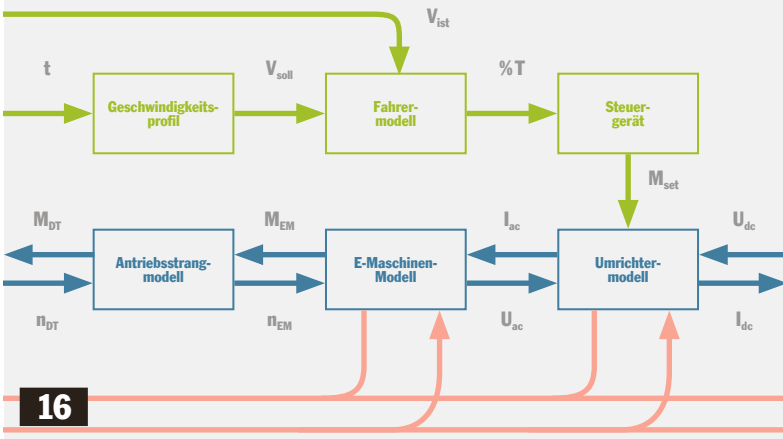


# 30

## **KUNDEN & MÄRKTE** **100% TESTING**

---

*Die Erprobungsdienstleistungen von Porsche Engineering verbinden einzigartige Ressourcen wie etwa das Nardò Technical Center in Süditalien mit dem Know-how und der Erfahrung aus der Serienentwicklung von Sportwagen. Begleiten Sie uns auf eine Erprobungsfahrt.*



## E-TECHNOLOGY

- 10 e-power**  
Neue Möglichkeiten durch Laden mit 800 Volt
- 16 e-models**  
E-Maschinen-Modelle – Ansatz, Einsatz und Validierung
- 22 e-functionality**  
Systemfunktion durch elektromagnetische Verträglichkeit
- 28 e-opportunity**  
Uwe Michael, Porsche AG, über neue Möglichkeiten der E-Mobilität

## KUNDEN & MÄRKTE

- 30 100% Testing**  
Erprobungsdienstleistungen von Porsche Engineering

## PORSCHE HAUTNAH

- 38 Zwei Generationen, eine Idee**  
Der neue Porsche 718 Boxster und sein Urahn im Vergleich

## ENGINEERING INSIGHTS

- 44 Variabler Ventiltrieb**  
Vom Konzept zur Serienfreigabe
- 50 Quergedacht**  
Nachwuchskräfte tüfteln für Porsche Design

- 
- 03** Editorial
  - 06** News
  - 53** Impressum
- 

**718 BOXSTER/718 BOXSTER S**  
Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 8,1–6,9 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission (kombiniert): 184–158 g/km

# News

A detailed photograph of a complex industrial engine mounted on a test rig. The engine is the central focus, surrounded by various components like hoses, sensors, and a robotic arm. The background shows a clean, industrial environment with metal structures and lighting.

---

## REIBLEISTUNGSMESSUNGEN AM VOLLMOTOR

ZUSÄTZLICHER PRÜFSTAND VERFÜGBAR

— Porsche Engineering erweitert die Prüfmöglichkeiten im Bereich der Motorattrappen um Reibleistungsmessungen und Schleppuntersuchungen am Vollmotor. Durch Strip-Messungen können nun gezielt individuelle Reibleistungsuntersuchungen an einzelnen Motorbaugruppen und -komponenten durchgeführt werden. Wie branchenüblich sind sowohl Kühlwasser und Motoröl als auch die Raumluft konditionierbar. Neben der Reibleistung des Vollmotors sollen auch die Potenziale einzelner Baugruppen ermittelt werden wie beispielsweise die des Kurbeltriebs oder von Komponenten im Nebenaggregattrieb in Bezug auf den Kraftstoffverbrauch. Der neue Prüfstand ergänzt die bereits vorhandenen Einrichtungen zur Untersuchung von Zylinderköpfen und Ventiltrieben dabei optimal. ■

---

## BERUFSORIENTIERUNG FÜR JUGENDLICHE

VIELZAHL VON MÖGLICHKEITEN



Um Jugendliche bereits frühzeitig mit der Automobilindustrie und dem Berufsbild der Ingenieurin/des Ingenieurs vertraut zu machen, bietet Porsche Engineering nicht nur Schülerpraktika an, sondern engagiert sich auch im Rahmen verschiedener Initiativen. Regelmäßig beteiligt sich das Unternehmen am bundesweiten Girls' Day, bei dem junge Mädchen technische und naturwissenschaftliche Berufsfelder kennenlernen. Eine weitere Initiative ist die Schüler-Ingenieur-Akademie (SIA), die sich an Abiturientinnen und Abiturienten richtet und konkrete Berufseinstiegsinformationen im Bereich der Ingenieurwissenschaften vermittelt. Außerdem existiert seit 2010 eine Bildungspartnerschaft mit den Ellentalgymnasien in Bietigheim-Bissingen. ■

## WOHLTÄTIGKEITSLAUF IN SÜDITALIEN

NARDÒ ALS HAUPTSPONSOR



Bereits das dritte Jahr in Folge engagierte sich das Nardò Technical Center (NTC) als Hauptsponsor eines Wohltätigkeitslaufs auf der süditalienischen Halbinsel Salento. Die Benefizveranstaltung wird jährlich von einer Kooperation des Rotary Clubs von Gallipoli mit zwei lokalen Laufvereinigungen organisiert, die Einnahmen gehen als Spende an die Pädiatrische Onkologie des Vito-Fazzi-Krankenhauses in Lecce. Der Lauf am 22. Mai 2016 fand erstmals als „Natural Trail“ statt, die Strecke führte durch den nahe dem NTC-Testgelände gelegenen Naturpark Porto Selvaggio. ■

## VORLESUNGSREIHE AN PRAGER UNIVERSITÄT

INGENIEURE HALTEN GASTVORTRÄGE



Um hinsichtlich neuer technologischer Trends und Entwicklungen immer am Puls der Zeit zu sein, pflegt Porsche Engineering seit jeher einen engen Austausch mit der Forschung und Studierenden. Im Rahmen einer Vortragsreihe von Porsche Engineering an der Czech Technical University in Prag erhielten die Studentinnen und Studenten die Gelegenheit, ihr theoretisches Wissen durch Erfahrungen und Know-how aus der Ingenieurspraxis zu erweitern. Vom 18. bis 22. April 2016 stellten die Porsche-Ingenieure die Themengebiete „Chassis Concept“, „Vehicle Package & Concept“ sowie „Body-in-White Design“ vor und diskutierten mit den Studierenden aktuelle Trends und Technologien. ■



# e-technology



\_\_\_ Durch intelligente Weiterentwicklung und die Verbindung von Technologien, Funktionen und Komponenten wird die Zukunft Realität: e-technology ermöglicht eine Elektromobilität, die alltags-tauglicher sein und jenseits des bisher Möglichen liegen wird. Erfahren Sie mehr über Potenziale in der Ladetechnologie, bei Simulationsmodellen, in der elektromagnetischen Verträglichkeit oder beim Megatrend Digitalisierung. Die Zukunft ist vielversprechend.



# e-power

## Neue Möglichkeiten durch Laden mit 800 Volt

\_\_\_ Für den Durchbruch der Elektromobilität auf breiter Basis fehlt es noch an bedeutenden technischen Eigenschaften in Bezug auf die Alltagstauglichkeit: Neben weiteren Verbesserungen hinsichtlich der Kosten sind sowohl die Reichweite als auch die Verfügbarkeit ausreichender Infrastruktur die kritischsten Faktoren. Großes Potenzial bietet hier die 800-Volt-Technologie, die von Porsche stark vorangetrieben wird.

*Von Volker Reber*



800-Volt-Ladeanschluss am Porsche Mission E

Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass der überwiegende Anteil an aktuell verfügbaren Elektrofahrzeugen als Pendlerfahrzeug oder für den Einsatz in Innenstädten ausgelegt ist. Zumeist ist häufiges Nachladen erforderlich und die Fahrleistungen werden den üblichen Nutzeranforderungen selten gerecht. Selbst bei langen Ladevorgängen, beispielsweise über Nacht oder während der Arbeitszeit, bleibt die gewonnene Reichweite aufgrund der derzeit relativ geringen Batteriekapazität überschaubar.

Mit der Studie Mission E gab Porsche auf der IAA 2015 einen Ausblick auf ein Fahrzeug, das sowohl bei den Fahrleistungen als auch bei der Reichweite ein echter Porsche und eine vollwertige Alternative für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor sein wird. Der effiziente Antriebsstrang und die hohe Kapazität der Batterie erlauben eine Reichweite von mehr als 500 km im NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus). Damit lässt sich der überwiegende Anteil aller Fahrten über mehrere Tage hinweg mit einer einzigen Akkuladung erledigen. Die Notwen-

digkeit, bei jeder sich bietenden Gelegenheit nachzuladen, wird deutlich reduziert. Die Stromversorgung erfolgt mit Wechselstrom (AC). Die Umwandlung in den für die Batterie notwendigen Gleichstrom (DC) erfolgt dabei über ein im Fahrzeug verbautes Ladegerät. Anstatt an der Tankstelle Kraftstoff zu tanken, wird das Fahrzeug einfach zu Hause geladen.

Bei langen Strecken, die in möglichst kurzer Zeit zu bewältigen sind, machen sich Wartezeiten für den Ladevorgang stark bemerkbar und sind für den Verbraucher meist nicht akzeptabel. Um den Ladevorgang kurz zu halten, wird eine hohe Ladeleistung benötigt. Entsprechende Wechselstrom-Ladesysteme sind wegen ihres Gewichtes und der Abmessungen nicht mehr für einen Einbau im Fahrzeug geeignet. Deshalb kommen an dieser Stelle Schnellladesysteme mit der Umwandlung von Wechsel- auf Gleichstrom in der Ladesäule zum Einsatz. Im Fahrzeug entfällt das schwere Hochstrom-Ladegerät, es bleibt nur die notwendige Sicherheits- und Überwachungseinheit. >

## LADEZEITENVERGLEICH (80 % LADEZUSTAND / 400 KM)

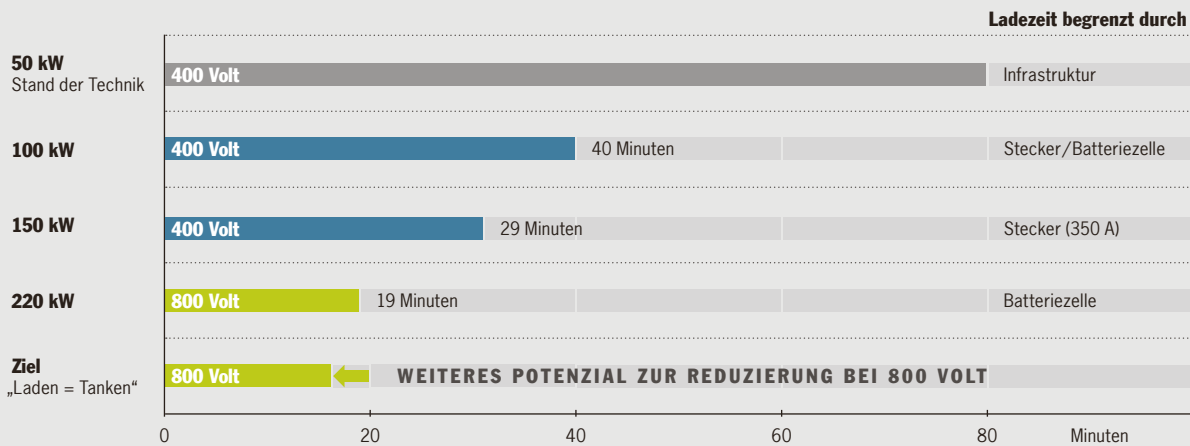


Abbildung 1

### 800-Volt-Ladetechnologie: Porsche Turbo Charging in Bestzeit

Eine passend ausgelegte Schnellladeinfrastruktur muss dem gewohnten Nutzerverhalten bei langen Fahrstrecken entgegenkommen und ein komfortables Verhältnis von Fahrt- zu Pausenzeit ermöglichen. Innerhalb der üblichen Pausenzeiten von 15 bis 20 Minuten sollte Energie für eine Reichweite von rund 400 Kilometer nachgeladen werden können. Diesem Ziel stehen jedoch überwiegend technisch limitierende Faktoren entgegen (siehe Abbildung 1).

Die heutigen DC-Schnellladestationen für Elektroautos arbeiten üblicherweise mit einer Spannungslage von rund 400 Volt. Die Ladeleistung liegt im Bereich von 50 Kilowatt, sodass sich die Ladezeit für die gewünschten 400 Kilometer Reichweite auf etwa 80 Minuten summiert. Erhöht man die Leistung einer solchen 400-Volt-Ladesäule, ist bei rund 100 Kilowatt Ladeleistung die Grenze der Leistungsfähigkeit der Ladepins im Ladestecker erreicht. Unter diesen Bedingungen dauert es circa 40 Minuten, bis die Energie für 400 Kilometer übertragen ist.

Um weitere Steigerungen in Bezug auf die Ladeleistung zu ermöglichen, sind neue Kühlkonzepte nötig. An entsprechenden Systemen arbeiten derzeit unterschiedliche Unternehmen. Durch den Einsatz von gekühlten Ladesteckern erhöht sich die Ladeleistung bei 400-Volt-Ladestationen insoweit, dass eine Ladezeit von circa 30 Minuten für den gewünschten Reichweitzuwachs benötigt wird.

Um die Ladezeiten in den angestrebten Korridor von unter 20 Minuten zu bringen, ist daher der Wechsel auf eine höhere Spannungslage unausweichlich. Dies ergibt sich aus der Formel für elektrische Energie  $E = U \times I \times t$ , wobei  $U$  die Spannung,  $I$  die Stromstärke und  $t$  die Zeit beschreibt. Die Ladezeit  $t = E / (U \times I)$  lässt sich also bei konstanter Stromstärke  $I$  durch eine Erhöhung der Spannung  $U$  erreichen. Durch den Wechsel auf eine doppelt so hohe Spannungslage von rund 800 Volt kann somit die Ladezeit bei gleicher elektrischer Belastung der Ladepins theoretisch auf rund 15 Minuten halbiert werden. Berücksichtigt man den Bezahlvorgang, ist damit das Ziel „Laden wie Tanken“ beinahe erreicht. Porsche hat dieses Konzept als Pionier unter dem Stichwort Porsche Turbo Charging entwickelt.

## DURCHSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT UND LADELEISTUNG

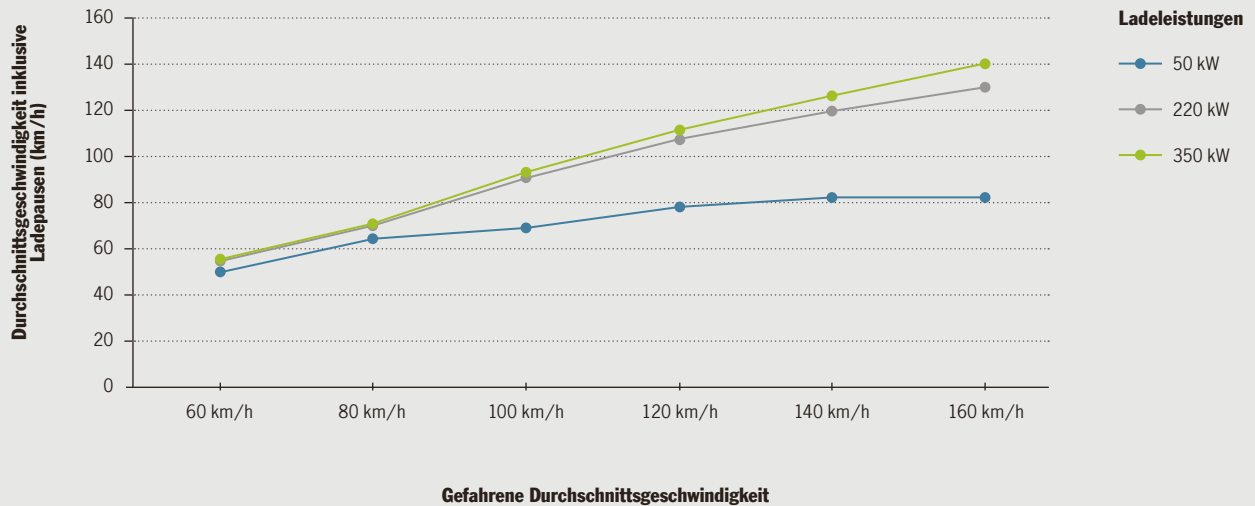


Abbildung 2

### Schneller ans Ziel durch kürzere Standzeiten

Der Nutzen einer leistungsstarken Ladeinfrastruktur lässt sich am Beispiel der erreichbaren Durchschnittsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von den Ladeleistungen bei einer längeren Reise erkennen (siehe Abbildung 2).

Eine Ladestation mit 50 Kilowatt Ladeleistung beeinflusst die Durchschnittsgeschwindigkeit durch lange Ladepausen über die Gesamtstrecke drastisch. Bei der Nutzung einer Ladeinfrastruktur mit 220 Kilowatt lässt sich die erreichbare Durchschnittsgeschwindigkeit bereits spürbar verbessern und die Reisezeit entsprechend verkürzen. Was dies in der Praxis bedeutet, zeigt das Beispiel einer langen Fahrstrecke von Berlin nach Lindau (siehe Abbildung 3 auf Seite 14).

Dieses Beispiel geht für die Strecke von etwa 720 Kilometern beim konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor von einem Tankstopp aus. Bei schneller Fahrt dauert die Reise 5,5 Stunden. Wird dieselbe Route mit einem langstreckentauglichen Elektroauto unternommen, sind bei gleicher



Prototyp einer 800-Volt-DC-Ladesäule, entstanden in Zusammenarbeit zwischen Porsche Design und der Fachabteilung Ladesysteme der Porsche AG

Reisegeschwindigkeit zwei Pausen zum Nachladen notwendig. Das bedeutet, dass mit der aktuell verfügbaren Schnellladeinfrastruktur 45 Prozent mehr Zeit benötigt wird. Beim Einsatz der Schnellladetechnologie mit der Ziel-Ladeleistung von bis zu 350 Kilowatt steigt die gesamte Reisezeit dagegen nur um etwa zehn Prozent.

In der Zukunft wird sich die Ladepause eines Elektrofahrzeuges nicht mehr oder nur noch minimal von der heute gewöhnlichen Tankpause unterscheiden: Der Fahrer parkt sein Fahrzeug an einer Ladesäule und startet den Ladevorgang. Währenddessen nutzt er die Zeit für übliche Pausentätigkeiten wie beispielsweise Einkauf im Kiosk, Essenspause oder Toilettengang. Die Bezahlung des Ladens kann direkt während des Ladevorgangs erfolgen. Ist all dies erledigt, kann die Fahrt im aufgeladenen Auto ohne Zeitverlust fortgesetzt werden.

### Wirtschaftlicher Vorteil durch überproportional höheren Umsatz

Für die Ladeinfrastruktur-Betreiber sind sowohl die Investitionen als auch der wirtschaftliche Betrieb einer Ladestation relevant. Eine Hochleistungs-Ladeinfrastruktur, die die beschriebenen Anforderungen erfüllen kann, erfordert umfangreiche technische Maßnahmen. Die notwendigen Investitionen für eine Ladestation sind somit verhältnismäßig hoch. Durch eine ganzheitliche Betrachtung des Systems vom Netzanschluss bis zur Ladedose können bei geeigneter Auslegung der Topologie wesentliche Einsparungen bei den kostenbestimmenden Komponenten erzielt werden. Im Vergleich der spezifischen Kosten (Euro pro Kilowatt Ladeleistung) schneidet eine Hochleistungs-Ladeinfrastruktur wesentlich günstiger ab als die derzeit verfügbare Schnellladeinfrastruktur auf 400-Volt-Basis. Dies liegt darin begründet, dass zwingend

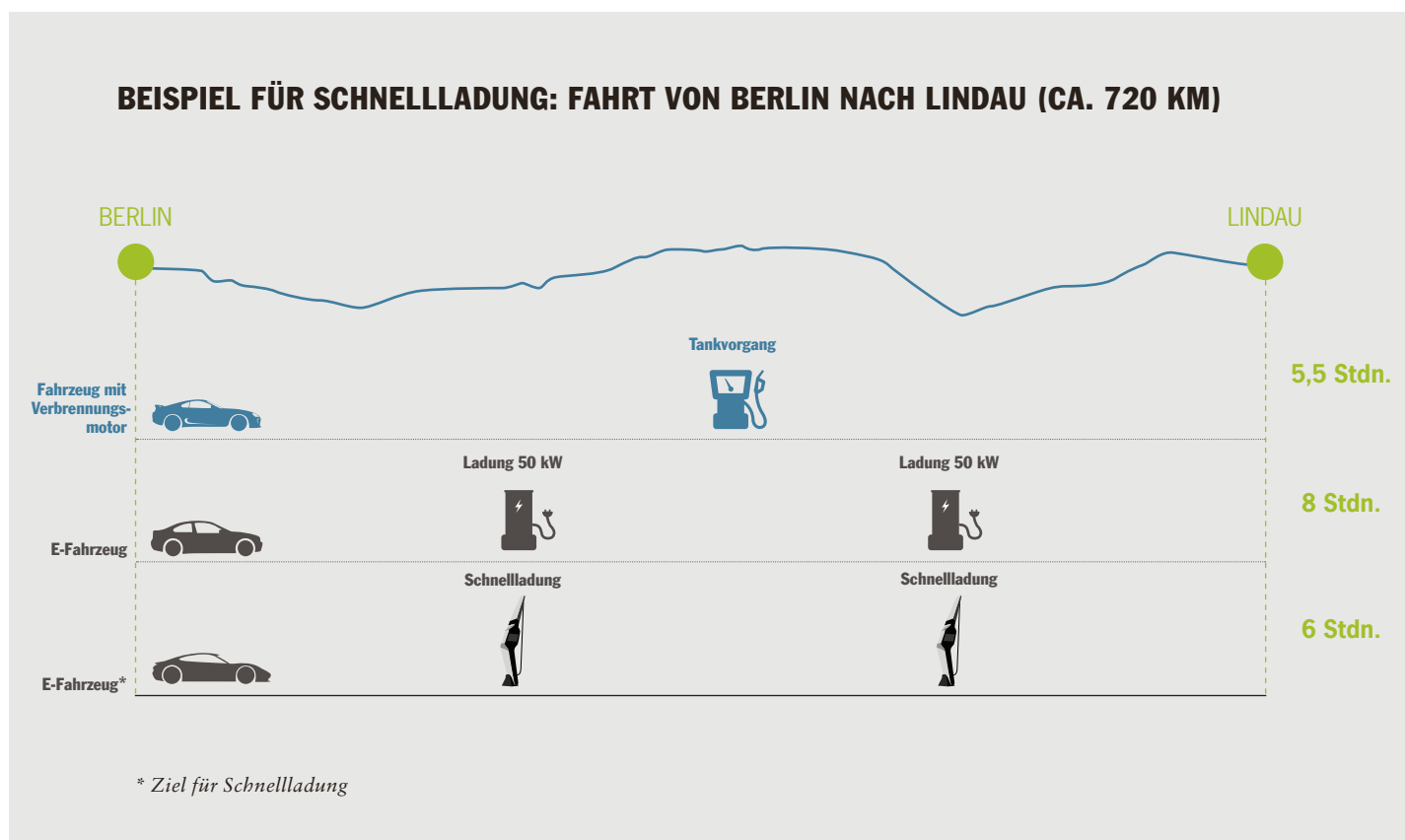


Abbildung 3



*Mission E: Tribut an morgen*

notwendige Basiskomponenten ohnehin bereits vorhanden sind und somit besser genutzt werden.

Der Funktionsumfang der konzipierten 800-Volt-Hochleistungs-Ladestation ermöglicht das Laden sowohl der sich derzeit auf dem Markt befindlichen als auch der nächsten Elektrofahrzeug-Generation mit 400-Volt-Technik. Die Schnittstelle zum Fahrzeug ist normativ und geometrisch auf den CCS-Ladestandard (Combined Charging System) angepasst und vollständig abwärtskompatibel.

Durch eine Anpassung der Ladeschnittstellen können auch andere Ladestandards und Fahrzeugkategorien bedient werden. Die Leistungseinheit, bestehend aus den Komponenten Transformator, DC/DC-Wandler und Gleichrichter, bleibt dabei unverändert. Die Ladespannung und die Ladeleistung werden entsprechend den Anforderungen des Fahrzeugs durch die Leistungseinheit eingestellt. Nur die Schnittstelle zum Fahrzeug muss angepasst werden, sodass beispielsweise auch induktives Laden und das Laden über einen Pantografen beziehungsweise Stromabnehmer bei elektrischen Bussen und Nutzfahrzeugen ermöglicht wird. Durch eine weitgehende Standardisierung der Komponenten der Leistungseinheit lassen sich wesentliche Kostenvorteile als Skaleneffekte gegenüber der derzeit im Markt verwendeten Technik erzielen.

### **Gesteigerte Zukunftschance für die Elektromobilität**

Die Anhebung der Spannungslage auf 800 Volt bei der Infrastruktur ermöglicht eine deutliche Reduktion der Ladezeit. Bereits auf Basis der derzeit verfügbaren Zellchemie sind Ladezeiten möglich, die problemlos in das Reiseprofil von Langstreckenfahrten passen. Die Bewertung der dafür notwendigen Technologie zeigt, dass diese Infrastruktur technisch umgesetzt werden kann. Auch die Wirtschaftlichkeit ist in Relation zum Kundennutzen für Betreiber und Anwender gegeben. ■

# e-models

## E-Maschinen-Modelle – Ansatz, Einsatz und Validierung

Die moderne Fahrzeugentwicklung lässt sich ohne den Einsatz von leistungsstarken Simulationswerkzeugen nicht mehr bewältigen. Dies trifft insbesondere auch auf die Entwicklung elektrifizierter Fahrzeuge zu: Sie zeichnen sich durch einen dynamischen Antrieb mit kurzzeitig hohen Leistungen aus, der aber vergleichsweise schnell seine Belastungsgrenze erreicht. Um in jeder Entwicklungsphase präzise Vorhersagen beispielsweise über Fahrleistung und Verbrauch treffen zu können, sind detaillierte Simulationen des elektrifizierten Antriebsstranges unverzichtbar.

*Von Dr. Malte Jaensch*

Von elementarer Bedeutung für die Simulation des elektrischen Antriebsstranges ist die möglichst realitätsnahe Abbildung des Verhaltens der elektrischen Maschine. Das Herzstück des E-Antriebs scheint auf den ersten Blick sehr einfach aufgebaut: Gehäuse, Rotor, Stator und zwei Lager. Bei genauer Betrachtung zeigt sich die E-Maschine jedoch als hochkomplexes elektrothermomechanisches Gebilde, dessen Modellierung entsprechend anspruchsvoll ist.

### Das Gesamtfahrzeugmodell und seine wichtigsten Komponenten

Ein für die Berechnung von Fahrleistung und Verbrauch geeignetes Modell eines Elektrofahrzeuges umfasst eine große Anzahl eigenständiger Modellblöcke. Diese bilden die Funktionen der entsprechenden Komponenten im Fahrzeug vereinfacht ab. Die wichtigsten Modellblöcke und ihre Interaktion sind in Abbildung 1 näher erläutert.

Das **Fahrermodell** erfüllt die Funktion eines Reglers, indem es die Soll-Geschwindigkeit aus einem vorgegebenen **Geschwindigkeitsprofil** mit der vom **Fahrzeugdynamikmodell** gemeldeten Ist-Geschwindigkeit vergleicht und versucht, über Gas- und Bremspedal beide in Übereinstimmung zu bringen.

Ein **Steuergerät** übersetzt die Stellung von Gaspedal und Bremspedal in eine positive oder negative Drehmomentanforderung, die an den Umrichter übergeben wird. Das **Umrichtermodell** beaufschlagt die elektrische Maschine nun mit einem dem Drehmomentenwunsch entsprechenden AC-Strom. Das **E-Maschinen-Modell** berechnet die in Folge an den Anschlüssen anliegende AC-Spannung und gibt diese an das Umrichtermodell zurück. DC-Strom und DC-Spannung werden vom **Batteriemodell** bestimmt, wobei – analog dem E-Maschinen-Modell – der Strom als Eingang und die Spannung als Ausgang des Modells angenommen werden.

Der vom Umrichtermodell vorgegebene AC-Strom wird im E-Maschinen-Modell in Drehmoment gewandelt und nachfolgend als Eingangsgröße dem **mechanischen Antriebsstrangmodell** zugeführt. Die in diesem Modell abgebildeten mechanischen Komponenten wie Kupplung, Getriebe und Differenzial erhöhen oder verringern das Drehmoment und leiten es ausgangsseitig an das Fahrzeugdynamikmodell weiter. Mittels dieses Modells werden die Reaktionen des Fahrzeuges berechnet, ausgedrückt zum Beispiel als Beschleunigung, Geschwindigkeit, Reifenschlupf oder Achslastverteilung. Viele der modellierten Komponenten benötigen im realen Fahrzeug eine Flüssigkeitskühlung. Die entsprechenden

Modellblöcke verfügen daher über thermische Untermodelle, welche die Kühlmitteltemperatur als Eingangsparameter verwenden. Darauf basierend und in Abhängigkeit von den jeweiligen modellblockspezifischen Verlusten wird die veränderte Temperatur berechnet.

### Modellierung der elektrischen Maschine

Die Modellbildung der elektrischen Maschine berücksichtigt vier Modellblöcke: das elektromagnetische, das thermische und das mechanische sowie das Verlustmodell (siehe Abbildung 2 auf Seite 18).

Das **elektromagnetische Modell** hat zwei wichtige Aufgaben: Es berechnet die AC-Spannung als Funktion des AC-Stromes, des Vorsteuerwinkels, der Winkelgeschwindigkeit sowie der Windungs- und Magnettemperatur, weiterhin ermittelt es das Luftspaltdrehmoment als Funktion von Strom, Winkel, Verlustleistung und Magnettemperatur.

Im **Verlustmodell** werden die in der elektrischen Maschine auftretenden Verluste bestimmt. Unter anderem sind diese abhängig von Strom, Winkel, Geschwindigkeit und Temperatur. Um eine Vielzahl von verschiedenen Verlustarten abbilden zu können, setzt sich auch das Verlustmodell aus Einzelmodellen zusammen.

Das **thermische Modell** berechnet die Temperatur der modellierten Bauteile wie Wicklung, Stator, Rotor und Gehäuse

sowie die Kühlmittelausgangstemperatur. Dabei werden die Flussgeschwindigkeit und Eingangstemperatur des Kühlmediums berücksichtigt.

Das **mechanische Modell** kann ein sehr einfaches Modell sein, welches lediglich das Massenträgheitsmoment der E-Maschine in der Berechnung des Ausgangsdrehmomentes verarbeitet.

An dieser sehr vereinfachten Beschreibung der Abläufe innerhalb des Modells E-Maschine wird erkennbar, wie stark sich die einzelnen Modellblöcke gegenseitig beeinflussen. Diese (durch die reaktiven Regelungen im Umrichter zusätzlich verstärkte) hohe Interdependenz präzise abzubilden, ist eine der größten Herausforderungen für die Simulation. Entscheidend für die Qualität einer Simulation ist die Realitätsnähe ihrer Ergebnisse. Vor dem Einsatz als Teil eines Gesamtfahrzeugmodells müssen die Blöcke des E-Maschinen-Modells deshalb unbedingt auf Richtigkeit und Genauigkeit geprüft werden. Hierzu werden die Ergebnisse einer Simulation mit Prüfstandsdaten verglichen, die unter gleichen Betriebsbedingungen gemessen wurden.

### Vermessung der elektrischen Maschine zur Modellvalidierung

Das vereinfachte Beispiel eines Prüfplans für elektrische Maschinen, wie er von einem OEM im Rahmen der Serienentwicklung erarbeitet würde, besteht aus sechs Prüfpuren (siehe Abbildung 3 auf Seite 19). Nach dem Vermessen der >

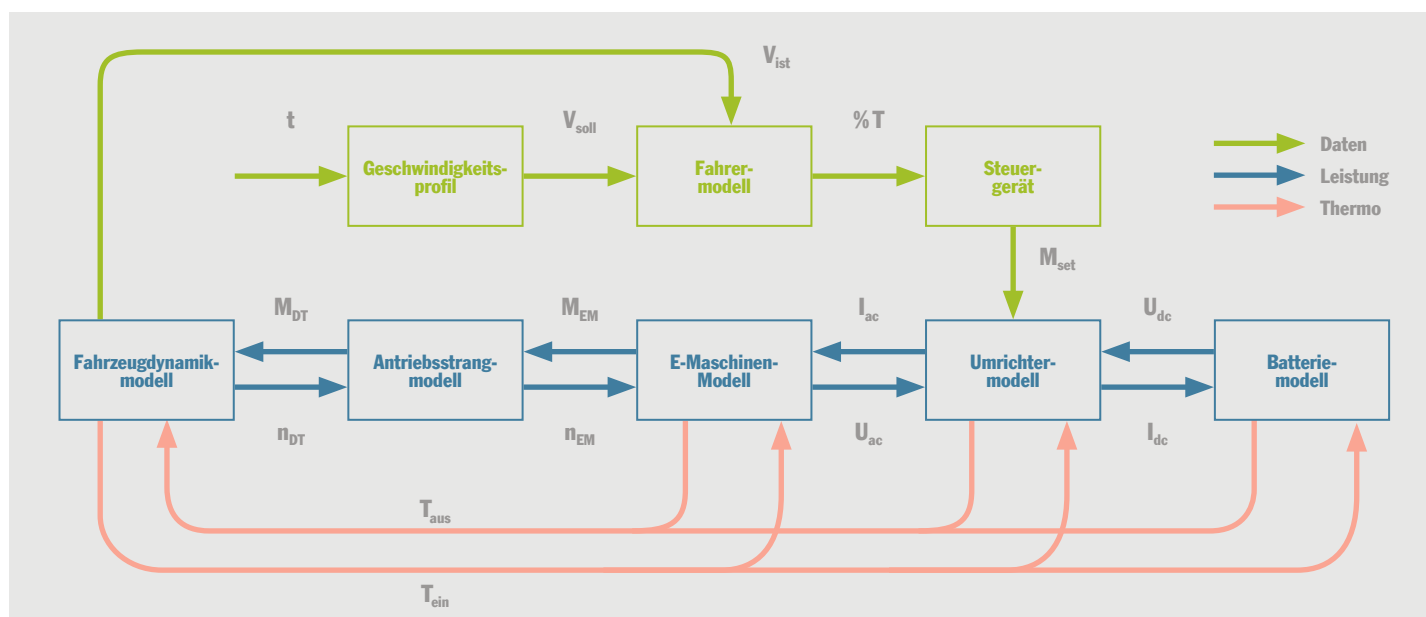


Abbildung 1: Vereinfachtes Simulationsmodell eines batterieelektrischen Fahrzeugs

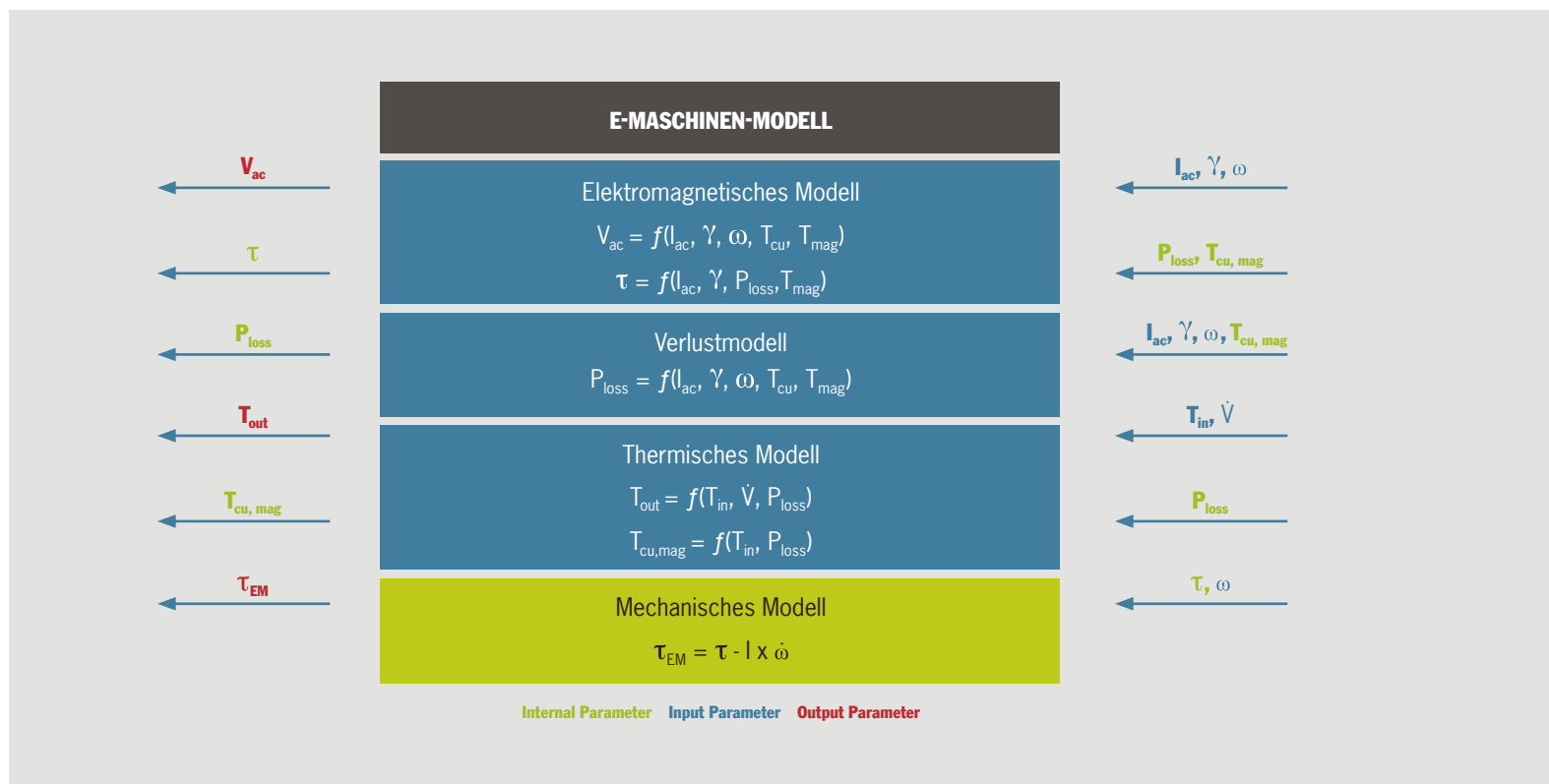


Abbildung 2: Übergeordnete Blöcke des Modells der elektrischen Maschine

grundlegenden Maschinenparameter folgt eine Reihe von Prüfprogrammen: mechanische Tests, in welchen Kräfte und Momente auf Gehäuse und Welle aufgebracht werden; Umwelttests, bei denen die Maschine durch negative Umwelteinflüsse wie Salz, Wasser und Hitze belastet wird; weiterhin drei verschiedene Dauerlaufprüfungen sowie die Performance-Erprobung der elektrischen Maschine.

Für die Validierung der E-Maschinen-Modelle sind die Ergebnisse der Performance-Erprobung und der Prüfung der Maschinenparameter von hohem Wert, auch wenn sie für eine vollständige Validierung oftmals nicht ausreichen. Die gemessenen Daten liefern jedoch die Grundlage für die Modellvalidierung. Zeigen sich im Abgleich von gemessenen und berechneten Ergebnissen zu starke Abweichungen, werden Geometrie, Materialeigenschaften und/oder Modellkoeffizienten angepasst. Die Aussagen des Modells nähern sich so sukzessive durch Wiederholung der Schritte (Simulation – Messung – Vergleich – Anpassung) immer mehr an die realen Messdaten an.

### Validierung des elektromagnetischen Modells

Um ein komplexes Untermodell zu validieren, bedarf es oftmals weiterer spezieller Tests, wie die folgenden fünf Beispiele zeigen:

#### Vergleich der berechneten mit der gemessenen Leerlaufspannung

Ein sehr einfacher und nützlicher Test zur Validierung des elektromagnetischen Modells ist der Vergleich der berechneten mit der gemessenen Leerlaufspannung. Die Leerlaufspannung kann bei passiver Drehung einer (Synchron-)Maschine an den elektrischen Anschlüssen gemessen werden (siehe Abbildung 4 auf Seite 20). Grundlegende Fehler im Modell wie eine falsch modellierte Geometrie oder Wicklung können so schnell erkannt und behoben werden.

Entscheidend für die Genauigkeit der Modelle ist – neben dem Können der Ingenieure – der gewählte Modellierungsansatz. Die Finite-Elemente-Methode (FEM) liefert äußerst genaue Ergebnisse, wohingegen analytische Ansätze beispielsweise die Wellenform der AC-Spannung nur näherungsweise darstellen können.

#### Vergleich von Drehmoment und Strom

Ein weiterer für die Validierung des elektromagnetischen Modells genutzter Test basiert auf der Abhängigkeit von Drehmoment und Strom (siehe Abbildung 5 auf Seite 20). Bei niedriger Geschwindigkeit wird der AC-Strom in Schritten erhöht und das sich jeweilig ergebende Drehmoment gemessen.

PARAMETER-TEST (BEGINN DES PRÜFPROGRAMMS)					
Betriebsfestigkeit	Umwelteinflüsse	Hochtemperatur-dauerlauf	Temperaturwechsel-dauerlauf	Feuchte-Wärme-Dauerlauf	Performance-Erprobung
axiale Belastung	Thermoschock	Hochtemperatur-dauerlauf	Temperaturwechsel-dauerlauf	Feuchte-Wärme-Dauerlauf	passive Vermessung
radiale Belastung	Salzsprühnebel				Leistungskennlinien
Torsionsbelastung	IP-Klassen-Prüfung	Vibrations-beanspruchung	Vibrations-beanspruchung	Vibrations-beanspruchung	Wirkungsgrad-Kennfelder

Abbildung 3: Typischer Prüfplan für die Serienentwicklung einer elektrischen Maschine

Sättigungseffekte im Eisen bewirken bei hohen Strömen einen abnehmenden Grenznutzen des Stromes. Ob und wie dieser Effekt bei der Modellbildung berücksichtigt wurde oder werden sollte, kann nun durch einen Vergleich von Berechnung und Messung ermittelt werden.

### Messung der Schleppverluste

Das Verlustmodell besteht aus mehreren verschiedenen Einzelverlustmodellen, welche – in Summe – maßgebend für das Verhalten der elektrischen Maschine sind. Die beim Betrieb auftretenden Verluste verknüpfen den elektromagnetischen mit dem thermischen Zustand der Maschine. Daher sind Verluste Gegenstand vieler Optimierungsansätze.

Die Schleppverluste der Maschine setzen sich aus den mechanischen Verlusten und den Eisenverlusten zusammen, die durch das stetige Ummagnetisieren des Statoreisens durch das sich drehende Rotormagnetfeld entstehen (siehe Abbildung 6 auf Seite 20). Schleppverluste können in mechanische und elektromagnetische Verluste zerlegt werden, indem die Magnete entfernt oder ersetzt werden und somit nur mechanische Verluste auftreten. Zur Messung von Schleppverlusten wird die Maschine passiv durch einen Geschwindigkeitsbereich geschleppt und dabei das jeweils benötigte Drehmoment bestimmt.

### Berechnung der Kupfer- und Eisenverluste

Neben den mechanischen und Eisenverlusten spielen die ohmschen Verluste in der Kupferwicklung eine bedeutende Rolle. Die Berechnung dieser Kupferverluste ist in den meisten Fällen recht einfach, sofern Widerstand und Temperatur bekannt sind. Zudem können so bei einer Erprobung Eisenverluste aus einem gemessenen Gesamtverlust abgeleitet werden (siehe Abbildung 7 auf Seite 21). Eisenverluste selbst setzen sich ihrerseits aus Wirbelstrom- und Hystereseverlusten zusammen. Diese können anhand ihrer unterschiedlichen Frequenzabhängigkeit identifiziert und somit als Basis der Validierung der entsprechenden Untermodelle genutzt werden.

### Validierung des thermischen Modells

Als letztes Beispiel wird gezeigt, wie ein einfacher Test genutzt werden kann, um Kapazitäten und Widerstände des thermischen Modells einzustellen. Bei fester Drehzahl wird das maximale Drehmoment angefordert. Die Temperatur steigt bis zu einem Grenzwert, bei dem der Inverter den Strom reduziert, um Überhitzung zu vermeiden („Derating“). Nach etwa 30 Minuten hat die Maschine dann einen Beharrungszustand erreicht (siehe Abbildung 8 auf Seite 21). Bei Spitzenleistung (S6) sammelt sich die Verlustleistung in den ersten >

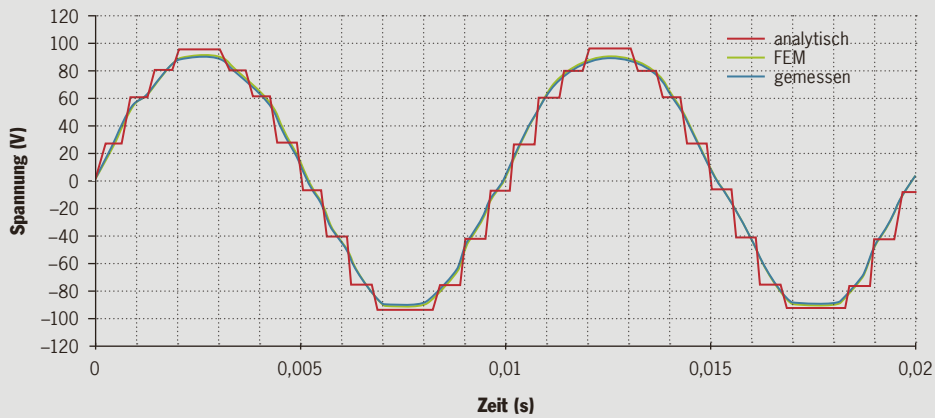


Abbildung 4: Vergleich berechneter und gemessener Leerlaufspannungen

**Input:**  
Geschwindigkeit

**Output:**  
Spannung

**Validierte Eigenschaften/Modelle:**  
 > Geometrie Stator und Rotor  
 > Wickelschema  
 > Materialeigenschaften

**Prüfablauf:**  
 > passiv mit fester Drehzahl drehen  
 > Spannungswelle messen  
 > Vergleich mit Berechnung

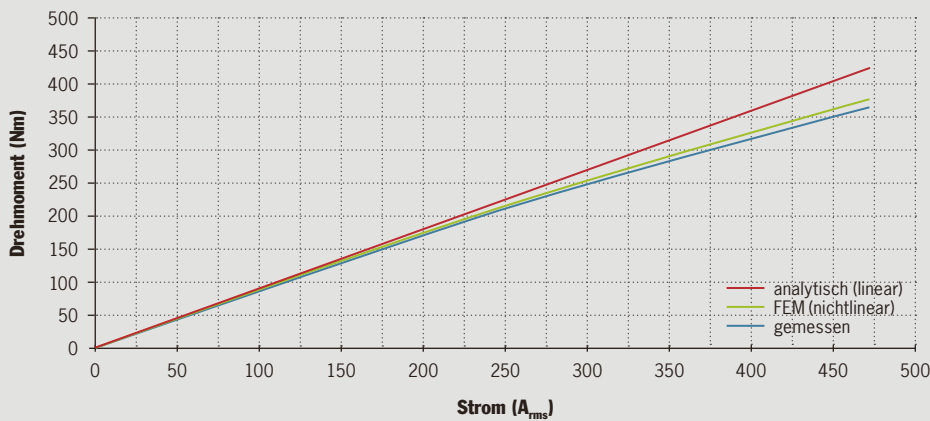


Abbildung 5: Abhängigkeit von Drehmoment und Strom

**Input:**  
Strom

**Output:**  
Drehmoment

**Validierte Eigenschaften/Modelle:**  
 > Drehmomenterzeugung  
 > Flussverteilung  
 > Materialeigenschaften

**Prüfablauf:**  
 > gegen Last drehen  
 > Strom erhöhen bei konstanter Geschwindigkeit  
 > Drehmoment messen  
 > Vergleich mit Berechnung

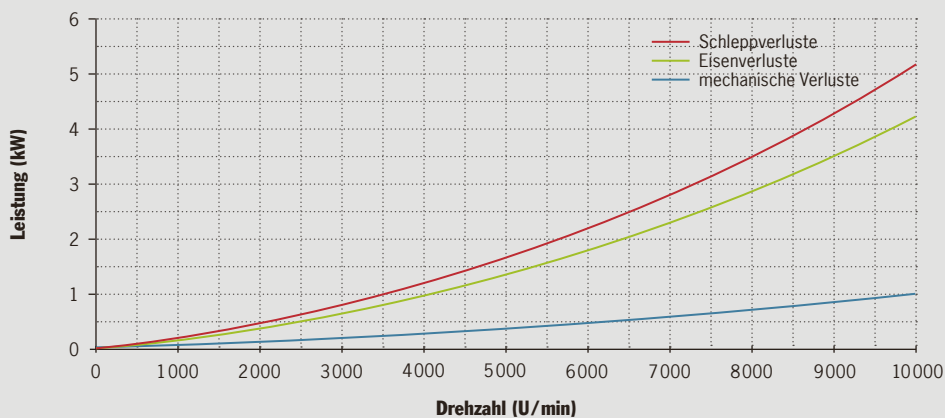


Abbildung 6: Schleppverluste über Drehzahl

**Input:**  
Geschwindigkeit

**Output:**  
Verlustleistung

**Validierte Eigenschaften/Modelle:**  
 > mechanische Verluste  
 > Eisenverlustmodell

**Prüfablauf:**  
 > Schleppen über Drehzahl  
 > benötigte Leistung messen  
 > Vergleich mit Berechnung  
 > Test im Rotor mit und ohne Magnete

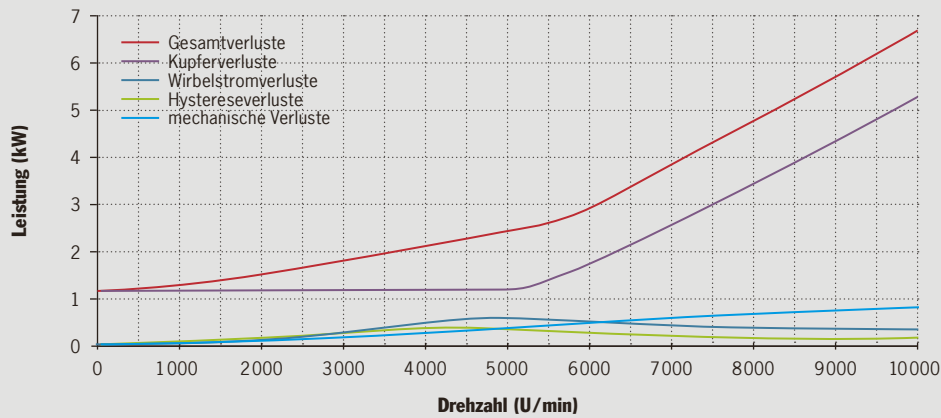


Abbildung 7: Verlustleistung bei konstantem Drehmoment

**Input:**  
Strom

**Output:**  
Verlustleistung

**Validierte Eigenschaften/Modelle:**  
> individuelle Komponenten der Verlustleistung

**Prüfablauf:**  
> Verlustleistung messen  
> Kupfer- und mechanische Verluste berechnen  
> Eisenverluste nach Frequenzverhalten trennen  
> Vergleich mit Berechnung

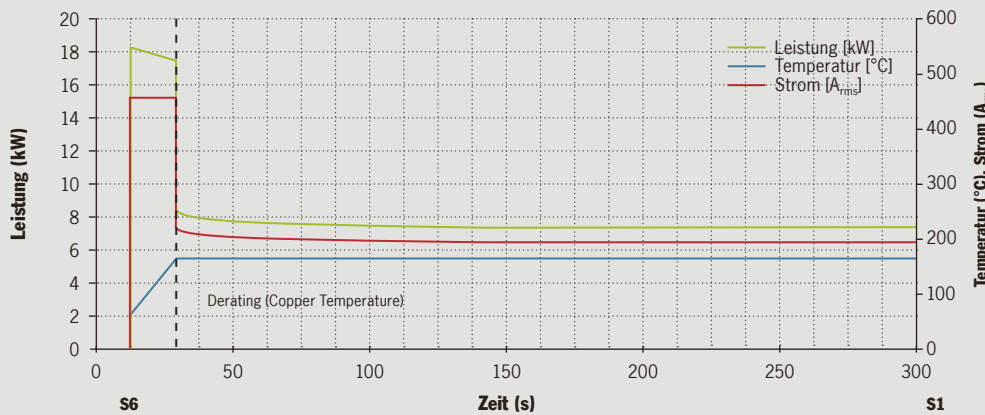


Abbildung 8: Verlauf von Leistung, Strom und Temperatur

**Input:**  
Strom

**Output:**  
Temperaturen

**Validierte Eigenschaften/Modelle:**  
> Wärmekapazitäten  
> thermische Widerstände

**Prüfablauf:**  
> maximales Drehmoment messen  
> Derating bei Grenztemperatur  
> Beharrungszustand messen  
> Vergleich mit Berechnung

Sekunden hauptsächlich in den Wärmekapazitäten der elektrischen Maschine an. Über Temperaturgradienten lassen sich so die Werte der Wärmekapazitäten ermitteln. Im Beharrungszustand hingegen spielt Wärmekapazität keine Rolle mehr. Nun bestimmen die thermischen Widerstände innerhalb der Maschine das Temperaturverhalten und damit auch die Dauerleistung (S1) der Maschine. Wärmekapazitäten und thermische Widerstände können somit getrennt gemessen werden. Die so ermittelten Werte können nun als Koeffizienten für das thermische Modell verwendet werden.

## Fazit

E-Maschinen sind hochkomplexe elektrothermomechanische Gebilde. Dieser Eigenschaft muss jede Modellierung Rechnung

tragen, will sie genaue Simulationsergebnisse ermöglichen. Die für eine präzise und belastbare Berechnung zwingend erforderliche Validierung des Modells der elektrischen Maschine samt seiner diversen Untermodelle erfordert umfangreiche Erprobungen auf dem Prüfstand. Die Datenbasis liefern dabei die Prüfungen der OEMs, die im Rahmen einer Standardprüfung vorgenommen werden. Die Validierung komplexer Modelle benötigt jedoch zusätzliche Messungen.

Die Integration von Modellierung und Vermessung der elektrischen Maschine ist essenziell für eine präzise Simulation des Verhaltens eines elektrifizierten Antriebsstranges. Denn als Herzstück des elektrischen Antriebsstranges beeinflusst die elektrische Maschine das Verhalten des gesamten Fahrzeugs. ■



# e-functionality

## Systemfunktion durch elektromagnetische Verträglichkeit

Immer neue Funkdienste steuern heutzutage Systeme drahtlos, rufen Informationen ab und ermöglichen eine zunehmend differenzierte Kommunikation. All dies trifft bei Elektrofahrzeugen auf stetig leistungsstärkere elektrische Energieflüsse zum und im Fahrzeug. Um ein störungsfreies Miteinander zu gewährleisten, ist das Sicherstellen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) im Rahmen der Elektromobilität wichtiger denn je.

*Von Jan Spindler  
Fotos: Steffen Jahn*



#### **CAYENNE S E-HYBRID**

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 3,4 l/100 km

Stromverbrauch (kombiniert): 20,8 kWh/100 km

CO<sub>2</sub>-Emission (kombiniert): 79 g/km

Effizienzklasse: A+

Neu sind die beiden Themen EMV und Elektromobilität nicht: Bereits 1892 wurde das „Gesetz über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches“ vom Deutschen Reichstag verabschiedet, es gilt weltweit als das erste Gesetz, das sich unter anderem mit den Auswirkungen von elektromagnetischen Störungen auf Geräte und Installationen des Telegraphenwesens befasste. Bereits im gleichen Jahrzehnt arbeitete Ferdinand Porsche im Rahmen eines Entwicklungsauftrags der K. u. K. Hofwagenfabrik Jacob Lohner & Comp., Wien bereits an einem Radnabenmotor. Diese Entwicklung mündete 1900 schließlich in das Elektromobil „Lohner-Porsche-Radnabenwagen“.

#### **Herausforderungen der Zukunft**

Während das Elektromobil bis vor wenigen Jahren kaum verbreitet war, nahm die Bedeutung der EMV durch immer komplexere Kommunikationssysteme kontinuierlich zu. Neben den analogen Rundfunksendern hielten digitale Informationsdienste wie DAB und DVB-T, Mobilfunkdienste wie GSM und LTE, WLAN und Bluetooth Einzug in den Alltag und somit auch in das Fahrzeug. Immer höhere Taktraten, Leistungen und Packagedichten steigern mittlerweile die Anforderungen auch bei der EMV. Nieder- und Hochvoltsysteme, Kommunikations- und Versorgungsleitungen sowie Antennen und potenzielle Störquellen liegen dicht beieinander. Zusätzlich werden neue Spannungsebenen im Fahrzeug mit 48 Volt, 400 Volt und 800 Volt eingeführt (siehe auch „e-power“ ab Seite 10 sowie den Artikel „Dynamische Bordnetzsimulation“ in der Ausgabe 2/2015). Diese Entwicklungen erfordern klare Regularien hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit, um die Funktionen im und außerhalb des Fahrzeugs sicherzustellen. Ohne solche Regularien können weder die Sicherheit noch die technische Funktionsfähigkeit der Fahrzeugsysteme gewährleistet werden. >



Ein Hybridfahrzeug in seiner elektromagnetischen Umgebung

Aktuell wird die elektromagnetische Verträglichkeit laut der europäischen Richtlinie 2014/30/EU definiert als

*„die Fähigkeit eines Betriebsmittels, in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere Betriebsmittel in derselben Umgebung unannehmbar wären.“*

Um die Funktionen der Komponenten und Nutzdienste gewährleisten zu können, ist es notwendig, Anforderungen zu definieren und die EMV in der Entwicklung zu berücksichtigen. Dabei wird im Wesentlichen zwischen Anforderungen an die Störfestigkeit und an die Störaussendung unterschieden. Die Prüfung der **Störfestigkeit** soll den Schutz des Fahrers, der Fahrgäste und anderer Verkehrsteilnehmer gewährleisten. Durch gestrahlte und leitungsgebundene Störungen kann es zu funktionalen Einflüssen kommen, verbunden mit Irritationen des Fahrers und anderer Verkehrsteilnehmer, sowie zur Beeinflussung des Fahrzeugdatenbusses. Durchaus realistische Szenarien sind beispielsweise Fehlfunktionen von Scheinwerfern und Heckleuchten oder sogar der Ausfall von Steuergeräten.

Im Bereich der **Störaussendung** liegt der Fokus auf dem Schutz von elektrischen und elektronischen Einrichtungen im eigenen Fahrzeug sowie in Fahrzeugen und Systemen im Umfeld.

Dabei gilt es, Funkdienste etwa im AM- oder FM-Bereich zu schützen, die unter anderem von Behörden und zivilen Diensten genutzt werden.

Für die Ladesysteme gelten vergleichbare Anforderungen, da diese in Wohn- und Industriegebieten stehen. Dabei gilt es sicherzustellen, dass auch beim Laden eines Fahrzeugs weiterhin ungestörter Radioempfang gewährleistet ist. Gleichzeitig muss die Ladesäule robust sein gegenüber Störungen, sodass der Ladevorgang zuverlässig abläuft.

### Maßgebliches Genehmigungsverfahren nach ECE R 10

Maßgebend für die Genehmigung von Fahrzeugen im Hinblick auf ihre elektromagnetische Verträglichkeit ist die ECE-Norm R 10 – Funkentstörung. Sie wurde in ihrer aktuellen Auflage (Revision 5) um Anforderungen für Fahrzeuge mit RESS (Rechargeable Energy Storage Systems) ergänzt und gilt somit auch für Plug-in-Hybride und Elektrofahrzeuge. Eine wesentliche Erweiterung stellten dabei die Angaben über die Schnittstelle zur Ladesäule und damit dem öffentlichen Versorgungsnetz dar, denn mit PHEV (Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen) und BEV (batterieelektrischen Fahrzeugen) kam die Welt der privaten Automobile erstmals in direkten Kontakt mit dem Niederspannungsnetz. Dabei gelten jedoch Anforderungen, die in

der Fahrzeugbranche neu sind. Die leitungsgebundenen Messverfahren hinsichtlich der Störaussendungsmessung von harmonischen Oberwellen und Flickern wurden bisher in der automotiven Entwicklung nicht berücksichtigt.

Die aktuellen Serienfahrzeuge arbeiten mit Ladeleistungen von 3,6 bis 22 Kilowatt, die über AC-Ladesysteme abgedeckt werden. Der Anschluss des Fahrzeugs wird über einphasige (230 Volt) oder dreiphasige (400 Volt, 16 Ampere oder 32 Ampere) Anschlüsse realisiert. In der EMV-Halle sind diese Anschlüsse typischerweise gefiltert vorhanden, sodass das Fahrzeug direkt über die Netznachbildung angebunden werden kann.

Die steigenden Ansprüche an Reichweite und Dauer des Ladevorgangs bedingen höhere Ladeleistungen. Ladesysteme mit Leistungen über 100 Kilowatt werden über das DC-Laden realisiert. Um die geforderten EMV-Messungen im Ladebetrieb zu absolvieren, müssen auch diese Ladesysteme im EMV-Labor aufgebaut werden. Damit keine Störungen in die EMV-Halle geleitet werden, müssen die DC-Leitungen gefiltert geführt werden. Das erfordert eine Schnittstelle außerhalb der EMV-Halle, die den Anschluss von Ladesystemen über 100 Kilowatt ermöglicht.

Neben dem notwendigen Platz und der Anschlussleistung stellen diese Systeme auch Anforderungen an den Aufbau. >





*Die Schnittstelle zwischen dem Fahrzeug und der Ladeinfrastruktur erfordert neue Messverfahren in den Bereichen Testing und EMV. Diese gilt es zu etablieren und abzusichern, um Funktionalität und Robustheit des Systems zu gewährleisten.*



So sind neben den DC-Leitungen Kommunikationsleitungen notwendig, damit das Fahrzeug mit der DC-Ladesäule und der Bedieneinheit kommunizieren kann. Diese werden typischerweise als Lichtleiter in die EMV-Halle geführt und sind mit speziell entwickelten PLC-Modems (power line communication) gekoppelt. Da sich ein Modem während der EMV-Prüfung innerhalb der EMV-Halle befindet, muss es robust gegenüber den eingestrahelten elektromagnetischen Feldern und Pulsen (störfest) sein und darf möglichst keine elektromagnetischen Felder emittieren (emissionsarm). Um Einflüsse durch die Peripherie bei der Typisierung von BEV- und PHEV-Fahrzeugen möglichst auszuschließen, ist somit ein umfangreicher Messaufbau nötig.

### Entwicklungsbedarf bei Hochvolt-systemen

Die Leistungselektroniken von E-Fahrzeugen werden mit dem Ziel hoher Wirkungsgrade entwickelt.

Die dafür notwendigen schnellen Schaltereignisse führen zu hohen Störspektren im Hochvolt-Bordnetz. Aktuelle Fahrzeuge mit Hochvoltssystemen besitzen geschirmte Leitungen, die hinsichtlich der EMV über eine Schirmwirkung verfügen. Bei den aktuellen Konzepten ist jedoch der Ladestecker im Bereich DC-Laden eine Schwachstelle, da hier das Schirmkonzept nicht vollumfänglich umgesetzt werden kann. Der Grund hierfür: Der Ladestecker ist kein koaxialer Stecker. Der Schirm kann somit nicht flächig mit einem geringen HF-Übergangswiderstand angebunden werden, wie das bei Steckverbindungen der Hochvoltkomponenten vorgeschrieben ist. Ebenso sind die DC-Leitungen von der Ladesäule nicht geschirmt ausgeführt, Störungen aus dem Hochvolt-Bordnetz können somit abgestrahlt werden. Dadurch sind Grenzwertüberschreitungen bei der leitungsgeführten Störaussendung auf den DC-Leitungen zu erwarten, wenn keine alternativen Maßnahmen getroffen werden.

Hinzu kommen Forderungen der OEMs, auch bei verkürzten Ladezeiten während des Ladevorgangs Radio/TV/DAB empfangen zu können. Diese werden bei der ECE R 10 nicht berücksichtigt, da fahrzeuginterne Empfangssysteme deutlich sensibler sind. Hinsichtlich der Störaussendung ist aus diesem Grund die internationale Norm CISPR 25 zu beachten, die für

Fahrzeuge, Boote und von Verbrennungsmotoren angetriebene Geräte Grenzwerte und Messverfahren zum Schutz von an Bord befindlichen Empfängern definiert.

Vergleicht man beispielsweise die Grenzwerte der leitungsgeführten Störaussendung beider Normen, so zeigt sich, dass im Mittelwelle-Frequenzband der Grenzwert für den Mittelwert-Detektor der CISPR 25 mit 26 Dezibel unter den Anforderungen der ECE R 10 liegt. Um die Anforderungen zu erfüllen, müssen unter anderem geeignete DC-Filter zwischen Hochvolt Speicher und Ladestecker eingebaut werden. Je nach Anwendung sind dabei Spannungsbereiche bis zu 800 Volt und Ströme von 200 Ampere zu berücksichtigen.



Weiterhin gilt es, Hochvolt- und DC-Leitungen im Fahrzeug möglichst separiert zu führen, um Überkopplungen zu reduzieren. Speziell innerhalb der Hochvoltbatterie treffen Hochvoltleitungen und Kommunikationsleitungen aufeinander,

die für die Überwachung der Zellen notwendig sind und mit dem Batteriemanagementsystem (BMS) kommunizieren. Wird diese Kommunikation durch die Hochvoltleitungen gestört, kann es zum Ausfall von einzelnen Kommunikationsblöcken kommen bis hin zum gesamten Kommunikationsabbruch. Das BMS wird in diesem Fall reagieren und aus Sicherheitsgründen die Hochvoltschütze öffnen. OEMs legen deshalb besonderen Wert auf robuste Kommunikationsverfahren sowie störungsrobuste Zellcontroller, die unempfindlich gegenüber Einkopplungen auf Spannungsversorgungsleitungen des Zellcontrollers sind.

### Induktive Ladesysteme als Herausforderung von morgen

Elektromobilität und EMV werden auch in Zukunft untrennbar miteinander verbunden sein. Weitere neue Herausforderungen stellen beispielsweise induktive Ladesysteme dar, die in den kommenden Revisionen der ECE R 10 berücksichtigt werden. Zusammen mit neuen Technologien im Bereich Elektromobilität wird auch die Anzahl an PHEV- und BEV-Fahrzeugen steigen. Als logische Konsequenz wächst im gleichen Augenblick die Infrastruktur mit Schnellladesäulen, deren Leistungen deutlich über 100 Kilowatt liegen. ■

# e-opportunity

## Chancen und Herausforderungen durch Digitalisierung und Elektrifizierung



---

### Uwe Michael

*Uwe Michael (56) studierte Elektrotechnik mit dem Schwerpunkt Festkörperelektronik an der Technischen Hochschule Darmstadt. Nach seinem Abschluss als Diplom-Ingenieur war er 15 Jahre in unterschiedlichen Positionen bei dem Automobilzulieferer VDO Automotive AG tätig. Anschließend verantwortete er als Bereichsleiter bei der Mannesmann AG die vier Standorte Wetzlar (DE), Eindhoven (NL), Rambouillet (FR) und Sophia Antipolis (FR). Im Jahr 2001 kam Uwe Michael zu Porsche und ist seither Hauptabteilungsleiter des Entwicklungsbereichs Elektrik/Elektronik.*

---

\_\_\_\_ Ein Gespräch mit Uwe Michael,  
Hauptabteilungsleiter Elektrik/Elektronik  
der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

*Mit welchen Technologien und Positionierungen begegnet die klassische Automobilindustrie den aktuellen und zukünftigen Megatrends, wie etwa der Digitalisierung?*

**Uwe Michael** Die Automobilbranche wird die Megatrends intelligent verbinden und auf höchstem Sicherheits- und Qualitätsniveau für Kunden erfahrbar machen – dies zeichnet uns seit jeher aus. Im Rahmen der Migration der Assistenzsysteme hin zu wachsenden Automatisierungsanteilen werden beispielsweise Sensor-, Objekt- und Kartendaten fusioniert, um komfortables, zeit- und energieeffizientes Fahren und Parken anbieten zu können. Nach der Umsetzung von personalisierten und fahrzeugbezogenen Car-Connect-Diensten verlagert sich die Front hin zur Nutzung von fahrzeug- und personenübergreifenden Daten in Form von Schwarm- und Cloud-Intelligenz. Dies ermöglicht prädiktive Funktionen, auf die keiner mehr verzichten möchte, wenn er sie einmal erlebt hat.

*Welche Rolle spielen Batterie- und Ladetechnologien in Bezug auf die Akzeptanz der Kunden für neue elektrisch angetriebene Fahrzeuge?*

**Uwe Michael** Reichweite und Ladezeiten elektrisch angetriebener Fahrzeuge sind zwei wichtige Faktoren, um Kunden für Elektrofahrzeuge zu begeistern. Mit Batteriezellherstellern wird darum gerungen, dass Elektrofahrzeuge den verbrennungsmotorisch getriebenen nicht nur ebenbürtig, sondern gar überlegen sein werden.

Die Perspektive für größere elektrisch erfahrbare Reichweiten ist gegeben, Kosten und Gewicht müssen allerdings noch deutlich sinken. Hingegen scheint mit der Halbierung der bisher kritisierten langen Ladezeiten durch Schnellladung mit 800 statt 400 Volt ein Durchbruch zu gelingen. Dringende Hausaufgaben stellen sich allerdings der Politik und der Nationalen Plattform Elektromobilität beim Ausbau der Infrastruktur.

*Welcher Veränderungsbedarf ergibt sich bei Prozessen und Strukturen der Automobilhersteller im Zuge der digitalen*

*Transformation? Welche Rolle spielen dabei spezialisierte Entwicklungsstandorte wie etwa das Software-Entwicklungsbüro von Porsche Engineering im rumänischen Cluj-Napoca?*

**Uwe Michael** Grundsätzlich müssen wir unsere Denkweisen und Prozesse modernisieren, um weiter den Takt vorzugeben. Erfolgsfaktoren wie industrieübergreifende Partnermodelle, kurze Entwicklungszyklen, Update-Fähigkeit und die Vernetzung von Produkt- und Lebenswelten bilden den Leitfaden für unsere Strategien. Hierbei wird ein Standort wie Cluj-Napoca, unser neuer Software-Standort in Rumänien, hilfreich sein. Dort können wir parallel zu den regulären Kernentwicklungsprozessen in einem dynamischen Umfeld Konzepte und Ideen entwickeln, die in spätere Serienprojekte Einzug halten. Dies ist einer von vielen Bausteinen, um auch in Zukunft unsere Kunden zu begeistern und dem Wettbewerb weiter voraus zu sein.

*Porsche wird Ende des Jahrzehnts den vollelektrischen Mission E auf den Markt bringen. Wie begegnet Porsche den Herausforderungen von Entwicklung und Kundenakzeptanz eines derartig neuartigen Automobils?*

**Uwe Michael** Der Mission E ist ein neues Auto, aber wir fangen beim Thema Elektromobilität nicht von vorne an. Porsche hat den Hybridantrieb erfunden und wir waren der erste Hersteller, der Hybridantriebe in drei unterschiedlichen Fahrzeugklassen angeboten hat. 2015 sind wir mit unserem hybrid-angetriebenen Porsche 919 Weltmeister in der FIA WEC geworden. Genau wie im Rennsport wollen wir auch beim Mission E Erwartungen übertreffen, und demonstrieren mit unserem Konzept Mission E, wie wir die Zukunft des elektrischen Sportwagens verstehen.

Durch die 800-Volt-Ladetechnologie des Mission E ist es möglich, in weniger als 15 Minuten die Batterie zu 80 Prozent zu laden. Bei voller Ladung erreichen wir Reichweiten von 500 Kilometern. 600 PS beschleunigen das Fahrzeug in unter 3,5 Sekunden von 0 auf 100 km/h. Wir erzielen 250 km/h Höchstgeschwindigkeit. Der Elektromotor ermöglicht völlig neue Wege und Chancen, Kunden nicht nur zufriedenzustellen, sondern zu begeistern. Aber nicht nur die Elektromobilität wird mit dem Mission E in ein neues Zeitalter aufbrechen, sondern es werden auch im Interieur, mit dem Bedienkonzept, Connected-Funktionen und der Designsprache neue Maßstäbe für das nächste Jahrzehnt gesetzt. ■

*„Der Elektromotor ermöglicht völlig neue Wege und Chancen, Kunden nicht nur zufriedenzustellen, sondern zu begeistern.“*

# 100 % Testing

## Erprobungsdienstleistungen von Porsche Engineering

\_\_\_ Von der kleinsten Komponente bis zum gesamten Fahrzeug muss jede Entwicklung umfassend getestet werden, bis sie reif ist für die Serie. Die Erprobungsdienstleistungen von Porsche Engineering verbinden hierfür einzigartige Ressourcen wie etwa das Nardò Technical Center in Süditalien mit dem Know-how und der Erfahrung aus der Serienentwicklung von Sportwagen. So sind weltweit unterschiedlichste Streckenprofile und vollumfängliche Erprobungen inklusive aller erforderlichen Versuchsauswertungen verfügbar. Begleiten Sie uns bei der Erprobung des neuen Porsche 718 Boxster.

*Von Nadine Guhl  
Fotos: Steffen Jahn*



---

**718 BOXSTER**

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 7,4–6,9 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission (kombiniert): 168–158 g/km





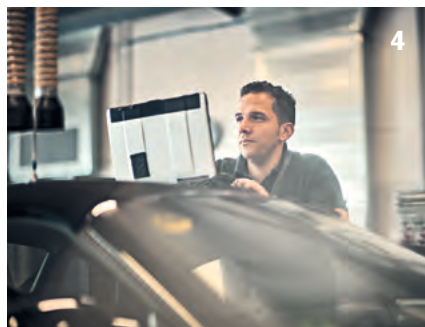
**1 Start** Giancarlo Vella, der zuständige Erprobungsverantwortliche für die anstehende Erprobung des neuen 718 Boxster, übernimmt das Fahrzeug beim Kunden vor Ort zur Überfahrt nach Nardò. Die Aufgabe: innerhalb kürzester Zeit eine hohe, kundennahe Dauerlaufdistanz inklusive vorgegebener Erprobungsumfänge auf fest definierten Streckenprofilen zu absolvieren. Nach Durchführung der Fahrzeugchecks und Erledigung aller Formalitäten kann es losgehen.

**2 Überfahrt** Bereits die 1600 Kilometer lange Überfahrt von Weissach nach Nardò stellt als Langstreckenfahrt einen ersten wichtigen Bestandteil des vorgesehenen kundennahen Dauerlaufs dar. Mit ihr beginnt die Alterssimulation von Fahrzeugen, um diese in unterschiedlichen Zuständen zu testen.



**3 Ankunft und Check-in in Nardò** Aufgrund der Sicherheits- und Geheimhaltungsregeln erfolgt die Anmeldung von Fahrer und Fahrzeug für das Nardò Technical Center bereits im Vorfeld. Auch die relevanten Strecken wurden vorab reserviert.

**4 Vorbereitungen** Im Werkstattbereich wird die Eingangsüberprüfung durchgeführt und das Fahrzeug auf die nächste Etappe vorbereitet: Auf der 12,6 Kilometer langen Ringstrecke werden die Hochgeschwindigkeitsanteile der Erprobung im Rahmen des sogenannten Bundesautobahn-Ersatzprogramms mit der jeweiligen Maximalgeschwindigkeit des Fahrzeugs gefahren – in diesem Fall 275 km/h. Hierfür übernimmt ein Berufstestfahrer das Fahrzeug. Die Rennmontur inklusive Schutzhelm ist dabei Pflicht. >



**5 Kommunikation** Über Funk kann der Fahrer jederzeit Kontakt mit dem Erprobungsverantwortlichen oder dem Werksschutz aufnehmen, um beispielsweise Informationen oder Warnhinweise weiterzugeben.

**6 Auffahrt auf die Ringstrecke** Über einen im Fahrzeug installierten Transponder wird das Fahrzeug an der Zufahrt erkannt. Die Schranke öffnet sich. Für das Fahrzeug bedeutet das nun Fahrt bei sehr hohen Geschwindigkeiten und entsprechend intensiver Belastung.

**7 Ringstrecke** Die Innenneigung der Ringstrecke ermöglicht die Fahrt auf der äußersten Fahrspur bei 240 km/h ohne einzulenken. Für den Fahrer ist dabei höchste Konzentration erforderlich. Durch ärztliche Untersuchungen wird die Gesundheit und die körperliche Fitness der Fahrer regelmäßig überprüft.

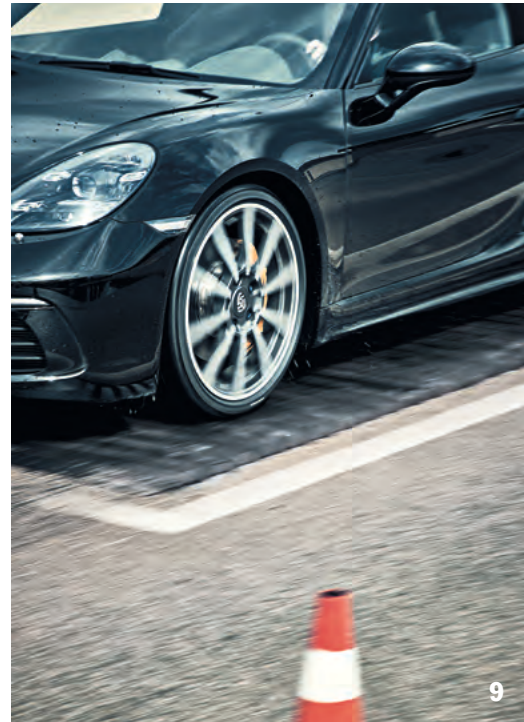
**8 Ende der Hochgeschwindigkeitsfahrt** Nach Abschluss der Testeinheit werden die Ergebnisse festgehalten und ein erstes Resümee gezogen. Der Fahrer informiert den Erprobungsverantwortlichen über alle Einzelheiten und übergibt anschließend das Fahrzeug.





**9 Weitere Tests** Verschiedene Betätigungs- und Fahrprogramme im Rahmen eines Dauerlaufs werden beispielsweise auf den Rollenbahnen und der Dynamikfläche durchgeführt.

**10 Planung für den Folgetag** Während mit der Nachtschicht eine weitere Testetappe beginnt, plant Giancarlo Vella die Details des Folgetages. „Nur mit genauer Vorbereitung und Planung kann das vom Kunden geforderte Testprogramm vollumfänglich und im gegebenen Zeitfenster gefahren werden“, so Vella. >





11



12



13

**11 Nächster Tag** Nach der Nachtschicht wird früh morgens in den nächsten Erprobungstag gestartet. Heute stehen Überland- und Stadtfahrten auf dem Programm. Nach dem Checkout an der Pforte begibt sich der Porsche 718 auf die Straßen von Apulien ...

**12 Überlandfahrt** Bei aufgehender Morgensonne ist das Testfahrzeug unterwegs in Richtung Norden. „Natürlich sind für uns auch Schlechtwegestrecken interessant. Im Rahmen von verschiedenen Tests gilt es, die Fahrzeuge gerade in solchen Extremsituationen zu überprüfen“, so Vella.

**13 Gebirgsstraßen in Süditalien** Anspruchsvolle Gebirgsstraßen in Apulien verlangen Kupplung, Bremsen, Fahrwerk und Reifen einiges ab. Eine Schafherde passiert die Straße und sorgt kurz für Entschleunigung, bevor die fordernde Etappe fortgesetzt wird.



**14 Zwischenstopp** Die Tankpause wird auch genutzt, um weitere Tests durchzuführen, wie zum Beispiel Öffnen und Schließen von Verdeck, Fenstern oder Kofferraum, und Erprobungserkenntnisse von der bisherigen Fahrt zu dokumentieren – immer gemäß den Vorgaben und Anforderungen des Kunden.

**15 Unterwegs** Während die Dörfer bei gemäßigtem Tempo durchfahren werden, bieten die Schnellstraßenanteile der vorgegebenen Routen aufgrund ihres größtenteils geraden Verlaufs eine gute Möglichkeit, die Fahrerassistenzsysteme der Fahrzeuge zu überprüfen.

**16 Der Tag neigt sich dem Ende zu** Nachdem die Testeinheit absolviert wurde, geht es zurück in Richtung Nardò Technical Center. Beim Schichtwechsel kommen die Fahrer und der Erprobungsverantwortliche zusammen und tauschen sich zu den Ergebnissen aus. Bis der Erprobungsplan gemäß den Kundenanforderungen erfüllt ist, stehen weitere Fahrten an – sowohl auf dem Testgelände als auch auf öffentlichen Straßen. Sind schließlich alle Tests durchgeführt und deren Auswertungen erfolgt, werden Letztere gemeinsam mit dem Fahrzeug an den Kunden in Deutschland übergeben. ■





---

**718 BOXSTER/718 BOXSTER S**

Kraftstoffverbrauch (kombiniert): 8,1–6,9 l/100 km  
CO<sub>2</sub>-Emission (kombiniert): 184–158 g/km



# Zwei Generationen, eine Idee

## Porsche 718 Boxster

\_\_\_\_ Eine Legende lebt auf: Mit dem 718 stellt Porsche seine Mittelmotor-Roadster neu auf. Der Porsche 718 war Ende der 1950er-Jahre einer der erfolgreichsten Renn- und Sportwagen. Der neue Zweisitzer knüpft nun direkt an das Konzept seines berühmten Vorgängers mit Mittelmotor an. Leistungsstarker Vierzylinder-Boxermotor – heute mit Turboaufladung –, konsequenter Leichtbau und überragende Fahrdynamik sichern den Porsche mit der Bezeichnung 718 damals wie heute eine Alleinstellung.

*Von Peter Weidenhammer*

Als Porsche vor 20 Jahren den Boxster aus der Taufe hob, stellte sich der Roadster als legitimer Nachfolger des 550 aus den 1950er-Jahren vor. Jene Sportwagenlegende, in der Hans Herrmann 1954 bei der Mille Miglia unter geschlossenen Bahnschranken hindurchfuhr und die mit James Dean unsterblich wurde. Wie der Porsche 718 einst Nachfolger des 550 war, löst heute der 718 Boxster seinen Vorgänger ab. Nicht die einzige Parallele in diesem Generationswechsel: Mit der Typbezeichnung rückt der neue Roadster noch näher an das Original von 1957 heran, auch und gerade in grundlegenden Fahrzeugeigenschaften.›



Jean Behra im Porsche 718 RSK Spyder bei der Zieldurchfahrt in Le Mans 1958

### Der Motor: Hochleistungsvierzylinder in Boxer-Bauweise

Prominentestes Bindeglied zwischen dem ursprünglichen 718 und seinen heutigen Nachfolgermodellen ist der Vierzylinder-Boxermotor. Das Triebwerk des Originals zählt bis heute zu den Hochkarättern im Motorenbau. Basierend auf der Maschine des Ur-Volkswagen hatte Porsche ein Hochleistungstriebwerk für den Sporeinsatz entwickelt. Insbesondere der Gaswechsel war weitgehend überarbeitet: Ein- und Auslassventile des Zweiventilers steuerten individuelle obenliegende Nockenwellen. Angetrieben wurden diese vier Wellen über Königswellen: Jeweils eine führte vom Motorgehäuse zur Auslassnockenwelle, die wiederum mit einer weiteren Königswelle zur Einlassnockenwelle verzahnt war. Damit bot das Triebwerk eine für den sportlichen Einsatz optimale Drehzahlfestigkeit, die bis rund 8000/min reichte. Für die adäquate Gemischaufbereitung sorgten zwei Fallstrom-Doppelvergaser. Zwei komplett eigenständige Zündsysteme ermöglichten eine Doppelzündung mit einstellbarem Zündverzug. Im 718 RSK von 1957 brachte es diese Maschine auf 109 kW (148 PS) bei 8000/min aus 1,5 Liter Hubraum. Rund 72 kW (99 PS) Literleistung müssen sich auch 60 Jahre später nicht verstecken.

Die Technologie heute ist eine andere, die Philosophie dieselbe: hohe und effiziente Leistung bei robuster Zuverlässigkeit – plus die boxertypischen Vorteile wie exzellenter Mas-

senausgleich, hohe Drehfreude, niedriger Schwerpunkt und typischer Sound.

Mit dem 718 Boxster führt Porsche zwei komplett neu entwickelte Vierzylinder-Boxermotoren mit Turboaufladung ein: als Zweiliter mit 220 kW (300 PS) im Boxster sowie als 2,5-Liter mit 257 kW (350 PS) im Boxster S. Im Vergleich zu den entsprechenden Vorgängermodellen bedeutet das jeweils einer Mehrleistung von 26 kW (35 PS). Auch das Drehmoment ist deutlich gestiegen. Der Zweilitermotor des 718 Boxster erreicht ein Drehmoment von 380 Nm, das schon ab 1950/min bis 4500/min zur Verfügung steht. Das entspricht einer Steigerung um 100 Nm und damit um 35 Prozent. Der 2,5-Liter-Motor des 718 Boxster S erreicht zwischen 1900/min und 4500/min ein Drehmoment von 420 Nm, also 60 Nm mehr als bei seinem Vorgängermodell. Das ist der größte Drehmomentzuwachs, der jemals in der Geschichte des Porsche Boxster mit der Einführung eines neuen Motors gemacht wurde.

### Bessere Fahrleistungen, niedriger Verbrauch

Damit absolvieren die neuen 718-Boxster-Modelle Zwischenspurts deutlich souveräner und beschleunigen noch schneller aus niedrigen Drehzahlen heraus als bisher. So spurtet der 718 Boxster mit PDK und Sport Chrono Paket von null auf 100 km/h in 4,7 Sekunden, der 718 Boxster S mit

gleicher Ausstattung schafft die Normbeschleunigung in nur 4,2 Sekunden. Gleichzeitig ist der Motor sportwagentypisch drehfreudig: Das Drehzahlband endet erst bei 7500/min, wobei der Leistungsabfall von der Nenn- bis zur Maximaldrehzahl bei lediglich fünf Prozent liegt. Kein weiterer Turbomotor im Segment des Boxster erreicht diesen Wert.

Das Turbo-Konzept von Porsche überzeugt auch in der Verbindung von Leistung und Effizienz: Der Turbo-Vierzylinder mit PDK im 718 Boxster verbraucht 6,9 l/100 km im NEFZ gesamt, der 2,5-Liter-Turbo-Boxermotor mit PDK im 718 Boxster S begnügt sich mit 7,3 l/100 km.

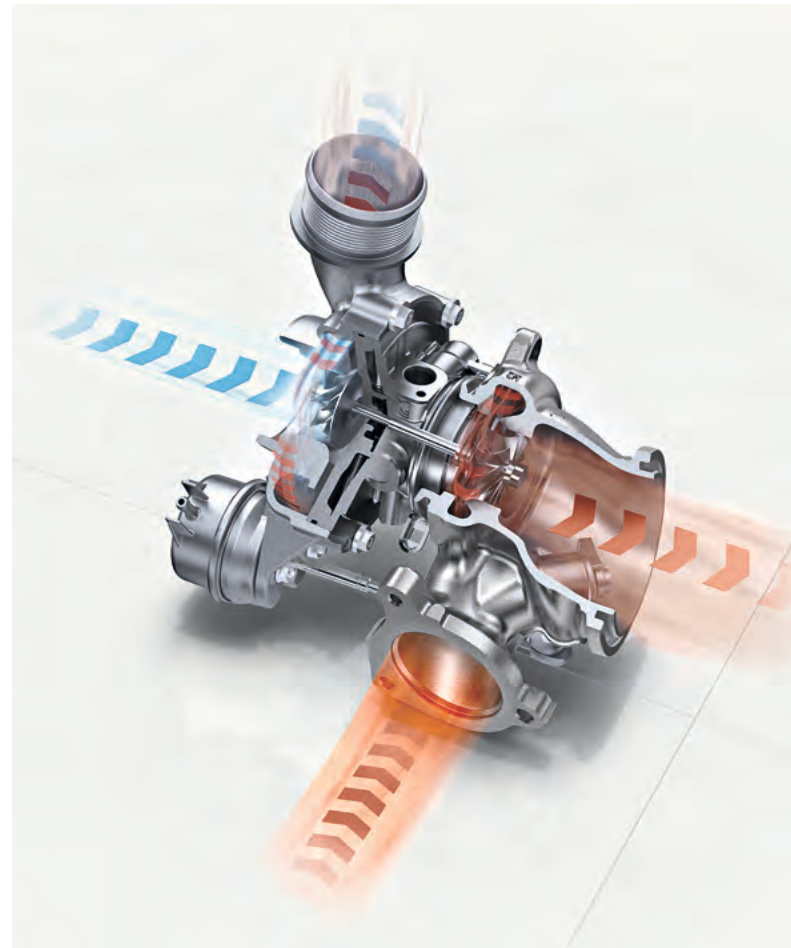
Die beiden Varianten des neuen Porsche-Boxermotors unterscheiden sich untereinander nicht nur im Hubraum: Beim Basistriebwerk drückt ein klassischer Wastegate-Turbolader zusätzliche Luft in die Brennräume. Die leistungsstärkere Maschine wird von einem Lader mit variabler Turbinengeometrie beatmet, wie er bisher weltweit exklusiv dem 911 Turbo vorbehalten war. Das Besondere beim Turbo-Vierzylinder des Boxster S: Ein zusätzliches Wastegate ermöglicht, durch gezielte Steuerung des Abgasstroms den Lader mit verstellbaren Leitschaufeln immer im optimalen Wirkungsgrad zu betreiben. Dadurch wird die Energie im Abgasstrom bestmöglich in Antriebsleistung umgesetzt.

### Turbotechnologie mit Saugmotorencharakter

Bei der Abstimmung der Abgasturboaufladung legten die Porsche-Entwickler besonderen Wert auf ein zum Saugmotor vergleichbares Ansprechverhalten des Motors. Dazu dient unter anderem bei sportlicher Fahrweise die „Vorspannung“ des Turboladers im Teillastbereich: Dabei wird das Bypassventil geschlossen, die Drosselklappe leicht geöffnet und die Zündwinkel werden zurückgenommen. Auf diese Weise bleibt das aktuelle Antriebsmoment gleich, während der Luftdurchsatz durch den Motor und der Ladedruck steigen. Gibt der Fahrer dann Vollgas, steht durch den höheren Ladedruck spontan ein höheres Drehmoment zur Verfügung. Auch wenn der Fahrer bei voller Beschleunigung den Fuß kurz vom Gaspedal nimmt, verhält sich das Turbotriebwerk reaktionsschnell wie ein Saugmotor. Die Drosselklappe bleibt geöffnet, nur die Benzineinspritzung setzt aus. Dadurch baut sich der Ladedruck nicht komplett ab, der Motor reagiert spontan auf erneutes Gasgeben.

Auf vergleichbare Weise reagiert der Turbolader beim Druck auf den Sport Response Button, der wie bei den 911-Modellen jetzt bei Sportwagen mit Sport Chrono Paket

und PDK-Getriebe in der Mitte des Programmschalters am Lenkrad sitzt. Inspiriert vom Rennsport werden damit Motor und Getriebe auf ein maximales Ansprechverhalten vorbereitet. Im Teillastbereich schließt das Wastegate des Turboladers. Dadurch baut dieser deutlich schneller Ladedruck auf. Der Motor spricht deutlich spontaner auf Gaspedalbefehle an und erreicht seine maximale Leistung schneller.

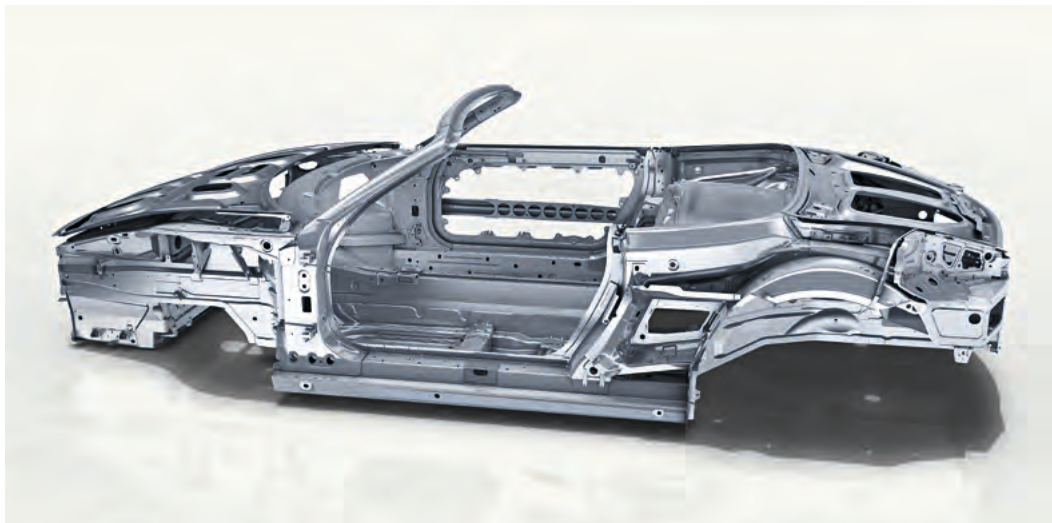


*Beim Basistriebwerk drückt ein klassischer Wastegate-Turbolader zusätzliche Luft in die Brennräume.*

Technologien aus den Sechszylinder-Motoren des 911 steigern die Triebwerke in sportlichem Leistungsvermögen und Effizienz weiter. So sorgt der zentral angeordnete Injektor für sehr gute Verbrennung, was sich unmittelbar auf Verbrauch und Abgasqualität auswirkt. Eine Kraftstoffpumpe versorgt die Benzindirekteinspritzung mit dem Systemdruck von bis zu 250 bar. Ergänzend lässt sich durch die Einführung der verstellbaren Auslassnockenwelle mit Hubumschaltung der Gaswechsel noch präziser steuern. Auf der Einlassseite setzt Porsche weiterhin das bewährte VarioCam Plus ein, das ebenfalls sowohl Hub als auch Öffnungszeiten der Ventile variabel anpasst. >

## Das Fahrwerk: höchste Präzision für beste Fahrdynamik

Eine Kernkompetenz von Porsche ist traditionell die Umsetzung von Motorleistung in Fahrdynamik. Dass dabei die absolute Leistung nicht zwangsläufig den Ausschlag gibt, bewies der 718 RSK mit seinen mehreren Hundert Siegen überzeugend. Grundvorteil war seine Auslegung als Mittelmotor-Sportwagen. Das Fahrwerk basierte damals wesentlich auf dem des Typs 356. Die Vorderräder wurden von den übereinander liegenden Lenkern einer Kurbellenkerachse geführt, die Ferdinand Porsche erfunden und patentiert hatte. Eine im 718 RSK eingeführte Neuentwicklung an dieser Achse schlug sich sogar im Namen nieder: Während „RS“ für „Rennsport“ steht, bezieht sich das „K“ auf die vorderen Torsionsstabfedern, die in Form eines auf dem Rücken liegenden großen K angeordnet sind. Diese Form der Drehstabfederung ergab ein deutlich verbessertes Ansprechverhalten der Vorderachse. Hinten versieht die bewährte Pendelachse mit Schraubenfedern und tiefergelegtem Drehpunkt ihren Dienst. Den entscheidenden Vorteil brachte indes der Stahlgitterrohrrahmen mit hoher Steifigkeit und der daraus resultierenden präzisen Radführung. Die Bremsanlage besteht, wie damals



*Dank konsequentem Leichtbau erreicht der 718 Boxster ein Leistungsgewicht von 3,6 Kilogramm je PS.*

im Rennsport üblich, aus vorderen Duplexbremsen und hinteren Simplexbremsen. Auch damals verstand sich Porsche schon auf Werkstoffkombinationen und setzte entsprechend Aluminiumtrommeln mit einem integrierten Reibring aus Eisen ein.

In ihrer Fahrdynamik folgen die Roadster von heute der Spur ihres klassischen Paten 718. Das komplett neu abgestimmte Fahrwerk steigert einmal mehr die Kurvenperformance der

Mittelmotor-Sportwagen. Für die Nürburgring-Nordschleife wird mit einer Verbesserung der Rundenzeiten eines optimal ausgestatteten 718 Boxster S um mehr als 16 Sekunden gegenüber dem Vorgängermodell gerechnet.

Der Vierzylinder-Boxermotor ist so platziert, dass sich die nahezu ideale Gewichtsverteilung von 45:55 auf Vorder- zu Hinterachse ergibt. Das Triebwerk stützt sich wie bisher über zwei hintere Getriebelager und jetzt auch vorne über zwei hydraulische Motorlager mit schaltbarer Steifigkeit ab. Vorteil für den Fahrer: Im Leerlauf genießt er durch die entkoppelten Motorlager optimalen Schwingungskomfort. Während der Fahrt minimiert das Umschalten auf festere Anbindung dagegen störende Impulse der Motormasse.

## Weiterentwickeltes und steiferes Boxster-Fahrwerk

Um mit den Fahrleistungen auch Präzision und Querstabilität weiter zu erhöhen, wurden zahlreiche Details im Bereich der Hinterachse modifiziert. So verstärkt eine neue Querstrebe den hinteren Hilfsrahmen und erhöht damit die

Quersteifigkeit. Stoßdämpfer mit größeren Kolben- und Zylinderrohrdurchmessern verbessern ebenfalls durch ihre höhere Steifigkeit die exakte Radführung. Die um ein halbes Zoll breiteren Hinterräder steigern das Seitenkraftpotenzial und tragen zusammen mit dem neu entwickelten Reifen wesentlich zur gesteigerten Kurvenstabilität bei.

Die neu abgestimmten hydraulischen Schwingungsdämpfer sowie höhere Stabilisator- und Federraten halten die Nick- und Wank-

bewegung so gering wie möglich. Beim konventionellen Fahrwerk setzt Porsche an der Vorderachse zusätzliche Zuganschlagfedern ein. Sie reduzieren beim Beschleunigen das Ausheben des Vorderwagens und bei dynamischer Kurvenfahrt die Wankwinkel. Gleichzeitig gewinnt auch der Komfort: Die Abstimmung steigert die Solidität und verbessert das Anfedern auf kleinen und größeren Fahrbahnebenen. Die Spreizung zwischen Komfort und Performance konnte damit nochmals verbessert werden.



Auch in ihren Handlungseigenschaften legen die neuen Roadster noch mal nach: Mit der um zehn Prozent direkter ausgelegten elektromechanischen Lenkung lassen sich die 718 Boxster noch agiler und handlicher durch Rundkurse und Alltagsverkehr steuern. Dafür übernahmen die Ingenieure das kleiner übersetzte Lenkgetriebe aus dem 911 Turbo und adaptierten es an den 718 Boxster.

Als Option steht für die neuen Modelle neben dem PASM mit zehn Millimeter Tieferlegung der Karosserie erstmals auch ein PASM-Sportfahrwerk zur Wahl. Es umfasst neben der Karosserietieferlegung um 20 Millimeter eine deutlich straffere Abstimmung im Sport-Modus.

### **Der Leichtbau: schneller auch mit weniger Leistung**

3,6 Kilogramm je PS – höchstens: Im Leistungsgewicht des 718 RSK steckte eines seiner Erfolgsgeheimnisse. 148 PS Leistung trafen auf ein Leergewicht von rund 530 Kilogramm. Das machte den 550 Ende der 1950er-Jahre zum Kurvenräuber schlechthin. Es war das Ergebnis von konsequentem Leichtbau. Als tragende Struktur diente ein Gitterrohrrahmen aus nahtlosem Stahlrohr, nochmals leichter als beim Vorgängermodell 550 A, verkleidet mit einer Außenhaut aus Aluminium. Die Gewichtseinsparung ging bis ins Detail. So bestand beispielsweise das Gehäuse des Fünfganggetriebes aus Magnesium. Die Bilanz: Trotz der kleinen Vierzylinder-Boxermotoren gelangen dem 718 zahlreiche Gesamtsiege und damit große Triumphe gegen eine leistungsmäßig überlegene Konkurrenz.

3,9 Kilogramm pro PS: Der 718 Boxster S mit Schaltgetriebe ist nah dran am Original – auch dank konsequentem Leichtbau. Die Aluminium-Stahl-Bauweise des heutigen Roadsters setzt Stahl immer nur dort ein, wo er unverzichtbar ist. Dies wird durch die Anwendung aktueller Technologien der Metallverarbeitung im Automobilbau ermöglicht. So kommen beispielsweise Aluminiumdruckguss, Aluminiumblech, Magnesium und hochfeste Stähle zum Einsatz, die für den jeweiligen Bereich der Karosserie maßgeschneidert sind und für sehr hohe Steifigkeitswerte bei gleichzeitiger Minimierung des Materialeinsatzes sorgen. Über 46 Prozent der Boxster-Rohkarosserie bestehen aus Aluminium, so etwa Vorderwagen, Boden und Hinterwagen, die Türen und beide Kofferraumdeckel. Auch im Innenraum setzt sich der Leichtbau konsequent fort, beispielsweise ist der Cockpitträger aus Magnesiumdruckguss gefertigt. Die Grundstruktur der serienmäßigen Überrollbügel hinter den Sitzen besteht ebenfalls aus Aluminium, die Bügel selbst sind aus Stahl. Mit Leergewichten zwischen 1335 und 1385 Kilogramm – je nach Modell und Ausstattung – ist der 718 Boxster mit teils deutlichem Abstand der leichteste Sportwagen seiner Klasse.

Mit dem runden Geburtstag des Boxster feiert Porsche 2016 einen sehr erfolgreichen Sportwagen – und die neue Generation eines typischen Porsche, der wieder einmal in der Verbindung von Tradition und zukunftsweisender Technik eigene Wege geht. ■

# Variabler Ventiltrieb

## Vom Konzept zur Serienfreigabe

\_\_\_ Neue Fahrzeuge unterliegen immer niedrigeren Grenzwerten in Verbrauchzyklen und Emissionen. Gleichzeitig steigen die Anforderungen in Bezug auf Motorleistung, Drehmoment und Laufruhe bei niedrigen Motordrehzahlen. Eine Schlüsselrolle bei der Lösung dieser Zielkonflikte spielt der Ladungswechsel. Insbesondere die Entwicklung eines optimierten, variablen Ventiltriebs zeigt Potenzial.

Von *Andreas Eichenberg*

Der Ladungswechsel und somit die Auslegung der Ventilerhebungskurven eines Viertaktmotors sind maßgeblich für die Erfüllung der gegenwärtigen Anforderungen. Die Öffnung der Gaswechselventile wird konventionell auf maximale Motorleistung ausgelegt. Diese Definition stellt jedoch einen Kompromiss zu allen anderen Betriebspunkten im Motorkennfeld dar. Um eine verbesserte Auslegung im gesamten Kennfeld zu erhalten, werden zwei oder mehrere Ventilhubkurven benötigt, welche auf die jeweiligen Entwicklungsschwerpunkte im Betriebskennfeld abgestimmt sind. Porsche Engineering hat sich deshalb – unter anderem – auf die Entwicklung und Erprobung von Schaltnockensystemen spezialisiert, welche die Vorteile verschiedener variabler Ventiltriebsysteme kombinieren.

Ventiltriebsysteme heutiger Verbrennungsmotoren beruhen im Wesentlichen auf der Übertragung der vom Nockenprofil vorgegebenen Bewegung, also auf das sich öffnende und schließende Gaswechselventil. Die Bewegung wird dabei von unterschiedlichen Übertragungselementen abgebildet. Bei diesen kommen unterschiedliche Prinzipien infrage. In heutigen Verbrennungsmotoren sind die am häufigsten vertretenen Elemente Schleppebel mit Gleit- oder Rollenabgriff. Die Ventilfeeder verbindet in diesem Gesamtsystem während der Ventilerhebung kraftschlüssig das Gaswechselventil mit dem Schleppebel. In zusammengesetzter Form heißen diese Komponenten Ventiltrieb.

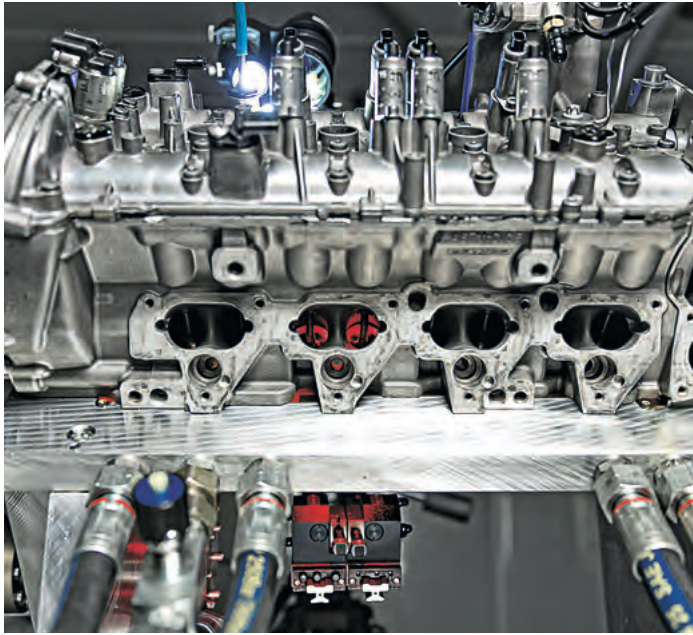
Die Ventiltriebsentwicklung reicht von Konzeption, konstruktiver Detaillierung, Auslegung und Simulation über die Erprobung im geschleppten Zylinderkopf bis hin zur Vollmotor-

untersuchung. Durch eine frühzeitige Absicherung der Funktion in der Simulation und am Attrappenprüfstand können die Entwicklungszeiten des Gesamtmotors kurz gehalten werden. Dabei kommt zunehmend eine simulationsgestützte Erprobung zum Einsatz. Diese wird mit steigender Komplexität der variablen, schaltbaren Ventiltriebsysteme immer wichtiger.

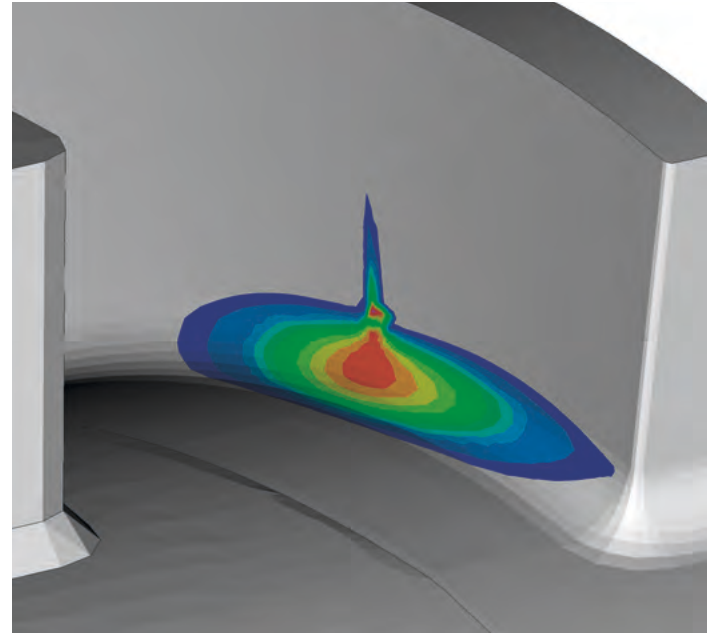
Verschiedene Automobilhersteller setzen variable Ventiltriebe ein. Dabei sind Schaltnockensysteme am häufigsten vertreten. Zusätzlich werden beispielsweise vollvariable, mechanische Systeme oder hydraulisch betätigte, mechanisch schaltbare Systeme verwendet. Die Ausprägungsvielfalt von Schaltnockensystemen erhöht die Komplexität der Entwicklung im gleichen Maße wie die Anforderungen hinsichtlich bewegter Massen und Schaltdrehzahlen.

### **Effektiv und wirtschaftlich: Schaltnockensysteme**

Der Aufbau eines Schaltnockensystems ist bei aller Vielzahl der am Markt befindlichen Systeme prinzipiell immer gleich. Ein Nockenschiebestück mit mehreren Ventilhubkonturen wird in einer vordefinierten Nut – der Schaltkulisse – durch einen zylinderkopffesten Stößel entlang der Nockenwellenachse verschoben. Dabei resultiert die axiale Verschiebewegung aus der Rotation der Nockenwelle. Der Stößel ist Bestandteil eines elektromagnetischen Aktuators, welcher vom Motorsteuergerät kennfeldbasiert angesteuert wird. Das Nockenschiebestück wird in axialer Richtung über eine innenliegende Grundwelle geführt.



Ventiltriebsdynamik am geschleppten Zylinderkopf



Ergebnis der Strukturberechnung Kulissenparameter-Lebensdauer

Die Vorteile dieses variablen Ventiltriebssystems liegen einerseits im geringen Einfluss auf das dynamische Öffnungs- und Schließverhalten der Gaswechselventile und andererseits in der geringeren aufbau- und fertigungstechnischen Komplexität des Systems. Die Dynamik des Ventiltriebs ist abhängig von seiner bewegten Masse. Bei Schaltnockensystemen wird die bewegte Masse systembedingt nicht erhöht. Im Vergleich zu anderen mechanisch variablen Ventiltriebssystemen umfasst ein Schaltnockensystem weniger Komponenten und deren Fertigung ist zudem einfacher, was sich direkt in der Komplexität der Entwicklung niederschlägt.

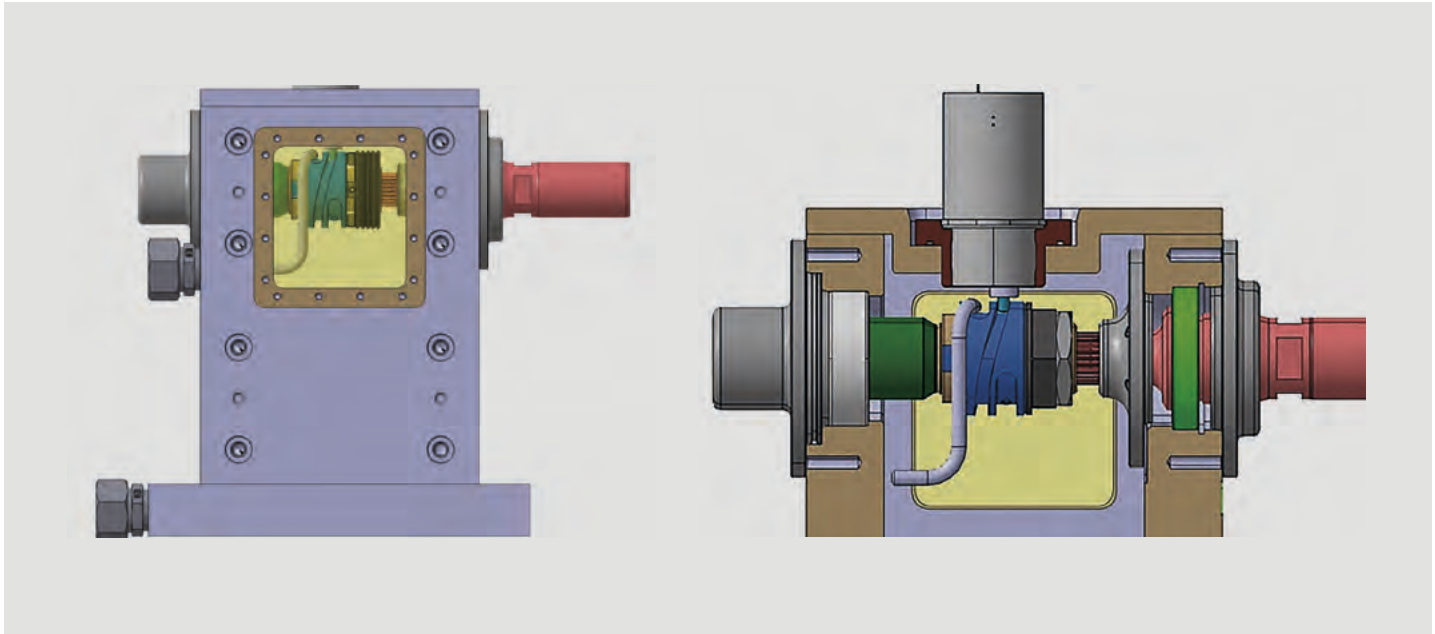
Schaltnockensysteme stellen wegen ihres Aufbaus spezifische Herausforderungen an die Entwicklung. Insbesondere sind die Schaltdrehzahl, das Gewicht des Nockenschiebestücks und die in der Schaltkulisse abzubildenden Systemtoleranzen zu berücksichtigen. Porsche Engineering hat für die Entwicklung solcher Systeme – basierend auf den Erfahrungen mit konventionellen Ventiltriebskonzepten – einen modularen Prozess aufgebaut. Der Vorteil: hohe Flexibilität und Schnelligkeit.

Grundlage bildet dabei die Beschreibung der Anforderungen eines variablen Ventiltriebs. In der Konzeptionsphase werden diese Anforderungen und Rahmenbedingungen in eine prinzipielle Konstruktion umgesetzt. Für ein Schalt-

nockensystem sind die wesentlichen Fragestellungen die Lagerung von Grundwelle und Nockenschiebestück, die Arretierung des Letzteren, die Anzahl der verschiedenen Nockenprofile (die zu zwei- oder mehrstufigen Schaltmechanismen führen) und die Ausführung der elektromagnetischen Aktuatorik. Diese Punkte beeinflussen neben der konstruktiven Detaillierung das Gesamtgewicht des Nockenschiebestücks. Als Herzstück eines solchen Schaltnockensystems wird die Schaltkulisse vom Gewicht des Nockenschiebestückes und der zu erreichenden maximalen Schaltdrehzahl definiert. Die kinematische Länge der Schaltkulisse ist dabei von der Position der Ventilerhebungskurven beeinflusst. So wird in der Auslegungsphase auf Grundlage der kraftfreien Grundkreisphasen des Ventiltriebs der Verschiebeweg bestimmt und anhand der Beschleunigung in seinem Verlauf festgelegt.

#### **Eigenentwicklung: Mehrkörpersimulationsmodell**

Basierend auf der Erfahrung von Porsche Engineering entstand ein dynamisches Mehrkörpersimulationsmodell (MKS-Modell). Dieses bildet die dynamischen Einflüsse auf den Verschiebeweg ab. Einflussgrößen sind unter anderem das Spiel zwischen Aktuatorstößel und Schaltkulisse sowie die Steifigkeiten ihres Verbundes, die wirkenden Dämpfungen und die >



*Aufbau eines Tribologie-Prüfstands bei Porsche Engineering*

Schalt Drehzahlen. Die Ergebnisse aus dem MKS-Modell bilden die Grundlage für eine iterative Modifikation des Beschleunigungsverlaufs der Schaltkulisse. Die Minimierung der Belastungen am Aktuatorstößel und der Schaltkulisse in Form der wirkenden Hertzschen Pressung und Abstützkraft im Aktuator steht dabei im Vordergrund. Besonders ist auf den Flankenwechsel innerhalb der Schaltkulisse beim Übergang von der Beschleunigung zur Verzögerung des Nockenschiebestückes zu achten. Das Ergebnis dieses iterativen Auslegungsprozesses ist eine dynamisch abgesicherte Schaltkulisse, welche rechnerisch optimal zu den gesetzten Rahmenbedingungen passt.

Für die simulierten Belastungen werden in der konstruktiven CAD-Detaillierung die Schaltkulissenparameter angepasst. Besonderes Augenmerk gilt dabei Bereichen mit geringer Wandstärke und einer optimalen Tragbildverteilung des Aktuatorstößels auf der Kulissenflanke. Die Schaltkulissenparameter werden unter anderem in Strukturberechnungen mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) bestätigt. Die Strukturberechnungen dienen zudem der Bewertung der Kontaktbedingungen und der wirkenden Materialspannungen. Die Bereiche mit geringer Wandstärke werden infolge der wechselnden Belastungen mithilfe von Lebensdauerberech-

nungen beurteilt. Die Detailkonstruktion schließt diese theoretisch geprägte Entwicklungsphase in der Regel mit einem entsprechenden Rapid-Prototyping-Bauteil als Anschauungsmuster ab.

### **Vorerprobung sichert Werkstoffe und Beschichtungen ab**

In der Vorerprobung werden die Einzelkomponenten untersucht. Dies geschieht in einer möglichst frühen Entwicklungsphase, um die erarbeiteten Untersuchungsergebnisse ohne Entwicklungsschleifen in die Produktentstehung einfließen zu lassen. Dabei liegt der Fokus auf der Erprobung verschiedener Werkstoffpaarungen und Beschichtungssysteme im Bereich des Materialkontakts zwischen Aktuatorstößel und Kulissenflanke. Ergänzt wird die Vorerprobung durch die Untersuchung der Aktuator-Schaltzeit unter verschiedenen Einflussparametern. So wird beispielsweise die elektromagnetisch vorhandene Tot- und Flugzeit der Aktuatorik für den Vollmotorbetrieb im Bereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $120^{\circ}\text{C}$  bezüglich der Öl- und Bauteiltemperaturen untersucht. Entscheidend sind dabei die Reproduzierbarkeit der Beölungsverhältnisse und die Untersuchungsrandbedingungen.

Tribologische Untersuchungen werden bei Porsche Engineering an einem eigens für diese Erprobung konzipierten Prüfstand durchgeführt. Dabei geht es um die Untersuchung der Wechselwirkung verschiedener Oberflächen in einer Relativbewegung hinsichtlich der Materialkennwerte und Beschichtungssysteme. Ziel ist es dabei, in möglichst kurzer Zeit eine Aussage über die gewählte tribologische Paarung zu treffen.

Das Herzstück des Tribologie-Prüfstands ist das Wechselschiebestück, auf welchem sich die in der Auslegungsphase definierte Schaltkulisse befindet. Das Wechselschiebestück wird von einer keilverzahnten Grundwelle angetrieben. In der Schaltkulisse befindet sich dauerhaft ein Aktuatorstößel, der in einem elektromagnetischen Aktuator gelagert ist. Für ideale Schmierölbedingungen innerhalb des Prüfstandes sorgt eine Ölspritzdüse. Ein Gehäuse schirmt die Prüfzelle vom während des Betriebs entstehenden Schmierölnebel ab.

Dieser modulare Aufbau des Prüfstands ermöglicht einen hochflexiblen Einsatz und schnelle Modifikationen der zu untersuchenden Bauteile. Bei der Vorerprobung von Schaltnockensystemen werden beispielsweise unterschiedliche DLC-Beschichtungen (diamond-like-carbon), Änderungen von Werkstoffpaarungen im Bereich der Schaltkulisse und des Aktuatorstößels sowie verschiedene Beschleunigungsverläufe der Schaltkulisse untersucht.

Auf dem Wechselschiebestück ist die Schaltkulisse als Endlosnut gefertigt. Die Endloskulisse führt in Verbindung mit dem Aktuatorstößel zwei entgegengesetzte Verschiebungen des Wechselschiebestücks pro Umdrehung aus. Dadurch kann innerhalb kürzester Laufzeit des Prüfstandes bei gegebener Schaltdrehzahl eine große Anzahl von Schaltzyklen erfolgen. Drehzahl und Masse des Wechselschiebestücks bestimmen die Belastungen am Aktuatorstößel. Dabei stellt die Drehzahl einen Kompromiss zur Ansteuerungsfrequenz und somit zum lokalen Wärmeeintrag an den Prüfbauteilen dar. Die Analyse der Laufspuren an Schaltkulisse und Aktuatorstößel schließt die Vorerprobung ab. Die Ergebnisse fließen direkt in den Entwicklungsprozess – beispielsweise in die Bauteilfertigung – ein.

### Abgesicherter Weg in die Serienfertigung

Die Fertigung der Komponenten des Schaltnockensystems verlangt wegen der Komplexität und der Anforderungen an Maßhaltigkeit und Oberfläche der Bauteile hohe Präzision. Porsche Engineering begleitet die Bearbeitung eines solchen Systems in der Prototypenphase, von der Wärmebehandlung über die

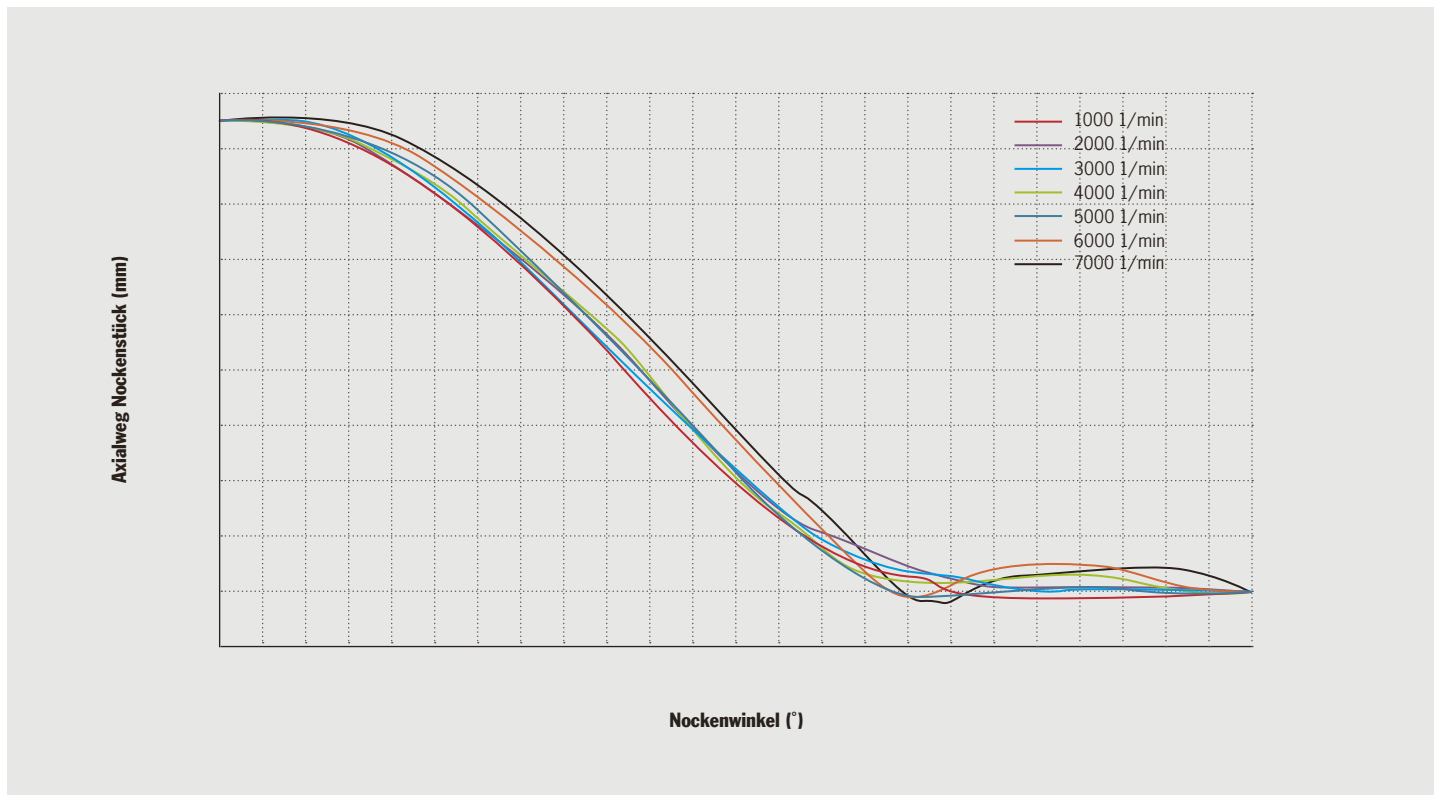
einzelnen Bearbeitungsschritte bis hin zur Bauteilvermessung und Qualitätskontrolle.

Funktionsuntersuchung und Dauerhaltbarkeitsprüfung schließen die Validierung des Schaltnockensystems ab. Diese Erprobungen erfolgen unter vollmotornahen Randbedingungen auf einem Zylinderkopfatrappen-Prüfstand. Bei Letzterem handelt es sich um einen mit Messtechnik ausgerüsteten Zylinderkopf mit originalem Steuertrieb. Für den Antrieb sorgt eine drehmomentstarke Asynchronmaschine. Die Verbindung zwischen E-Maschine und Ersatzkurbelwelle übernimmt eine drehsteife Kupplung mit integriertem Drehmomentmessflansch, der die Antriebsmomente und somit die Reibung der einzelnen Aufbauten aufzeichnet.

Im Fokus der Erprobung des Schaltnockensystems stehen die Funktionsgrößen des Verschiebeweges und der dynamisch wirkenden Aktuatorstößelkräfte. Die Verschiebecharakteristik wird messtechnisch mittels eines magnetoresistiven Sensors und optisch mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera analysiert. Zur Messung der Aktuatorstößelkräfte während der Nockenverschiebung dienen kalibrierte Dehnungsmessstreifen im >



Wechselschiebestück mit Endloskulisse



Hochaufgelöste Vermessung des dynamischen Verschiebeweges

Bereich der Stößelabstützung. Das System erfasst die messtechnischen Kennwerte über Nockenwellenwinkel bis hin zur maximalen Verschiebedrehzahl. Die dynamischen Effekte in den Messgrößen werden als Grundlage für die Weiterentwicklung und Freigabe des Schattnockensystems ausgewertet. Dabei geht es um den Erstkontakt des Aktuatorstößels zur Schaltkulisse, den Wechsel der Kulisse von der Beschleunigungs- zur Verzögerungsflanke des Nockenschiebestücks und die Endanlage nach dessen vollständiger Verschiebung.

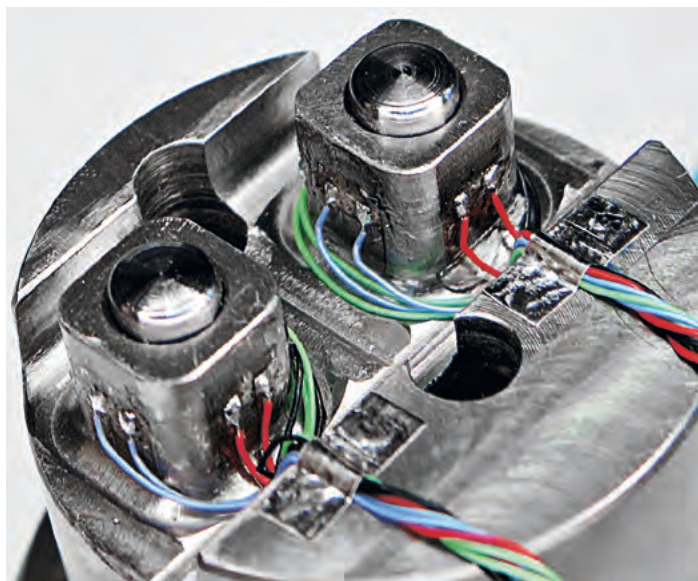
Ergänzende Untersuchungen zu den Drehschwingungen und der Verlagerungsbahn des Nockenschiebestücks sind abhängig vom gewählten Lager- und Ventiltriebskonzept. Diese Messungen fallen im Wesentlichen dann an, wenn sich negative Einflüsse auf das dynamische Öffnungs- und Schließverhalten der Gaswechselventile im Vollmotorbetrieb ergeben. Weiterhin gilt es, eine Beeinflussung der konventionellen Ventilbewegung durch das Schattnockensystem zu vermeiden. Zur Absicherung wird die Ventiltriebsdynamik am Zylinderkopfattrappen-Prüf-

stand oder im befeuerten Vollmotor gemessen. Die Untersuchung der Schleppebel- und Abstützelementbelastungen und die messtechnische Evaluierung der Reibleistungsanteile des variablen Ventiltriebsystems komplettieren schließlich die Funktionsuntersuchung.

### Schattnockensystem muss Dauerhaltbarkeit nachweisen

Nach der funktionalen Validierung kommt das Schattnockensystem zum Dauerlauf auf den Attrappenprüfstand. Die Absicherung dieses Teilsystems erfolgt ebenfalls im Zylinderkopf, um eine effiziente und schnelle Rückmeldung für die Gesamtmotorentwicklung zu generieren. Dazu werden einerseits möglichst reale – beispielsweise hochdynamische – und andererseits synthetische Drehzahlprofile automatisiert durchlaufen.

Der Fokus synthetischer Drehzahlprofile liegt in der Erprobung einer großen Schaltzyklenanzahl in kurzer Prüfstandslaufzeit,



DMS-Applikation Aktuatorstößelkraftmessung



DMS-Applikation Belastung Rollenschlepphebel

ohne dabei die realen Nutzungsbedingungen zu vernachlässigen. Die Bestromung der Aktuatorik wird von einem eigens hierfür entwickelten Echtzeitbetriebssystem ausgelöst, wenn die entsprechenden Schaltbedingungen vorliegen. Besonderes Augenmerk gilt der Vermeidung von Fehlschaltungen. Die dafür entwickelte intelligente Schaltlogik beruht auf der Erfassung der axialen und drehwinkelspezifischen Position des Nockenschiebestücks. Diese Messgrößen werden sensorisch redundant am Prüfstand erfasst. Die Vorsteuerung der bauteilspezifischen Tot- und Flugzeiten der Aktuatoren ist ebenfalls in der Schaltlogik abgebildet. So wird sichergestellt, dass die Aktuatorstößel nur im geometrisch vorgesehenen Winkelbereich ausgefahren werden.

Während der Dauererprobung werden die Laufflächen an Schaltkulisse und Aktuatorstößel regelmäßig begutachtet. Die Historie der Laufspuren sind Teil der ausführlichen Befundung nach absolviertem Schaltungsdauerlauf. Diese Daten über die Laufzeit stellen die Grundlage für die Gesamtvalidierung des Schaltnockensystems dar. In einem solchen Dauerlauf werden entsprechend der Zielrandbedingungen unterschiedliche Grenzzustände untersucht. Diese beziehen sich einerseits auf die bauteilspezifischen Maße und andererseits auf die Funktionsrandbedingungen des Zielsystems. Die Dauererprobung ist die Grundlage für die funktionelle Weiterentwicklung oder die Freigabe des Schaltnockensystems.

### Fazit

Die frühzeitige Validierung von Teilsystemen des Verbrennungsmotors wird für die Verkürzung der Gesamtentwicklungsdauer immer wichtiger. Dieser Anforderung trägt der Entwicklungsprozess für Schaltnockensysteme Rechnung. Es ist absehbar, dass mit der stetigen Weiterentwicklung der variablen Ventiltriebe weitere Einzelaufgaben hinzukommen werden. Dazu zählen beispielsweise die Absicherung von Fehlschaltungszuständen und die Entwicklung von Arretierungskonzepten. Porsche Engineering wird den Trend zur Mehrstufigkeit in diesen Systemen sowohl konzeptionell als auch konstruktiv begleiten und weiter vorantreiben. ■

# Quer gedacht

Das Nachwuchsförderprogramm IQP (Interdisciplinary Qualification Program) von Porsche Engineering hat sich als Ideengeber für besondere Produkte mit Entwicklungsbezug etabliert. In der fünften Auflage der Initiative entstand in Kooperation mit der Porsche Design Group ein außergewöhnlicher Uhrenbeweger.

*Von Nadine Gubl*

Exklusive Produkte bedürfen kompetenter Entwicklung und Ausarbeitung. So kam es in der Vergangenheit im Rahmen des IQP-Programms bereits mehrfach zur Kooperation zwischen der Porsche Design Group und Porsche Engineering.

## **Das Interdisciplinary Qualification Program (IQP)**

Das IQP ist ein 18-monatiges Personalentwicklungsprogramm bei Porsche Engineering, das sich an Young Professionals richtet und die Nachwuchskräfte gezielt auf herausfordernde und verantwortungsvolle Aufgaben und Situationen des Berufslebens vorbereitet. Hauptbestandteil ist eine Projektarbeit, welche die Teilnehmer vollkommen eigenverantwortlich vorantreiben. Dabei wird insbesondere die fachbereichsübergreifende Zusammenarbeit intensiviert. Darüber hinaus absolvieren die Teilnehmer ein 14-tägiges fachfremdes Praktikum (in der Regel in einem sozialen Bereich), sie nehmen auch an verschiedenen überfachlichen Seminaren teil und werden von einem persönlichen Mentor unterstützt. Die Ausprägung des Dienstleistungsgedankens steht dabei an oberster Stelle.

## **Ein Uhrenbeweger für die Porsche Design Group**

Das Team des Nachwuchsförderprogramms IQP hat es sich dieses Mal zur Aufgabe gemacht, einen Uhrenbeweger zur

Präsentation der neuen Uhrenkollektion von Porsche Design zu entwickeln. Uhrenbeweger dienen dazu, Automatikuhren aufzuziehen und damit am Laufen zu halten. Neben dem Komfort, eine aufgezogene Uhr zu haben, verbessert ein Uhrenbeweger auch die Beölung des Uhrwerks und hat somit Einfluss auf dessen Langlebigkeit.

Ziel des Projekts war es, keinen gewöhnlichen Uhrenbeweger zu entwickeln, sondern einen, der genau wie die Uhren selbst durch anspruchsvolles Design und besondere Qualität ein „talking piece“ darstellt, wie man in der Welt des Designs sagt. Die Idee dafür beruht auf dem Designgrundsatz von Porsche Design, thematisch jeweils eine Brücke zwischen der Technik in den Porsche-Fahrzeugen und den Uhren zu schlagen. Das Ergebnis ist eine an ein technisches Getriebe angelehnte Zahnradkonstruktion. Optisch ein absoluter Blickfang – die technische Umsetzung eine Herausforderung.

Der Uhrenbeweger dreht über einen zentralen Antrieb bis zu fünf Module, in denen die Uhren einzeln aufbewahrt werden. Die Zahnradkonstruktion am Antrieb und an den Modulen ist eine Besonderheit. Die Zahnräder greifen wie bei einem technischen Getriebe ineinander und realisieren die für den Uhrenbeweger charakteristische Kreisbewegung. Für die Umsetzung des Prototyps wurden die einzelnen Komponenten aus Kunststoff im Rapid-Prototyping-Verfahren gefertigt. >



*Prototyp eines Design-Uhrenbewegers,  
entwickelt im Rahmen des Nachwuchsförder-  
programms für die Porsche Design Group.*

*Prototyp einer Design-Stehlampe auf Basis eines originalen 911-LED-Hauptscheinwerfers, entwickelt vom IQP-Team 2013.*



Den Antrieb bildet ein kleiner Elektromotor, der sich im Antriebsrad versteckt.

Die Projekte im Rahmen der Nachwuchsförderung unterstützen nicht nur das „Querdenkertum“, sondern fordern es konsequent ein. Auch für die Entwicklung eines Uhrenbewegers bedurfte es Wissen und Erfahrungen aus der Fahrzeugentwicklung, um beides zielgerichtet auf dieses technisch komplexe Produkt zu übertragen. Darüber hinaus mussten im Rahmen der Entwicklungstätigkeiten stets Design- und Kostenanforderungen des Projektpartners berücksichtigt und abgestimmt werden – eine Zusammenarbeit genau wie im automotiven Projektgeschäft zwischen Kunde und Dienstleister. Von der ursprünglichen Idee bis hin zum Endprodukt setzten die Nachwuchskräfte das Projekt eigenständig um.

### **Traditionelle Kooperation**

Das bekannteste Produkt, das aus der Kooperation zwischen Porsche Design und Porsche Engineering entstanden und auf eine hohe Nachfrage gestoßen ist, ist der Porsche Sektkühler auf Basis eines originalen Rippenzylinders. Ein weiteres IQP-Team entwickelte einen voll funktionsfähigen Prototyp für eine außergewöhnliche Design-Stehleuchte auf Basis eines originalen 911-LED-Hauptscheinwerfers. Ob und in welchem Umfang der jetzt entwickelte Uhrenbeweger für Endkunden auf den Markt kommt, bleibt noch abzuwarten.

„Wir sind jedes Mal aufs Neue beeindruckt, mit welchem Einsatz die Nachwuchskräfte des IQP-Programms für ihr jeweiliges Projekt arbeiten. Mit Ideenreichtum, technischer Kompetenz und Querdenken sind einzigartige Produkte entstanden“, betont Frank Angelkötter, CFO Porsche Design Group. ■

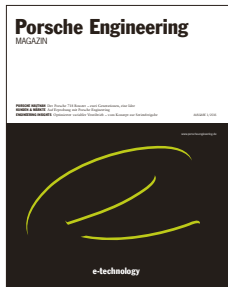


*Der Porsche Classic Cooler. Das IQP-Team 2010 entwickelte diesen außergewöhnlichen Sektkühler auf Basis eines Rippenzylinders.*

---

**IMPRESSUM****Porsche Engineering**  
MAGAZIN

AUSGABE 1/2016

**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](http://www.porsche-engineering.de)

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

**REDAKTIONSLEITUNG**

Frederic Damköhler

**REDAKTION | KOORDINATION**

Nadine Guhl

**ANZEIGEN**

Frederic Damköhler

**GRAFISCHE GESTALTUNG**

VISCHER&amp;BERNET, Stuttgart

**ÜBERSETZUNG**

RWS Group Deutschland GmbH, Berlin

**GESAMTHERSTELLUNG**

Kraft Druck GmbH, Ettlingen



---

[www.porsche-engineering.de](http://www.porsche-engineering.de)

# PORSCHE DESIGN

## TIMEPIECES



911 GT3 RS Kraftstoffverbrauch [in l/100 km]:  
innerorts 19,2 · außerorts 8,9 · kombiniert 12,7;  
CO<sub>2</sub>-Emission: kombiniert 296 g/km



**CHRONOTIMER SERIES 1 DEEP BLUE**  
Polierter Titanchronograph mit dunkelblauen  
Akzenten. Eine Fusion von Eleganz und  
Sportlichkeit. Designed in Austria. Swiss Made.

### SPORTLICHE PERFORMANCE IN TITAN

Porsche Design – Men's Designer Sportswear und Accessories für den Global Business Traveller.

[www.porsche-design.com](http://www.porsche-design.com)